

A 1.4

DESY-Bibliothek

Errata zum DESY-Bericht A.1.4

"Eine Gegenüberstellung der Möglichkeiten und
Kosten eines Elektronen-Synchrotrons und
eines Linearbeschleunigers."

Seite:

- 4 - Länge der Bunche 2×10^{-10} sec
Abstand d. Bunche 2×10^{-9} sec
- 5 - 2. Abschnitt, 2. Zeile: Hochleistungsklystrons
- 8 - Abstand d. Bunche 3×10^{-10} sec
Länge der Bunche 2×10^{-11} sec
- 11 - Mitte: Endenergie "auf" 7,5 GeV
- 31 - letzte Zeile: vertikal 0,3 mm, horizontal 0,6 mm
- 32 - 5. Zeile: Diese Probleme sind jedoch bei der in diesen
Punkten vergleichbaren CERN-Maschine gelöst.

Hamburg, am 25.2.1958

Ha/Js.

DESY-Bibliothek

Eine Gegenüberstellung der
Möglichkeiten und Kosten
eines Elektronen-Synchrotrons
und eines Linearbeschleunigers.

Hamburg, am 20. Februar 1958
DESY-Bericht A.1.4

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Vergleich der experimentellen Möglichkeiten verschiedener Maschinen		S. I - XII
2. Beschreibung und Leistung der Maschinen		S. 1 - 8
a) Beschreibung	Syn. S. 1 Lin. S. 5	
b) Leistung	Syn. S. 3 Lin. S. 7	
3. Bau- und Betriebskosten		S. 9 - 14
	Syn. S. 10 Lin. S. 13	
4. Personal und Organisation		S. 15 - 25
a) Stellenplan und Personalkosten	Syn. S. 15 Lin. S. 21	
b) Gruppeneinteilg.	Syn. S. 18 Lin. S. 25	
5. Bauzeit		S. 26
6. Bauplatz		S. 27
7. Entwicklungsprobleme		S. 28 - 35
a) Magnet u. Injektion	Syn. S. 28 Lin. S. 33	
b) Vakuumkammer	Syn. S. 29 Lin. S. 33	
c) Ejektion	Syn. S. 29 Lin. S. 33	
d) Hochfrequenz	Syn. S. 30 Lin. S. 33	
e) Strahlentdämpfung	Syn. S. 31 Lin. S. 35	
f) Mechanische Teile	Syn. S. 31 Lin. S. 35	
g) Bau und Abschirmungsprobleme	Syn. S. 32 Lin. S. 35	
8. Übersicht über Teilchenbeschleuniger mit Endenergien von über 1 GeV		S. 36 - 38
a) Protonenmaschinen	Syn. S. 36	
b) Elektronen-Maschinen	Syn. S. 37 Lin. S. 38	
9. Anhang: Bemerkungen von Prof. E. J. Zimmerman		S. 39 - 42

E i n l e i t u n g

und Vergleich der experimentellen Möglichkeiten verschiedener Maschinen.

I. Gründe, die für den Bau eines Elektronen-Synchrotrons maßgebend waren.

In gemeinsamen Diskussionen, die im Sommer 1956 stattfanden, waren folgende Gründe für die Wahl des Baues eines Elektronen-Synchrotrons mit einer Energie von 6 GeV maßgebend:

1. Physik

Für Elektronen- und γ -Reaktionen liegt in dem Energiegebiet über 1,5 GeV experimentelles Neuland vor.

2. Existierende Lücke von Elektronenbeschleunigern in Europa

Die Zahl der in Europa geplanten, im Bau befindlichen oder bereits fertiggestellten Protonen-Synchrotrons war gross. Es handelt sich dabei um die Protonen-Synchrotrons in Delft, Holland und Birmingham, England, für eine Energie von je 1 GeV; Saclay, Frankreich für eine Energie von 3 GeV und in Genf (CERN) für eine Energie von 25 GeV; hinzu kommen die russischen Beschleuniger mit 7 und 10 GeV und der geplante 50 GeV Beschleuniger.

Inzwischen ist auch die Entscheidung darüber gefallen, dass in Harwell, England ein 7 GeV Protonen-Synchrotron, ähnlich dem in Berkeley existierenden Bevatron gebaut wird.

Verglichen mit dieser Vielzahl von Hochenergie-Protonen-Beschleunigern waren in Europa 1956 keine Elektronen-Beschleuniger mit grösseren Energien als 1,5 GeV geplant. Damals waren nur zwei Elektronen-Synchrotrons für Schweden und Italien mit Energien von etwa 1,5 GeV im Bau begriffen, ein Elektronen-Linearbeschleuniger für etwa 1,5 GeV war in Frankreich geplant.

Die Entscheidung, welcher Beschleuniger gebaut werden sollte, war dadurch beeinflusst, dass der Bau eines Elektronen-Beschleunigers von 6 GeV eine gewünschte Ergänzung zu den Beschleunigertypen darstellen würde, die in Europa geplant oder vorhanden waren.

Die Energie von 6 GeV wurde gewählt, um energetisch die Erzeugung aller strange particles und auch der meisten ihrer antiparticles zu ermöglichen.

3. Anlehnung an ein existierendes Großprojekt

Ein weiterer Grund für die Wahl des Baues eines 6 GeV Elektronen-Synchrotrons war: Da in Deutschland nur sehr wenige Leute

Erfahrungen mit Beschleunigern besitzen, sollte ein Typ gewählt werden, der irgendwo anders bereits im Bau befindlich ist. Es sollte deshalb eine möglichst enge Zusammenarbeit mit der Livingston-Gruppe, Cambridge, stattfinden, deren Planung für den Bau eines 6 GeV Elektronen-Beschleunigers 1956 im wesentlichen abgeschlossen schien.

II. Die gegenwärtige Situation betreffend den Bau von Elektronen-Beschleunigern.

Heute ist die Situation wesentlich verändert. Es wird eine grosse Anzahl von Elektronen-Beschleunigern geplant.

Ein Elektronen-Linearbeschleuniger mit einer Endenergie von 1-2 GeV wird in Frankreich gebaut, der erste Teilabschnitt für 200 MeV steht vor seiner Vollendung. In Charkow, Russland, ist ein Linearbeschleuniger für 1 GeV ebenfalls im Bau. Weiter planen die Universitäten Nordenglands den Bau einer Elektronen-Beschleunigungsanlage, wobei die Endenergie noch nicht festgelegt ist; auch ist noch nicht entschieden, ob es ein Linearbeschleuniger oder ein Synchrotron sein wird. Berichte aus Russland besagen, dass in Armenien ein Elektronen-Synchrotron für 4 GeV gebaut wird. Weiter planen die holländischen Physiker den Bau eines Linearbeschleunigers für etwa 3 GeV und später den Bau von zwei storage Ringen. In Schweden wird nach einer Mitteilung von Dr. Ginzton, Stanford, über den Bau eines Linearbeschleunigers diskutiert.

III. Protonen- und Elektronen-Beschleuniger.

Gemäss dieser Sachlage müsste man noch einmal prüfen, ob man eine Protonen- oder Elektronen-Maschine bauen sollte. Ich glaube, dass es unmöglich ist, aus rein logischen Gründen den Typus der Maschine abzuleiten, der gebaut werden soll, da doch immer sehr individuelle Interessen und Ansichten bei der Entscheidung eine Rolle spielen.

Panofsky in Stanford formuliert den Unterschied zwischen Elektronen und Protonen-Maschinen in dieser Weise: "Wehn man primär an Teilchenströmen, also π -Mesonen, μ -Mesonen-und strange particle-Strömen interessiert ist, und wenn man das Verhalten und die Eigenschaften dieser Teilchen untersuchen will, dann sollte man einen Protonen-Beschleuniger bauen. Ist man in erster Linie an Prozessen interessiert, die für Elektronen- und γ -Strahlen charakteristisch sind, dann sollte man eine Elektronen-Maschine bauen. Würden weder Protonen- noch Elektronen-Beschleuniger

existieren, so würde man eine Protonen-Maschine bauen."

Der Entschluss der Engländer, ein konventionelles, schwach fokussierendes Synchrotron für 7 GeV zu bauen, kam offenbar dadurch zustande, dass man nach vielen anderweitigen Planungen nunmehr möglichst schnell einen Beschleuniger wohlbekanntem Typs bauen wollte, mit dem hochaktuelle Physik gemacht werden kann. Die Leute in Brookhaven haben die Entscheidung der Engländer besonders glücklich gefunden.

Vielleicht sollte man den Bau eines Protonen-Synchrotrons für 25 GeV in Genf nicht als Grund dafür nehmen, keine weiteren Protonen-Maschinen niedrigerer Energie in Europa zu bauen. Beachtlich ist aber die erhoffte hohe Intensität des Genfer Protonen-Beschleunigers für Energien kleiner als 10 GeV. Da in diesem Bereich der Beschleuniger einen Puls pro Sekunde liefert, so ist nach Aussagen der Genfer Gruppe die erwartete Intensität nur um einen Faktor 2 kleiner als diejenige des geplanten englischen, schwach fokussierenden Protonen-Synchrotrons für 7 GeV.

1. Physik mit Protonen- und Elektronen-Beschleunigern

Sowohl Protonen- als auch Elektronen-Beschleuniger können als Quelle für die Erzeugung von Teilchen benutzt werden, deren Eigenschaften noch zu untersuchen sind. Will man jedoch Elektronen als Erzeuger von sekundären Teilchen, also z.B. π^- , μ^- -Mesonen und strange particles ausnutzen, so müssen 100 bis 1000 fach so grosse Elektronenströme vorhanden sein, um vergleichbare, meßbare Intensitäten zu erhalten. Dafür steht dem leichteren Elektron bei gleichen kinetischen Energien im Schwerpunktsystem eine etwas grössere Energie zur Verfügung.

Die experimentellen Methoden für den Nachweis von direkten Kernprozessen der primären Teilchen sind für die Protonen- und Elektronen-Maschinen im allgemeinen sehr verschieden. Die verschiedenen Wirkungsquerschnitte mit Protonen sind grössenordnungsmässig untereinander vergleichbar und man kann ohne grosse Mühe die Prozesse, an denen man interessiert ist, aussondern.* Hin-gegen haben elektromagnetische Prozesse mit kleineren Impulsänderungen höhere Wirkungsquerschnitte als die Prozesse, die mit grossen Impulsänderungen verbunden sind. Besonders interessant

*Allerdings sind die gemessenen Wirkungsquerschnitte für die Produktion der strange particles auch um Faktoren 100 - 1000 kleiner als die entsprechenden Querschnitte für die Produktion von π^- -Mesonen.

sind aber die zuletzt genannten Prozesse. Daher ist bei Elektronen-Beschleunigern immer ein grösserer Störuntergrund vorhanden und eine Vorselektion der Prozesse notwendig. Dies bedeutet im allgemeinen umständlicheres und schwierigeres Experimentieren und einen Verlust an meßbarer Intensität, so dass eine hohe primäre Intensität unbedingt erforderlich ist. Natürlich ist das kontinuierliche γ -Bremsstrahlspektrum gegenüber dem homogenen Protonenspektrum ein weiterer Nachteil.

Für die Untersuchung der Eigenschaften der sekundären Teilchen und ihrer Wirkungsquerschnitte ist sowohl bei Protonen- als auch Elektronen-Beschleunigern die "Blasen-kammer" ein ausgezeichnetes Nachweismittel für nahezu alle Ereignisse. Selbstverständlich sind für Elektronen-Beschleuniger besonders hohe primäre Intensitäten notwendig, falls man seltene Ereignisse (Wirkungsquerschnitte 10^{-30} cm^2) noch mit guter Statistik erfassen will; der Nachteil der Elektronen-Beschleuniger liegt in dem Vorhandensein eines wesentlich grösseren Störuntergrundes.

Für quantitative Untersuchungen des Verhaltens der primären Strahlen (Erzeugung und Wirkungsquerschnitt) eignet sich die Blasen-kammer nur, wenn es sich um Protonen handelt.

Man muss dagegen Elektronen-Beschleuniger verwenden, um folgende Prozesse zu untersuchen:

- a) Untersuchung der Photo-erzeugung verschiedener Teilchen,
- b) Untersuchung der Erzeugung verschiedener Teilchen durch Elektronen,
- c) Untersuchung der Gültigkeit der Elektrodynamik bei hohen Energien,
- d) Erzeugung von Teilchen, die im wesentlichen nur durch elektromagnetische Wechselwirkung entstehen,
- e) Untersuchung der Feinstruktur von Proton und Neutron durch Streuung von Elektronen- und γ -Strahlen (z.B. Polarisierbarkeit)
- f) Untersuchung der Kinematik von unelastischen Prozessen.

2. Praktische Probleme

a) Konkurrenz mit anderen Beschleunigern:

So wie Experimentalphysik nicht als ein Wettrennen "etwas zuerst zu messen" aufgefasst werden sollte, so sollte die Wahl des Beschleunigers nicht unter dem Gesichtspunkt bewertet werden, einen gewissen Energiebereich als erster zu erreichen. Das Problem bei uns liegt vielmehr darin, überhaupt einen Schritt möglichst rasch und mit möglichst geringem Risiko zu tun. (s. Bem. von E. J. Zimmerman)

b) Konstruktion und Bau:

Ein naheliegender Vorschlag für den Bau eines Protonen-Beschleunigers wäre der eines 7 GeV Bevatrons mit schwacher Fokussierung (eine niedrigere Energie wäre aus physikalischen Gründen kaum vertretbar). Der Bau wäre schnellstens und ohne Risiko durchführbar, da Vorbilder (Bevatron, Berkeley; Harwell, England) vorliegen.

Blewett, Brookhaven empfiehlt den Bau eines Linearbeschleunigers für Protonen für mehrere GeV mit hoher Stromstärke (man gewinnt mindestens einen Faktor 1000 gegenüber den jetzt existierenden Protonen-Beschleunigern). Blewett bemerkte, dass es zwar schwierig wäre, die ersten 200 MeV zu bauen, doch wären dafür jetzt in Brookhaven und Genf genügend Erfahrungen vorhanden. Die Schwierigkeiten für den Bau im Energiebereich über 200 MeV seien nicht grösser als die für Elektronen-Beschleuniger bestehenden. Nach seiner Darstellung seien die meisten Wissenschaftler in Harwell über die Aufgabe des Linearbeschleuniger-Projektes in seiner ursprünglichen Form sehr unglücklich.

Der Bau eines solchen GeV Protonen-Linearbeschleunigers müsste ohne Vorbild in Angriff genommen werden und wäre deshalb nur mit grossen Schwierigkeiten und Risiken durchführbar, selbst wenn Blewett, wie er vorläufig zusagte, seine Mitarbeit zur Verfügung stellen würde. Auch würde der Bau wahrscheinlich eine zu lange Zeit in Anspruch nehmen.

c) Elektronen-Beschleuniger

Das Synchrotron (Livingston-Vorschlag) oder der Linearbeschleuniger (Vorschlag der Stanford University) stehen als Elektronen-Beschleuniger mit Energien von 6 GeV zur Wahl.

Sicher ist der Bau des Elektronen-Synchrotrons schwieriger als der Bau des Protonen-Synchrotrons. Es treten schwierige Strahlungs-, Entdämpfungs- und Vakuumkammerprobleme auf. Doch lassen sich für alle diese Probleme Lösungen finden. Beim Linearbeschleuniger sind nur schwierige technologische Probleme, besonders im Zusammenhang mit der Klystronfrage zu lösen.

d) Gesamtkosten

Die Gesamtkosten der Elektronen-Beschleuniger (Synchrotron oder Linearbeschleuniger) und des schwach fokussierenden Protonen-Synchrotrons sind in erster Näherung miteinander vergleichbar. (der Protonen-Beschleuniger ist nach englischen Angaben um etwa 15 % teurer).

Die Kosten für den Bau eines Elektronen-Beschleunigers belaufen sich auf etwa 50 Mill.DM. Harwell rechnet etwa 1 Mill. £ pro GeV, also 66 Mill.DM für 6 GeV.

Zum Vergleich sei angeführt, dass der 12 GeV Protonen-Beschleuniger Argonne 113 Mill.DM, die stark fokussierende Maschine bei CERN 93 Mill.DM kostet. Der Protonen-Linearbeschleuniger für 6 GeV ist wesentlich teurer als der entsprechende Elektronen-Beschleuniger. Blewett schätzt die Kosten für die ersten 200 MeV auf 16 Mill.DM. Bei ganz roher Schätzung könnte man für 50 Mill.DM einen Beschleuniger mit einer Energie von etwa 3 - 4 GeV und einer Stromstärke von mehreren μ A bauen.

3. Kritische Zusammenfassung:

Trotz vieler Vorteile, die Protonen-Beschleunigern eigen sind, wird vorgeschlagen, einen Elektronen-Beschleuniger zu bauen. Nach dem Beschluss der Engländer, einen 7 GeV Protonen-Beschleuniger zu bauen, scheint in Europa eine weitere Konkurrenz zur CERN-Maschine unerwünscht.

Wegen der auf Seite IV angeführten Gründe muss der Elektronen-Beschleuniger eine grosse Stromstärke besitzen. Um alle Teilchen und Antiteilchen herstellen zu können, sollten Endenergien von 8 - 10 GeV erreichbar sein. Mit einem solchen Beschleuniger kann man nicht nur die unter III/1 genannten Versuche ausführen, sondern auch Teilchenströme erzeugen, deren Intensität die Stromstärken der jetzt existierenden Protonen-Beschleuniger übertrifft. Freilich sind die anzuwendenden experimentellen Methoden schwieriger als bei Protonen-Beschleunigern und zum Teil noch nicht entwickelt.

IV. Diskussion des Baues eines Elektronen-Synchrotrons für 6 - 7,5 GeV und eines Linearbeschleunigers für 4 - 10 GeV.

Die Gründe, warum neben dem Bau eines Elektronen-Synchrotrons der Bau eines Linearbeschleunigers für Elektronen erwogen wird, sind im folgenden zusammengefasst:

1. Erreichbare Endenergien

An der Stanford Universität, Palo Alto, Californien, ist gerade ein Vorschlag (Proposal for a 2 Miles Linear Electron Accelerator) ausgearbeitet worden, einen Linearbeschleuniger mit einer Endenergie von 45 GeV zu bauen. Es ist also mit diesen Beschleunigern ohne wesentliche zusätzliche Schwierigkeiten möglich Energien zu erreichen, die den Synchrotrons verwehrt sind; mit diesen

können ja wegen der Strahlungsverluste praktisch höchstens etwa 8 GeV erreicht werden. Beim Linearbeschleuniger kann eine beachtliche Erhöhung der Energie stufenweise durch Vergrößerung der zugeführten Hochfrequenzleistung erreicht werden, ohne die Länge des Beschleunigers vergrössern zu müssen. Bei einer effektiven Länge von 700 m kann man im Endstadium 10 GeV erreichen, bei entsprechender Entwicklung der Klystrons. Dies ist wohl einer der wesentlichsten Vorteile des Linearbeschleunigers.

2. Intensität und Geometrie

Der Linearbeschleuniger lässt den Strahl mit kleiner Divergenz wohldefiniert in den Raum austreten. Eine um den Faktor 10000 höhere Strahlintensität gegenüber existierenden Elektronen-Synchrotrons wird erreicht.

3. Pulsdauer

Die kurzen etwa 1μ -Sekunde dauernden Strompulse beim Linearbeschleuniger sind gegenüber den mehrere 100μ -Sekunden dauernden Strompulsen beim Synchrotron ein grosser Nachteil für die Durchführung von konventionellen Koinzidenz- und time of flight-Messungen. Ein Beispiel: Panofsky hat die Photo-Paarerzeugung von μ -Mesonen indirekt nachgewiesen, aber es war ihm unmöglich, die beiden μ -Mesonen in Koinzidenz nachzuweisen. Die Schwierigkeiten können zum Teil dadurch kompensiert werden, dass durch sehr sorgfältige Abschirmung und durch Verwendung magnetischer Spektrometer der Untergrund wesentlich reduziert wird, so dass das Verhältnis von Signal zu Untergrund verbessert wird. Man muss einfach die Unterscheidung durch andere Mittel als durch die Zeit erreichen. Es ist zutreffend, dass man gegenwärtig an Stelle der Koinzidenztechnik eine relativ komplizierte Technik beim Linearbeschleuniger anwenden muss. Die Verwendung zusätzlicher Analysiermagnete und Abschirmungen erhöht die Kosten für die Versuche.

Ich möchte als Beispiel anführen, dass das gesamte für den Betrieb der Maschine und die Forschung zur Verfügung stehende Budget am Cal.Tech.in Pasadena für ein Elektronen-Synchrotron von 1,2 GeV 400000 \$ pro Jahr beträgt.

Die reinen Betriebskosten des Stanford Linearbeschleunigers (700 MeV) betragen bei 15stündigem 6 Tage/Woche Betrieb 300000 \$ pro Jahr, davon 100000 \$ für die Reparatur und Neuherstellung von Klystrons. Für Forschung und Anschaffung von Apparaturen

stehen 700000 zur Verfügung, Stanford hat also ein Gesamtbudget von 1.000000 \$. Natürlich sind diese Zahlen allein kein Beweis für die Billigkeit oder Kostspieligkeit eines Beschleunigerprojektes.

Der kurze Puls ist ohne Belang bei Anwendung der Photographischen Plattentechnik, bei der Blaskammer ist er sogar von Vorteil. Im übrigen kann man bei Anwendung der Methode der verzögerten Koinzidenzen den kurzen Puls ausnutzen. Auch lässt die Hochfrequenzfeinstruktur des Strahles (die Pulsdauer beträgt um 10^{-11} sec) Entwicklungen von time of flight Methoden zu, welche die Intervalle zwischen den Hochfrequenzpulsen ausnutzen.

Wenn sich Koinzidenzmethoden mit einer Auflösungszeit von 10^{-11} sec entwickeln lassen, so würde das Bild auch in diesem Punkte sehr zu Gunsten des Linearbeschleunigers verschoben. Vielleicht erfüllen Gasszintillationszähler - reinste Edelgase werden als Szintillatoren verwendet - diese Hoffnung. Natürlich braucht man dann noch photo-multiplier-tubes mit 10^{-11} sec Ansprechzeit. Dieses scheint keine unerfüllbare, aber doch sehr schwierige Aufgabe zu sein.

4. Konstruktion und Bau eines Elektronen-Synchrotrons für 6 GeV

Ursprünglich war geplant, sich soweit als möglich an das Livingston'sche Projekt anzulehnen. Es stellte sich jedoch heraus, dass dabei einige ziemlich schwierige Probleme auftreten. Die Hauptschwierigkeiten beim Bau eines Elektronen-Synchrotrons von 6 GeV seien im folgenden genannt:

- a) Wegen der starken Strahlung ist es schwierig, eine Vakuumkammer zu bauen, die weder durch die Strahlung Schaden erleidet, noch Störungen durch Wirbelströme ergibt.
- b) Es muss bei einer Einschussfeldstärke von nur 20 - 40 Gauß der Strahl eingelenkt werden.
- c) Bei höheren Energien, etwa von 5 GeV an, treten wegen der hohen Strahlungsverluste in der radialen Richtung Instabilitäten auf, die mit der Zeit nach einer e-Funktion anwachsen.

Vorschläge zur Lösung dieser Probleme sind vorhanden; es kann daher angenommen werden, dass die Inbetriebnahme des Synchrotrons planmässig vor sich gehen sollte.

5. Konstruktion und Bau eines Linearbeschleunigers

Für den Bau eines Linearbeschleunigers sind alle wesentlichen physikalischen Probleme gelöst. Es sind im wesentlichen technologische Schwierigkeiten zu überwinden. Vor allem ist die Herstellung und Reparatur der Klystrons eine schwierige Frage. Dabei hat man heute technisch einwandfreie Lösungen mit Impulsleistungen bis zu 6 MW; bei 20 MW-Klystrons treten Schwierigkeiten bei den Fenstern auf. Diese haben die Aufgabe, die Klystrons vom Beschleuniger vakuumdicht abzutrennen, sie müssen deshalb die Hochfrequenzleistung passieren lassen.

Aus der normalen Feinmechanik herausfallend ist die Herstellung der Präzisionshohlleiter des Beschleunigers, doch ist bei geeigneter Technik und bei Vorhandensein genügend geschulter Fachkräfte diese letzte Schwierigkeit ohne weiteres überwindbar. Lange Diskussionen mit Dr. Ginzton, dem Leiter des Stanford "2 Miles" Projektes, in Genf und Hamburg ergaben folgendes: Nach Diskussionen mit etwa 10 oder 12 unserer Mitarbeiter hatte er den Eindruck, dass wir in einer besseren Lage wären, solch ein grosses Projekt zu starten, als er in Stanford. Er meinte, dass er nach einer etwa halbjährigen Einschulung von etwa 6 - 8 unserer Leute in Stanford keine Schwierigkeiten sehe, den Beschleuniger erfolgreich zu beenden, falls eine genügend freie Organisation geschaffen werden kann.

Um den Schrecken vor der Erzeugung der Klystrons zu nehmen, machte er folgende Angaben: Augenblicklich arbeiten 5 Leute in der Klystron-Werkstätte, eine wirklich geschulte Kraft und vier Mädchen die angelernt wurden. Die Zahl der insgesamt reparierten und neu erzeugten Röhren beträgt gegenwärtig 7 pro Monat. Die Bauzeit dürfte für beide Beschleuniger gleich sein, nämlich etwa 5 - 6 Jahre.

6. Kostenschätzungen

Kostenschätzungen haben ergeben, dass die Baukosten für ein Synchrotron von 6 GeV, das so angelegt ist, dass es auf eine Energie von 7,5 GeV ausgebaut werden kann 50,3 Mill. DM betragen. Ein Linearbeschleuniger effektiver Länge von 700 m und einer Anfangsenergie von 3,7 GeV und einer entsprechend der Verbesserung der Eigenschaften der Klystrons ausbaufähigen Endenergie bis zu etwa 7 GeV kostet etwa 55,3 Mill. DM. Hierbei ist jedoch noch zu berücksichtigen, dass die Stromstärke des Linearbeschleunigers etwa um einen Faktor 10-30 höher liegt als die des geplanten Synchrotrons.

7. Betriebskosten

Die reinen Betriebskosten (ohne Forschung und dafür notwendige experimentelle Ausrüstung) betragen für das Synchrotron etwa 4,6 Mill.DM, für den Linearbeschleuniger etwa 5,6 Mill.DM. Wegen der Klystron-Werkstätte sind die Betriebskosten für den Linearbeschleuniger jährlich um etwa 0,9 Mill.DM höher.

8. Allgemeine Bemerkungen

Im folgenden soll eine kritische Wertung der beiden Typen versucht werden:

Beide Maschinen liefern Elektronen hoher Energie und mit beiden Maschinen kann man γ -Strahlen, die wohlgerichtet in den Experimentierraum treten, erzeugen. Es ist deshalb möglich, mit beiden Beschleunigern viele gleiche Experimente auszuführen, wenn auch die zu verwendenden Techniken sehr verschieden sein dürften.

Da nur mit dem Linearbeschleuniger ein Elektronenstrahl hoher Intensität mit guter Bündelung im Aussenraum erreichbar ist (die Divergenz beträgt nur 2 Bogensekunden) so ist es nur mit ihm möglich, die Feinstruktur des Protons zu untersuchen. Da die Wellenlänge der Elektronen bei diesen hohen Energien sehr klein gegenüber dem Kernradius ist, können die Versuche über Strukturfragen mit überlegener Genauigkeit durchgeführt werden. Da man dabei Intensitätsverhältnisse von etwa 1:1.000.000 messen kann ist es notwendig, nicht nur geometrisch und energetisch hohe wohldefinierte Strahlen, sondern auch hohe Intensitäten zu besitzen. Es ist zu hoffen, dass man Aussagen über die Polarisierbarkeit des Protons machen kann. Vielleicht erhält man auch nähere Aufschlüsse über die Struktur des Neutrons und der leichtesten Kerne. Will man Blaskammer-Versuche machen, so ist zu unterscheiden, ob man den primären Strahl direkt durch eine solche Kammer führen will, oder ob man nur die sekundären Produkte untersuchen will. Es zeigen Untersuchungen, dass γ -Strahlen einen so starken Untergrund in Blaskammern hinterlassen, dass quantitative Untersuchungen sehr schwierig sind. Ich habe selbst zwei Versuchsreihen gesehen, die mit Blaskammern und direkten γ -Strahlen gemacht wurden. Der eine Versuch betraf eine γ -Strahlung von 450 Mill.Volt, und es wurde untersucht, mit welchem Untergrund noch Ereignisse mit Wirkungsquerschnitten von etwa 10^{-30} cm^2 nachgewiesen werden konnten.

Das Resultat war, dass etwa 1 Tag notwendig ist, um ein solches Ergebnis bei tragbarem Untergrund festzustellen. Eine weitere Versuchsreihe wurde in Cornell durchgeführt mit einer γ -Strahlung von 1,5 GeV. Die Bilder zeigen in der Mitte einen breiten Streifen, der keine Details erkennen liess; es sind die nach vorwärts gebündelten Sekundärprozesse des γ -Strahles. Weiter aussen konnte man dann einzelne Spuren von Teilchen feststellen, wobei es in jedem Fall jedoch unmöglich ist, den Ursprung dieser Strahlen, die ja in dem dichten Band liegen, genauer festzustellen. Man kann deshalb, wie schon erwähnt, keine quantitativen Versuche mit hochenergetischen γ -Strahlen machen. Ähnliche Schwierigkeiten treten bei Elektronen-Strahlen auf.

Hingegen ist die Blaskammer sehr wohl geeignet, sekundäre Prozesse, also etwa π -Mesonen, K-Mesonen oder strange particles zu messen. Hierbei ist es im Prinzip gleichgültig, ob man ein Elektronen-Synchrotron oder einen Linearbeschleuniger verwendet, da ja die Blaskammer auf ein Zeitintervall von etwa 1 msec anspricht; in diesem Zeitintervall ist natürlich nur eine gewisse Intensität zuzulassen.

Da die Wirkungsquerschnitte für die Erzeugung der strange particles sehr klein sind, so ist auch hierfür wieder höchste primäre Intensität notwendig. Es ist also auch dafür wieder der Linearbeschleuniger von Vorteil.

Im Falle eines Linearbeschleunigers kommt man unmittelbar an den austretenden Elektronenstrahl heran, so dass man die verfügbare Intensität voll ausnutzen kann. Beim Synchrotron müssen im allgemeinen wegen der Magnetspulen die Analysier- und Meßapparaturen in weiter Entfernung vom Entstehungsort der zu untersuchenden Teilchen aufgestellt werden.

Zusammenfassung:

Zusammenfassend lässt sich sagen: Mit beiden Beschleunigertypen kann hervorragende Physik für längere Zeit betrieben werden. Der Linearbeschleuniger stellt jedoch, schon wegen der Möglichkeit der höheren Intensitäten und der höheren Energie, wegen des weniger problematischen Aufbaus und des nicht existierenden Extraktionsproblems den vorteilhafteren Bau dar. Es ist zu hoffen, dass der einzige tatsächliche Nachteil des kurzen Pulses durch eine Weiterentwicklung der Technik weitgehend kompensiert werden kann. Dagegenwärtig die konventionelle Koinzidenzmethode nicht

angewendet werden kann, erfordern manche Versuche mit dem Linearbeschleuniger eine kompliziertere und deshalb auch teurere Experimentiertechnik als die mit dem Synchrotrons

Mit dieser Zusammenfassung wäre ein Großteil der von mir befragten amerikanischen Physiker einverstanden wie Segre, Panofsky, Hofstaedter, Kerst, Osborne und Ritson. Hingegen waren eindeutig für Elektronen-Synchrotrons, erstens wegen der wahrscheinlich billigeren Versuchsmöglichkeiten und wegen der Struktur der Laboratorien und vor allem wegen der Möglichkeiten, die der lange Puls bietet: Sands von Pasadena und seine Mitarbeiter, Wattenberg von MIT, vor allem auch Feld, MIT und Ramsay, Harvard. Feld glaubt, dass die Koinzidenzmethode, wie sie jetzt bei Synchrotrons Anwendung findet, wesentlich ist, um gute Experimente machen zu können. Green hingegen war nach langen Diskussionen überzeugt, dass für die Zukunft der Linearbeschleuniger die bessere Maschine sein sollte.

2. Beschreibung und Leistung des Synchrotrons

a) Zur Diskussion steht ein Elektronen-Synchrotron mit starker Fokussierung. Die Endenergie ist mit 6 GeV für den ersten Bauabschnitt vorgesehen. Der Magnet wird für eine Endenergie von 7,5 GeV dimensioniert, sodass die Maschine im zweiten Bauabschnitt durch Erhöhung der HF-Leistung und Erweiterung der Energieversorgung auf 7,5 GeV aufgebaut werden kann. Die in der Tabelle angegebenen Parameter wurden nach den bekannten in Genf und Cambridge angewandten Verfahren in nullter Näherung berechnet. Die Maschine wurde in ihrem Grundentwurf an die Pläne der CEA-Gruppe unter Leitung von Prof. Livingston in Cambridge angelehnt. Darüber hinaus wurden zahlreiche Parameter verändert, um gegenüber der CEA-Maschine eine grössere Betriebssicherheit zu erzielen.

Im einzelnen wurden erweitert:

Die Kammerhöhe auf etwa das 1,5-fache; (dadurch wird mehr Platz für die Betatronschwingungen in vertikaler Richtung gewonnen).

Die Frequenz der Magnetstromversorgung von 30 auf 50 Hz; (damit erhöht sich der mittlere Strom, die Gesamtausstrahlung wird geringer, die Entdämpfung der Betatronschwingungen durch Ausstrahlung kleiner).

Der mittlere Bahnradius von 36 auf 48 m; (hierdurch ergeben sich bedeutend längere gerade feldfreie Stücke, die den Bau der Beschleunigungsstrecken einfacher gestalten).

Der Krümmungsradius des Magnetrings von 26,4 auf 28-30 m und die Einschussenergie von 20 auf 40 MeV; (daraus folgt ein kleineres maximales Magnetfeld, ein höheres Einschussfeld von 25,3 auf 45 Gauß, weiterhin wird die Gesamtausstrahlung nochmals verringert).

Es entstand so ein neuer Entwurf, dessen Verwirklichung leichter als der der CEA-Gruppe sein sollte. Die unten angegebenen Kosten veranschlagen sich dadurch höher als für ein Synchrotron nach den Plänen der CEA-Gruppe.

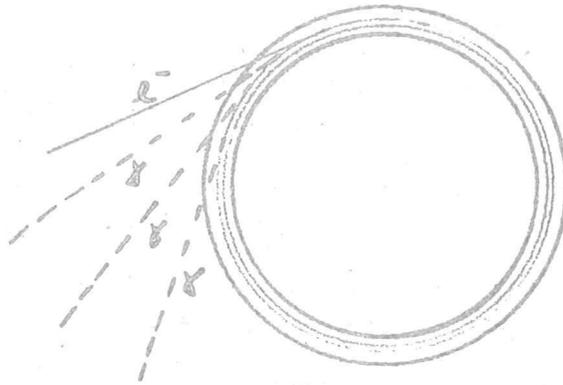
Unter Berücksichtigung der folgenden Parameter kann nach bisherigen Erfahrungen und Abschätzungen mit einem Strom von ca. $1 \mu\text{A}$ gerechnet werden.

Es sind folgende Parameter vorgesehen:

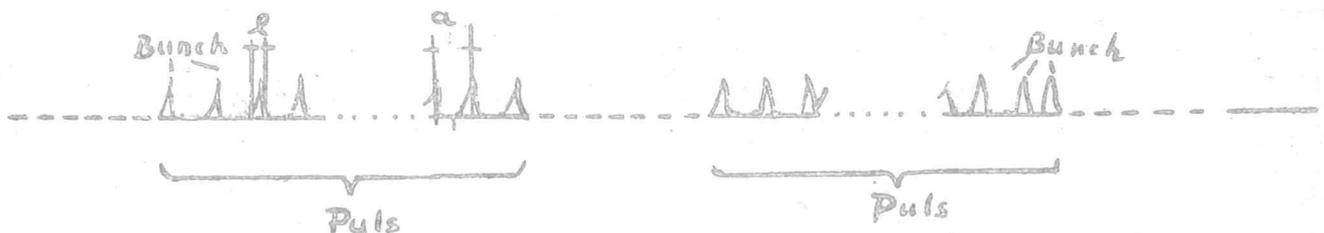
Mittlerer Radius	:	48 m
Krümmungsradius des Magnetrings	:	28,5 - 30 m
Betatronschwingungen pro Umlauf	:	5 - 7
Feldindex	:	ca. 125
Zahl der Feldperioden	:	ca. 30
Frequenz der Magnetstromversorgung	:	50 Hz
Lichte Kammerweite	6,0 x 13,0	8,0 x 14,0 cm
Magnetfeld beim Einschießen	:	ca. 45 Gauß
Maximales Magnetfeld bei 7,5 GeV	:	ca. 9000 Gauß
Einschußenergie	:	40 MeV
Mittlerer aus dem Linac aufgenommener Strom	:	10 μA
Strom bei Ende der Beschleunigung	:	ca. $1 \mu\text{A}$

2. Beschreibung und Leistung des Synchrotrons

- b/
- 1.) Mit Hilfe von Targets können gleichzeitig an mehreren Stellen γ -Strahlen aus der Maschine herausgeführt werden.
 - 2.) Durch einen Ablenkmagneten scheint es nach bisherigen Überlegungen möglich zu sein, ohne viel Aufwand ca. 5% des Elektronen-Strahles in multistufiger Ejection aus der Maschine herauszuführen. Mit mehreren Magneten kann an weiteren Stellen die gleiche Intensität aus der Maschine gelenkt werden.
 - 3.) Durch Herabsetzen des maximalen Magnetfeldes lassen sich stufenlos γ -Strahlen geringerer Intensität erzeugen.



- 4.) Die im dem Synchrotron umlaufenden Elektronen treffen innerhalb von ca. hundert Umläufen nacheinander auf ein Target und erzeugen einen gepulsten γ -Strahl. Jeder der Pulse enthält wiederum mehrere hundert Bunches. Der aus der Maschine herausgeführte Elektronen-Strahl besitzt die gleiche Struktur. (Siehe Tabelle)



Synchrotron

	Erwarteter verfügbarer Elektronen- strahl zur γ Erzeugung	Erwarteter Elektronen- strahl nach Ejektion	
Mittlerer Strom	1	1/20	μ A
Länge des Pulses	100	30	μ sec
Wiederholungsfre- quenz des Pulses	50	50	Hz
Anzahl der Bunche pro Puls	5×10^4	$1,5 \times 10^4$	
Abstand der Bunche a	2×10^{-10}	2×10^{-10}	μ sec
Elektronen pro Bunch	$2,5 \times 10^6$	$0,4 \times 10^6$	
Energieunschärfe des Strahles	%	± 1	%
Winkeldivergenz des Strahles	%	10^{-3}	rad
Strahlbreite	%	1-2	cm

2. Beschreibung und Leistung des Linearbeschleunigers

... des Linearbeschleunigers

a)

Im Linearbeschleuniger werden die Elektronen durch eine fortlaufende elektromagnetische Welle beschleunigt, deren Phasengeschwindigkeit mit der Geschwindigkeit der Elektronen übereinstimmen muß. Diese ist praktisch im ganzen Beschleuniger konstant und gleich der Lichtgeschwindigkeit. Die Welle pflanzt sich in einem speziell geformten Hohlleiter fort. Die Elektronen gewinnen maximale Energie, wenn sie auf dem Kamm der Welle sitzen. Durch den Energieentzug und durch Verluste im Hohlleiter wird die Welle stark gedämpft, sodass ein längerer Beschleuniger in eine Reihe kurzer Hohlleiterabschnitte unterteilt werden muß, in die zur Aufrechterhaltung der fortschreitenden Welle HF-Energie eingeführt wird. Man entnimmt diese Energie Klystronverstärkern, die ihrerseits über Impulstransformatoren von Modulatoren angesteuert werden. Die erforderliche hohe Ausgangsleistung der Klystrons macht es erforderlich, das Tastverhältnis niedrig zu halten, so daß der Beschleuniger in Pulsen von etwa 2 μ sec arbeitet bei einer Wiederholungsfrequenz von 50 bis 300 Hz. Bei einer grossen Zahl von Abschnitten bietet die synchrone Steuerung der Klystronverstärker besondere Probleme. Phasenschieber zwischen den einzelnen Abschnitten ermöglichen die Einstellung der richtigen Phasenrelation zwischen den angrenzenden Wellenzügen.

Die Wahl der Frequenz wird wesentlich durch die von der Technik entwickelten Hohlleistungsklystrons für 3000 MHz bestimmt. Wichtige Parameter, die durch die Konstruktion des Hohlleiters bestimmt sind, sind die Dämpfungskonstante der Welle α und die Shuntimpedanz η . Diese bestimmen zusammen mit der Eingangsleistung W_0 die Feldstärke E_0 am Eingang des Hohlleiters durch

$$\eta = \frac{E_0^2}{2 \alpha W_0}$$

Auf dem für DESY verfügbaren Gelände könnte eine Beschleunigerlänge von 700 m untergebracht werden; das entspricht nach Abzug der notwendigen Zwischenstücke für die Einspeisung der HF-Energie und für Pumpenanschlüsse einer reinen Hohlleiterlänge

STRAHLENERGIE - STROM

Gesamtlänge 650 m (reine Hohlleiterlänge)

Abschnittslänge 3 m

W_0 = Eingangsleistung pro Abschnitt

$\alpha = 0,3$ Neper/m

$\lambda = 0,1$ m

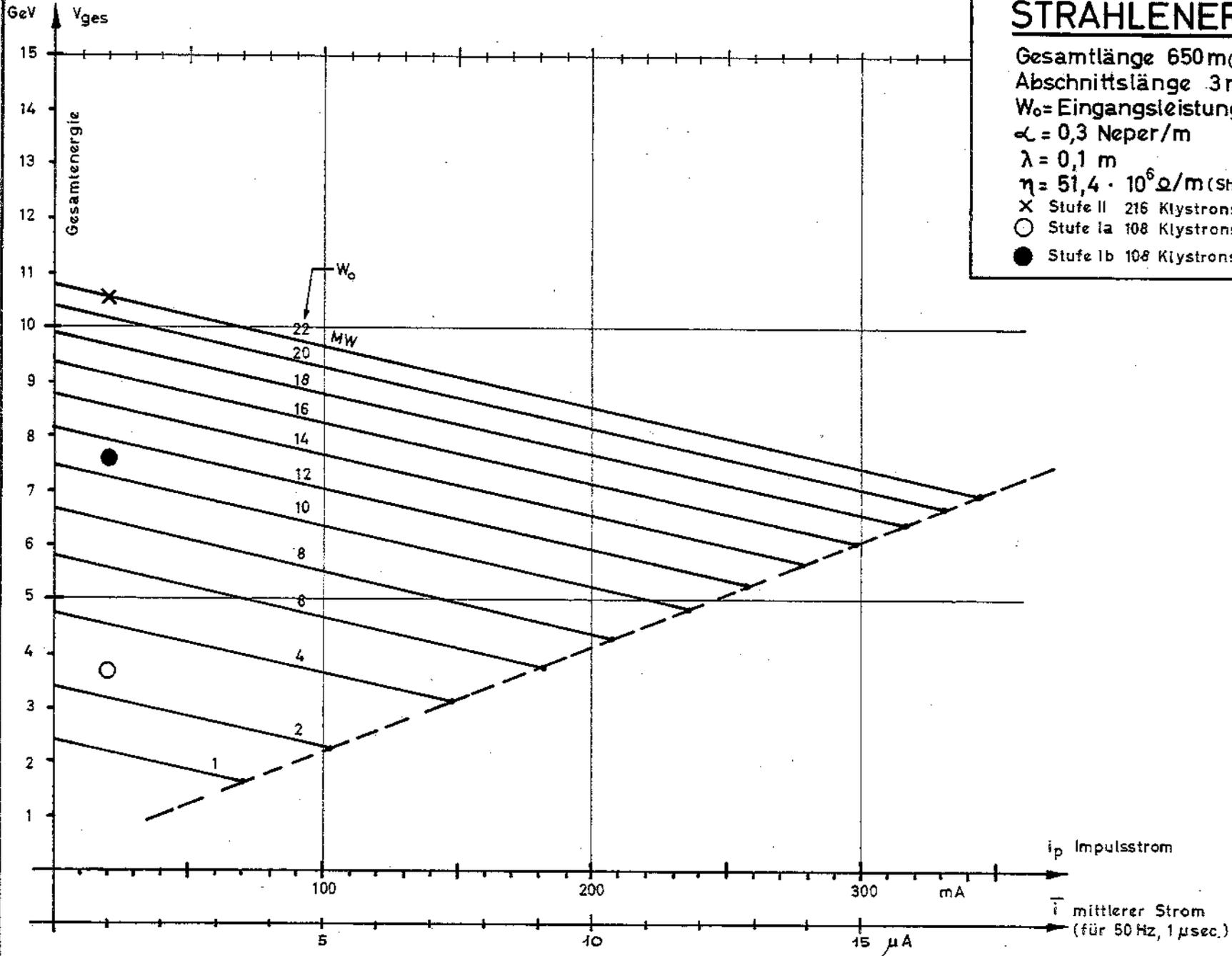
$\eta = 51,4 \cdot 10^6 \Omega/m$ (Shunt Impedanz)

× Stufe II 216 Klystrons

○ Stufe Ia 108 Klystrons

● Stufe Ib 108 Klystrons

2.58 kn



von 650 m. Die auf dieser Strecke zu gewinnende Energie V_{ges} ist, nachdem α und η optimal gewählt worden sind, abhängig von der Länge des einzelnen Abschnitts der pro Abschnitt eingespeisten Energie W_0 und dem beschleunigten Elektronenstrom i_p (= Impulsstrom) bzw. \bar{i} (= Strom im zeitlichen Mittel). In der Abbildung ist diese Abhängigkeit dargestellt für Abschnittslängen von 3 m. Die Skala für den mittleren Strom bezieht sich auf eine Wiederholungsfrequenz von 50 Hz und 1 μ sec Impulsdauer. Die für die Abb. zugrunde gelegten Daten entsprechen etwa denen des Stanford Mark III Beschleunigers und liegen auch dem neuen Stanford-Vorschlag (45 GeV) zugrunde. Bei kleinem Strom steigt die Endenergie mit W_0 , bei konstantem W_0 sinkt die Endenergie mit wachsendem Strom. Der Strom ist nach oben begrenzt, wenn die Amplitude der Welle bis auf Null gedämpft wird (gestrichelte Linie). Je höher W_0 ist, desto höher ist der maximal erreichbare Strom. In dem Kurvenbild drückt sich die Flexibilität eines Linearbeschleunigers bezüglich Strom, Endenergie und Eingangsleistung aus. Die in dem Stanford Vorschlag geplante stufenweise Erhöhung der Endenergie durch Steigerung der Klystronleistung und Verdoppelung der Klystronzahl ist, auf 650 m reduziert, in der Abb. gekennzeichnet.

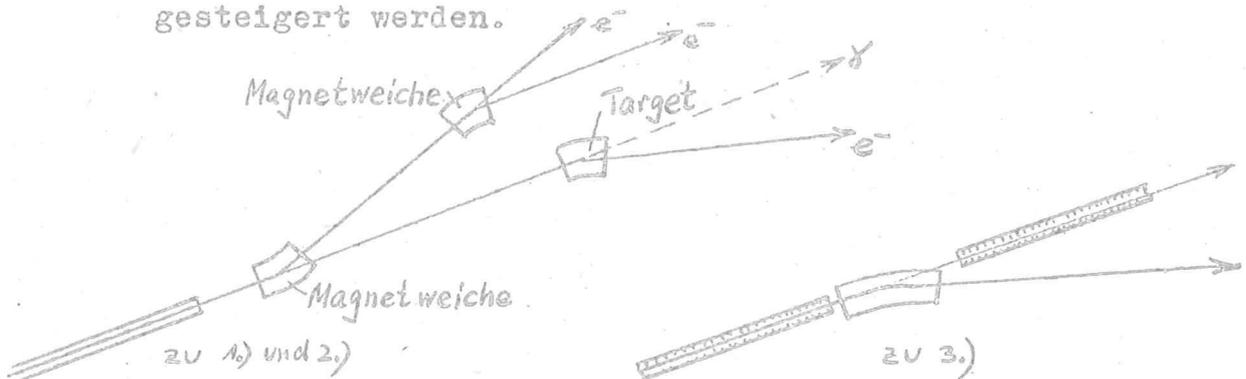
Die Frage, ob Rückkopplung der HF-Energie, die bisher nur bei kurzen Beschleunigern angewendet wurde, auch im Falle eines Großbeschleunigers möglich ist, muß studiert werden. Möglichkeiten, den Linearbeschleuniger in Stufen zu bauen, sind in untenstehender Tabelle mit Angabe der erreichbaren Endenergie zusammengestellt und dem Stanford-Vorschlag gegenübergestellt. Die Kostenabschätzungen, die in diesem Bericht gegeben sind, beziehen sich auf den Typ in Spalte 4.

	Stanford			Hamburg			
	Ia	Ib	II	Ia	Ib	II	
Gesamtlänge	2760	2760	2760	650	650	650	m
Abschnittslänge	3	3	3	3	3	3	m
Zahl der Klystrons	480	480	920	108	108	216	=
Klystronleistung	5,5	22	22	5,5	22	22	MWatt
Leistung pro Abschnitt	2,75	11	22	2,75	11	22	MWatt
Energiegewinn pro m	5,4	10,9	16,3	5,7	11,7	16,2	MeV/m
Endenergie	15	30	45	3,7	7,6	10,5	GeV
Spalte	1	2	3	4	5	6	

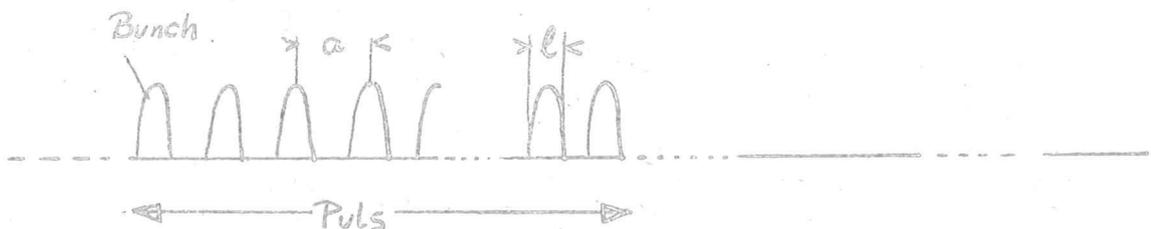
2. Beschreibung und Leistung des Linearbeschleunigers

b)

- 1.) Der Strahl tritt frei aus. Es wird mit Hilfe von Magnetweichen an verschiedene Versuchsapparaturen gelenkt, die nacheinander versorgt werden und unabhängig vom Betriebszustand des Linac aufgebaut und verändert werden können.
- 2.) Der Strahl kann mit Hilfe eines Targets in einen γ -Strahl und einen Elektronen-Strahl aufgespalten werden.
- 3.) An vorher vorgesehenen Stellen kann der Strahl schon vor Erreichen der Endenergie aus dem Linac mit Hilfe von Magnetweichen zum Experimentieren mit geringeren Energien herausgeführt werden.
- 4.) Die Intensität des Strahles kann auf Kosten der Endenergie gesteigert werden.



5. Der Elektronen-Strahl des Linac besteht aus Pulsen. Jeder Puls enthält mehrere tausend Bunches. (Siehe Tabelle).



Linearbeschleuniger

Elektronenstrahl

Mittlerer Strom	1 (6)	μA
Länge des Pulses	1	μsec
Wiederholungsfrequenz des Pulses	50 (300)	Hz
Anzahl der Bunche pro Puls	3×10^3	
Abstand der Bunche a	3×10^{-10}	μsec
Länge der Bunche l	2×10^{-11}	μsec
Elektronen pro Bunch	4×10^8	
Energieunschärfe des Strahles	± 2	%
Winkeldivergenz des Strahles	10^{-4}	rad
Strahlbreite	1	cm

3. Bau- und Betriebskosten

1. Synchrotron

Als Baukosten für das Synchrotron ergeben sich unter der Berücksichtigung, daß die Maschine von 6 auf 7,5 GeV erweitert werden kann,

50,3 Mill.DM.

Falls die Maschine so geplant wird, daß sie nur 6 GeV leistet und nicht auf 7,5 GeV erweitert werden kann, bei derselben Größe der Bauten wie für CEA, so betragen die Kosten 45,5 Mill.DM.

Die Betriebskosten pro Jahr sind 4,7 Mill. DM ohne Berücksichtigung des experimentellen Aufwandes.

2. Linearbeschleuniger

Die Gesamtkosten für einen Linearbeschleuniger mit der Länge von 700 m, der zunächst 3,7 GeV leistet und mit höherer Energie der Klystrons auf ca 7 GeV erweitert werden kann, betragen

55,3 Mill.DM.

Wird berücksichtigt, daß bei der Erstellung des Klystrontunnels wegen der Gegebenheiten des Geländes Baukosten eingespart werden können, so beträgt diese Summe 51,5 Mill.DM.

Die Anlage kann durch Verdoppelung der Klystronzahl später auf ca 11 GeV erweitert werden. Bei allen Abschätzungen der Kosten der Bauten sind ^{Tunnelbauten} für $160,-/m^3$ und für andere Bauten $140,-/m^3$ angesetzt. Dies ist eine Abschätzung, die nur durch eine genaue Kontrolle der eventuell teureren Behördenbauweise erzielt werden kann.

Die Betriebskosten für den Linearbeschleuniger pro Jahr sind 5,9 Mill.DM.

Alle Kosten werden im folgenden näher erläutert.

Im folgenden sind die Baukosten für das Synchrotron
zusammengestellt (Mill. D):

a) <u>Maschine</u>		b) <u>Gebäude</u>	
Magnet	9,0	Erschließung	1,8
Energieversorgung	6,0	Experimentierhalle	3,92
Kühlung	0,3	Werkstatt	0,32
Korrektur	0,32	Maschinen- u.	0,67
Linac	3,0	^{Trafostation} Raum für Linac	0,6
Einlenkung	0,16	Labor u. Verwaltung	1,2
HF	4,0	Tunnelbau	2,5
Vakuum	1,5	Tunnelfundierung	0,5
Regelung und Steuerung	0,75		<hr/> 11,51
Ersatz	0,45	Einrichtung u. Kräne	2,0
	<hr/> 25,48		<hr/> 13,51
Modellversuche	1,4	Gebäudeerhaltung	0,5
	<hr/> 26,88		<hr/> 14,01

c) Personal

Die Personalkosten ergeben sich nach der gesonderten
Aufstellung mit 7,25 Mill. DM. Hierzu kommen 2,18 Mill. DM
allgemeine Ausgaben, so daß die Personalausgaben insgesamt
9,43 Mill. DM sein werden.

Eine gesonderte Aufstellung der Magnetkosten gliedert
sich folgendermaßen auf:

Magnetkosten	5,3
Spulenkosten	2,4
Rahmen	0,6
Modelle	0,4
Sonstiges	0,3
	<hr/> 9,0

Die Gesamtkosten sind also:

Maschinenkosten	26,9
Baukosten	14,1
Personalkosten	9,4
	<hr/>
	50,4
	<hr/>

Die Erhöhung gegenüber einer früheren Schätzung ergibt sich aus folgendem:

- a) Erhöhung des gaps von 5 auf 7 cm
- b) Erhöhung des Krümmungsradius von 26,4 m auf 30 m

Diese Werte wurden gewählt, damit eine Erhöhung der Endenergie von 7,5 GeV bei kleinerem Risiko möglich ist.

Berücksichtigt man, daß - wie bei CEA - die Endenergie nur 6 GeV sein soll und die Bauten (siehe anliegenden Plan) wesentlich kleiner sind (für ihre Erweiterung wurde ein Plan ausgearbeitet, der erst später durchgeführt werden soll), so ergibt sich folgende Ermäßigung der Kosten für die ganze Anlage.

a) Magnetkosten

Magnet	3,9
Spulen	2,0
Rahmen	0,6
Modelle	0,4
Sonstiges	0,3
	<hr/>
	7,2

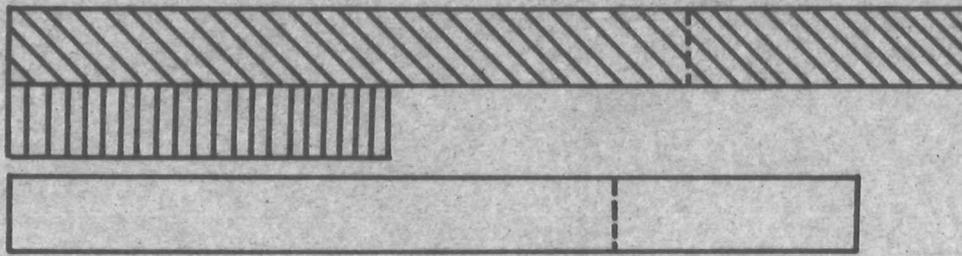
b) Gebäudekosten

Experimentierhalle	1,76
Maschinenstation	0,67
Labor	0,62
Raum für Linac	0,6
Tunnelbau	2,5
Tunnelfundierung	0,5
Erschließung	1,8
	<hr/>
	8,45
Einrichtung und Kräne	2,0
	<hr/>
	10,45
Gebäudeerhaltung	0,5
	<hr/>
	10,95

Für die gesamte Anlage bei einer Endenergie von 6 GeV ergibt sich daher:

Maschinenkosten	25,1
Baukosten	11,0
Personalkosten	9,4
	<hr/>
	45,5
	<hr/> <hr/>

EXPERIMENTIER-HALLEN



3155 qm ($\begin{smallmatrix} 2230 \\ + \\ 925 \end{smallmatrix}$)
1255 qm
2800 qm ($\begin{smallmatrix} 2000 \\ + \\ 800 \end{smallmatrix}$)

WERKSTÄTTEN



1040 qm



700 qm

MASCH.- u. TRAFU- STATIONEN



1146 qm ($\begin{smallmatrix} 670 \\ + \\ 476 \end{smallmatrix}$)



1370 qm



1200 qm

LINEAR BESCHLEUNIGER



700 qm



740 qm



750 qm

LABORRÄUME



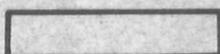
3456 qm



1544 qm



($\begin{smallmatrix} + 2000 \\ 1000 \end{smallmatrix}$) 3000 qm



PROJEKT HAMBURG
(DESY)



PROJEKT CAMBRIDGE
(LIVINGSTON)



PROJEKT GENÈVE
(CERN)

Im folgenden sind die Baukosten für den Linearbeschleuniger zusammengestellt (Mill. DM):

Bei dieser Aufstellung ist berücksichtigt, daß der zunächst mit 3,7 GeV arbeitende Linearbeschleuniger lediglich durch eine Erhöhung der Klystronleistung von 5,5 auf 22 MW auf 7,2 GeV erweitert werden kann, d.h. für diese Erweiterung sind nur die Kosten der Herstellung von Klystrons mit höherer Energie erforderlich. Diese sind in einem Betrieb der Klystronwerkstatt über eine Zeitdauer von zwei Jahren enthalten.

a) <u>Maschine</u>		b) <u>Bauten</u>	
Vakuumanlage	3,0	Tunnel	9,5
Kammer	6,5	Erschließung	1,8
Bau u. Betrieb der Klystronwerkstatt während der Einrichtungszeit	6,0	Experimentierhalle	3,92
Kraftstation	1,4	Werkstatt	0,32
Energieversorgung	3,7	Maschinen- und Trafostation	0,67
Kühlung	0,65	Labor und Verwaltung	1,2
Kontrolle	2,35		<hr/>
Ablenkssystem	1,5		17,41
	<hr/>	Einrichtung und Kräne	2,0
	25,1		<hr/>
		Gebäudeerhaltung	1,5
			<hr/>
			20,91

c) Die Personalkosten sind in einer gesonderten Aufstellung wiedergegeben. Hierzu kommen 30 % allgemeine Ausgaben, so daß die gesamten Personalkosten während der Bauzeit von sechs Jahren insgesamt 9,3 Mill. DM betragen werden.

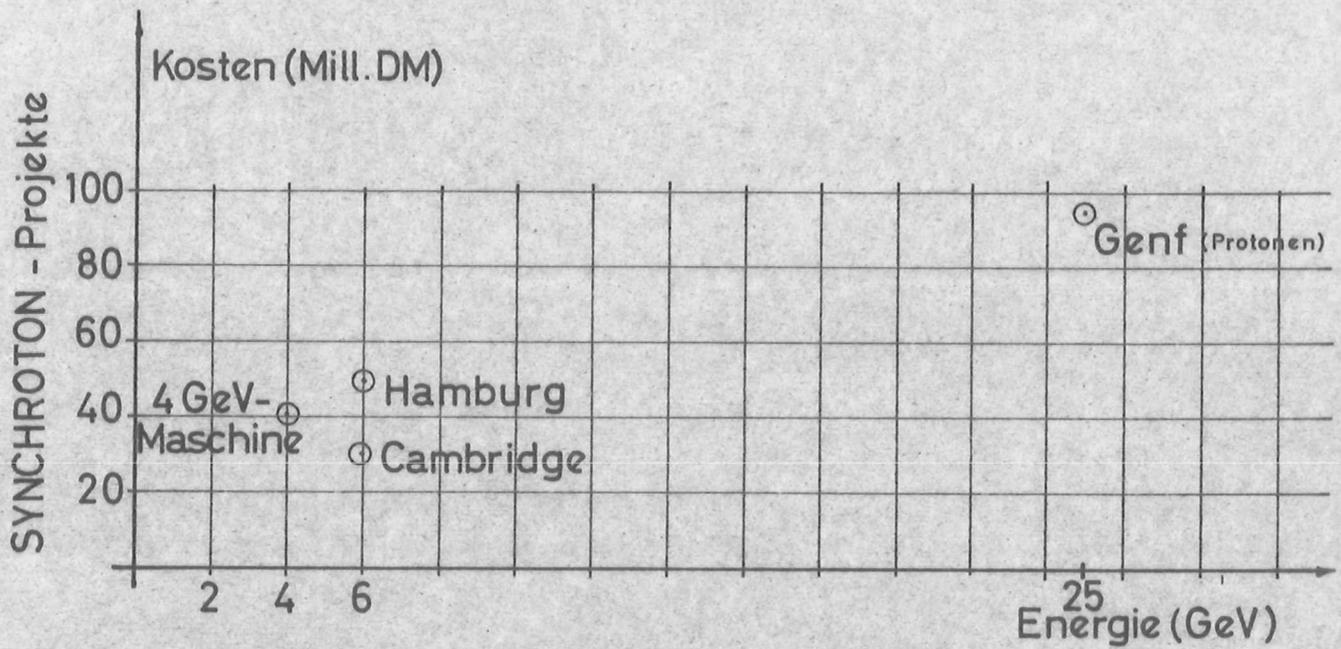
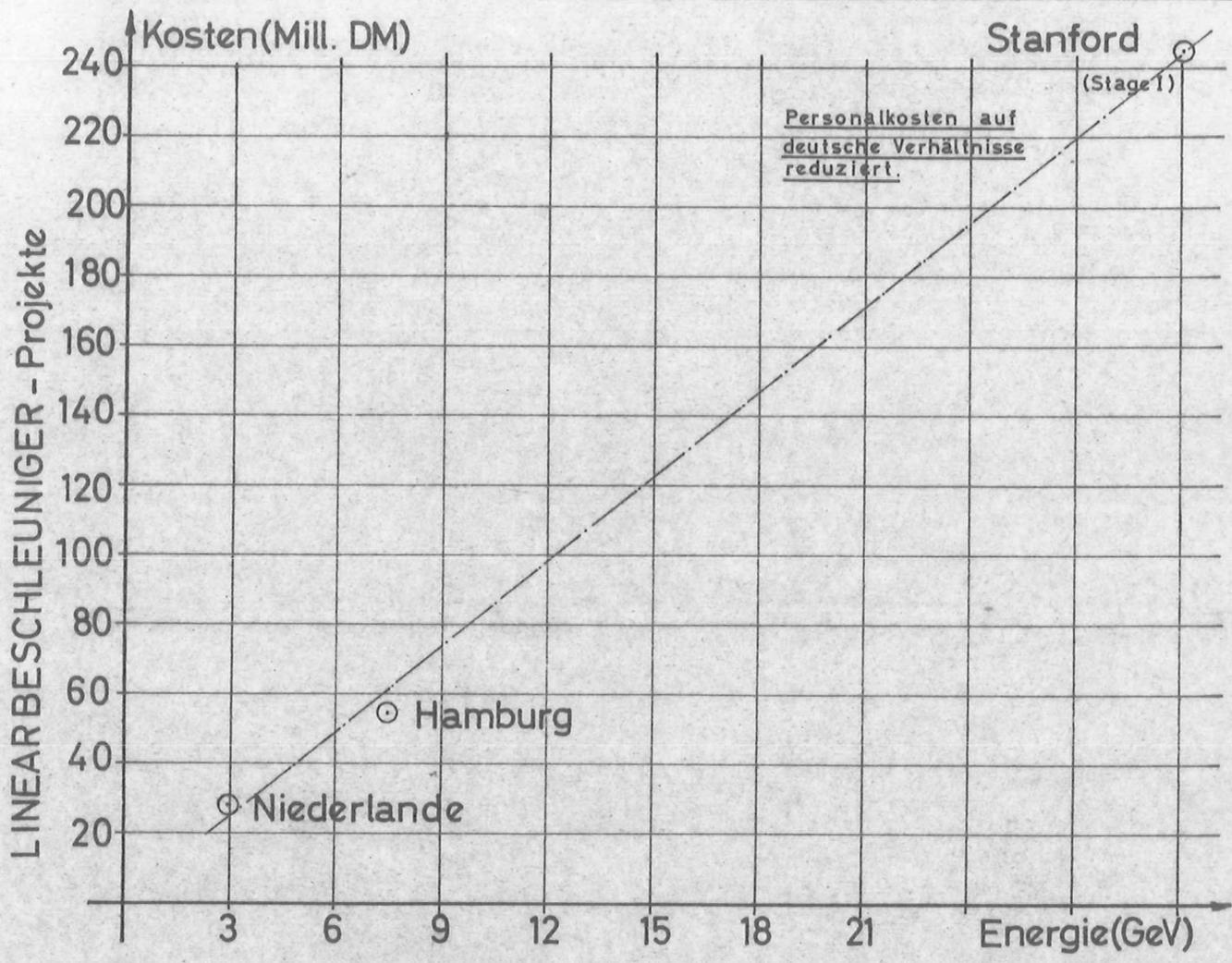
Für die gesamte Anlage ergibt sich daher

Maschinenkosten	25,1
Baukosten	20,9
Personalkosten	9,3
	<u>55,3</u>
	<u><u>55,3</u></u>

Berücksichtigt man, daß bei den gegebenen günstigen Bodenverhältnissen die Anordnung des in dem Stanford-Vorschlag sehr groß vorgesehenen Klystron-Tunnels günstiger und der Tunnel daher wesentlich kleiner gebaut werden kann, so erniedrigen sich die Baukosten um 3,8 Mill. DM, so daß dann die Gesamtkosten 51,5 Mill. DM betragen.

Betriebskosten (für ein Jahr ohne Berücksichtigung der Kosten, die für den experimentellen Aufwand notwendig sind) (Mill. DM):

<u>Synchrotron</u>		<u>Linearbeschleuniger</u>	
1,6	Strom und Grundgebühren	1,6	
1,0	Gebäudeerhaltung, 5 %	1,2	
1,5	Personal	1,5	
0,6	Klystron-anschaffung	1,3	Klystron-Werkstatt
<u>4,7</u>		<u>5,6</u>	



<h1>DESY</h1>	Datum	Name	Gruppe: B,Th
	gez.: 2.58	kn	Zchg. No.: 10
	gepr.:		Blatt No.: 1
	gen.:		Ersatz für:
Maßstab:	<u>Synchroton - u. Linearbeschleuniger-Projekte</u>		Ersetzt durch:
			x ausf.:
			ausgef. von:
			Auftrag No.:

4. Personal und Organisation

a)

Stellenplan für das Synchrotron mit
Personalkosten

(1 Arbeitsjahr = 1 Person x 1 Jahr Arbeitszeit)

I.	<u>Theoretische Gruppe</u>	(7 Beschäftigte mit 32 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	5 Jahre	5	Arbeitsjahre
	2 Diplomphysiker	je 5 Jahre	10	"
	1 Diplommathematiker	5 Jahre	5	"
	1 techn.Rechner	5 Jahre	5	"
	2 techn.Hilfskräfte	4 Jahre, 3 Jahre	7	"
II.	<u>Magnetgruppe</u>	(13 Beschäftigte mit 60 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	5 Jahre	5	Arbeitsjahre
	3 Diplomphysiker	5 "	15	"
	1 Diplomingenieur	5 "	5	"
	3 Fachschulingenieure	5, 4, 4 Jahre	13	"
	5 techn.Hilfskräfte	2 $\frac{1}{2}$ Jahre, 3 $\frac{1}{4}$ Jahre	22	"
III.	<u>HF Gruppe</u>	(12 Beschäftigte mit 54 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	5 Jahre	5	Arbeitsjahre
	1 Diplomphysiker	4 "	4	"
	3 Diplomingenieure	je 5 Jahre	15	"
	3 Fachschulingenieure	1 $\frac{1}{5}$ Jahre, 2 $\frac{1}{4}$ J.	13	"
	3 Techniker	3 $\frac{1}{4}$ Jahre	12	"
	1 Laborant	5 Jahre	5	"
IV.	<u>Injektion</u>	(7 Beschäftigte mit 32 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	5 Jahre	5	Arbeitsjahre
	4 Diplomphysiker	2 $\frac{1}{5}$ Jahre, 2 $\frac{1}{4}$ Jahre	18	"
	1 Fachschulingenieur	5 Jahre	5	"
	1 techn.Angestellter	4 "	4	"
V.	<u>Steuer- und Regelung</u>	(4 Beschäftigte mit 19 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	5 Jahre	5	Arbeitsjahre
	1 Diplomingenieur	5 "	5	"
	1 Fachschulingenieur	4 "	4	"
	1 Zeichner	5 "	5	"

Arbeitsjahre.

	Arbeitsjahre					Gesamt	Kosten Mill. DM
	1	2	3	4	5		
I. Theoret. Gruppe	5	6	7	7	7	32	0,42
II. Magnetgruppe	8	13	13	13	13	60	0,79
III. HF-Gruppe	6	12	12	12	12	54	0,71
IV. Injektionsgruppe	4	7	7	7	7	32	0,42
V. Steuerung, Regelung	3	4	4	4	4	19	0,25
VI. Energieversorgung	3	4	5	5	5	22	0,29
VII. Vakuum	1	3	3	3	3	13	0,17
VIII. Baugruppe	3	4	4	4	4	19	0,25
IX. Konstruktion	5	8	8	8	8	37	0,49
X. Strahlenschutz	-	-	1	2	2	5	0,07
XI. Mechan. Werkstatt	10	10	20	20	20	80	1,06
XII. Elektronik-Werkstatt	3	10	11	11	11	46	0,61
XIII. Verwaltung	10	20	33	33	33	129	1,72
Zahl der Beschäftigten Gesamt	61	101	128	129	129	548	
Pers. Kosten/Jahr Mill. DM	0,82	1,34	1,69	1,7	1,7		7,25

4. Personal und Organisation

b)

S y n c h r o t r o n :

Für die vorbereitenden Arbeiten am Elektronensynchrotron sind zur Zeit in Hamburg folgende Arbeitsgruppen tätig:

Theorie	(Wüster)
Magnet	(Hardt)
Energieversorgung	(Bothe)
Hochfrequenz	(Schaffer)
Injektion	(Timm)
Bau und Abschirmung	(Beer)
Vakuum	(Beer)

In diesen Gruppen sind folgende Mitarbeiter beschäftigt:

Dr. Beer, Ottokar	Physiker
Bothe, Werner	Dipl. Ing.
Claußen, Erich	Elektrotechniker
Friedrichs, Ruth	Physik-Laborantin
Gerke, Horst	Ingenieur
Giebner, Ernst-Otto	Werkstattleiter
Dr. Hardt, Werner	Physiker
Hermann, Armin	Physiker
Holzhausen, Karl-Friedrich	Techn. Rechner
Hopfe, Hans-Joachim	Verwaltungsangestellter
Dr. Horlitz, Gerhard	Physiker
Iwan, Charlotte	Verwaltungsangestellte
Jansen, Helga	Sekretärin
Knaut, Werner	Techn. Angestellter
Maunz, Rolf	Mathematiker
Mügge, Berthold	Mechaniker
Passow, Cord	Physiker
Dr. Schaffer, Georg	Dipl. Ing.
Sehnalek, Josef	Techn. Angestellter
Dr. Timm, Uwe	Physiker
Dr. Voss, Gustav-Adolf	Physiker
Wolf, Marianne	Verwaltungsangestellte

Dr. Wüster, Hans-Otto	Physiker
Prof. Dr. Zimmerman, Edward	Gastprofessor
Zuck, Volker	Wiss. Hilfskraft

Außerdem arbeiten zur Zeit:

Dr. Steffen, K.G. und	Physiker
Krolzig, Alfred	Dipl.-Ing. bei CEA, Cambridge/USA.

Einige Ergebnisse der angestellten Untersuchungen wurden in Form von Notizen niedergeschrieben:

A 1.1	31.7.57	Die Vorbereitungen zum Bau des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY) in Hamburg	
A 1.2	7.2.58	Bericht über Bauten und vorbereitende Untersuchungen für Fundierungen	(Beer)
A 2.1	20.9.57	Vorläufige Festlegung des mittleren Radius auf 48 m	(Wüster)
A 2.2	10.10.57	Vorläufige Spezifizierung der Linac-Eigenschaften	(Timm)
A 2.4	11.10.	Laufzeiteinfluß auf die Beschleunigungsspannung im Cavity	(Schaffer)
A 2.5	19.10.	Description of magnetic debuncher for electron linacs	(Timm)
A 2.6	4.12.	Gesichtspunkte zur Verringerung oder besseren Ausnutzung der HF-Leistung beim Elektronen-Synchrotron	(Schaffer)
A 2.7	5.12.	Haarnadel-Linearbeschleuniger	(Timm)
A 2.8	5.12.	Vergleich einiger kritischer Parameter für die Maschinen CERN, CEA und DESY	(Hardt) (Passow) (Timm)
A 2.9	8.12.	Bericht über die in Genf angestellten Überlegungen zur Wahl der Parameter	(Wüster)
A 2.12	27.1.58	Magnetstromversorgung in der Schaltung nach White	(Bothe)
A 2.13	29.1.	Kostengegenüberstellung	(Beer)
A 2.14	29.1.	Vorl. Kostenabschätzung für die Energieversorgung	(Bothe)
A 2.15	29.1.	Vorl. Kostenabschätzung für die HF-Anlage	(Schaffer)
A 2.16	Jan.58	Some Kinematics of Inelastic High-Energy Electron Scattering	(Zimmerman)

- A 2.17 5.2.58 Maximal mögliche HF-Leistung und
Teilchenstromstärke am Anfang der
Beschleunigung (Schaffer)
- A 2.18 6.2. Erste Überlegungen zur Strahl-
extraktion (multiturn ejection) (Hermann)
- A 2.19 7.2. Bemerkungen zur Vakuumkammer (Beer)

4. Personal und Organisation

a) Stellenplan für den Linearbeschleuniger
mit Personalkosten

(1 Arbeitsjahr = 1 Person x 1 Jahr Arbeitszeit)

I.	<u>Energieversorgung</u>	(6 Beschäftigte mit 34 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	6 Jahre	6	Arbeitsjahre
	3 Diplomingenieure (Kühlung, Pulser)	2/6 J., 1/4 J.	16	"
	1 Fachschulingenieur (Starkstromanlage)	6 Jahre	6	"
	1 Konstrukteur	6 "	6	"
II.	<u>Gruppe Injektion</u>	(6 Beschäftigte mit 33 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	6 Jahre	6	Arbeitsjahre
	1 Physiker	6 "	6	"
	1 Diplomingenieur	5 "	5	"
	2 Fachschulingenieure	1/6 J., 1/5 J.	11	"
	1 Laborant	5 Jahre	5	"
III.	<u>Gruppe Hohlleiter</u>	(9 Beschäftigte mit 48 Arbeitsjahren)		
	1 Gruppenleiter	6 Jahre	6	Arbeitsjahre
	1 Physiker	6 "	6	"
	1 Fachschulingenieur	6 "	6	"
	2 "	je 5 "	10	"
	2 Techniker	je 5 "	10	"
	2 Hilfskräfte	je 5 "	10	"
IV.	<u>Werkstatt u. Elektronik-Werkstatt</u>	(29 Besch. mit 144 Arbeitsj.)		
	a) Mechanische Werkstatt:			
	1 Meister	6 Jahre	6	Arbeitsjahre
	5 Mechaniker	je 6 "	30	"
	10 "	je 5 "	50	"
	b) Elektronik-Werkstatt:			
	1 Fachschulingenieur	6 Jahre	6	Arbeitsjahre
	1 "	4 "	4	"
	3 Techniker	je 5 "	15	"
	4 Mechaniker	je 3 "	12	"

c) Konstruktion

1 Konstrukteur	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
3 Zeichner	je 5 "	15 "

V. Theorie (5 Beschäftigte mit 30 Arbeitsjahren)

1 Gruppenleiter	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
2 Physiker	je 6 Jahre	12 "
1 Mathematiker	6 Jahre	6 "
1 techn.Rechner	6 "	6 "

VI. Klystronwerkstatt (72 Beschäftigte mit 243 Arbeitsjahren)

1) Entwicklungsgruppe: (9 " " 54 ")

1 Gruppenleiter	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
2 Physiker	je 6 "	12 "
2 Ingenieure	je 6 "	12 "
2 Techniker	je 6 "	12 "
2 Hilfskräfte	je 6 "	12 "

2) Fertigung: (63 Beschäftigte mit 189 Arbeitsjahren)

1 Fertigungsleiter	3 Jahre	3 Arbeitsjahre
--------------------	---------	----------------

a) Werkstatt: (12 Beschäftigte mit 36 Arbeitsjahren)

1 Leiter	3 Jahre	3 Arbeitsjahre
1 Meister	3 "	3 "
10 Mechaniker	je 3 "	30 "

b) Glasbläserei: (4 Beschäftigte mit 12 Arbeitsjahren)

1 Leiter	3 Jahre	3 Arbeitsjahre
2 Glasbläser	je 3 "	6 "
1 Hilfskraft	3 "	3 "

c) Vormontage: (12 Beschäftigte mit 36 Arbeitsjahren)

1 Ingenieur	3 Jahre	3 Arbeitsjahre
1 Meister	3 "	3 "
5 Mechaniker	je 3 "	15 "
5 Hilfskräfte	je 3 "	15 "

d) Endmontage: (8 Beschäftigte mit 24 Arbeitsjahren)

1 Ingenieur	3 Jahre	3 Arbeitsjahre
2 Techniker	je 3 "	6 Arbeitsjahre
3 Mechaniker	je 3 "	9 Arbeitsjahre
2 Hilfskräfte	je 3 "	6 Arbeitsjahre

e) Prüffeld: (6 Beschäftigte mit 18 Arbeitsjahren)

1 Leiter	3 Jahre	3 Arbeitsjahre
2 Ingenieure	je 3 "	6 "
2 Techniker	je 3 "	6 "
1 Hilfskraft	3 "	3 "

f) Verwaltung u. Hilfsstellen: (20 Beschäft. mit 60 Arbeitsj.)

VII. Steuerung, Regelung (4 Beschäftigte mit 18 Arbeitsjahren)
(Steuersender)

1 Gruppenleiter	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
1 Ingenieur	4 "	4 Arbeitsjahre
2 Zeichner	je 4 "	8 "

VIII. Experimente, Analysiermagnete (10 Beschäft. mit 36 Arbeitsj.)

1 Gruppenleiter	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
2 Physiker	je 6 "	12 "
2 Ingenieure	je 4 "	8 "
5 Laboranten	je 2 "	10 "

IX. Bau, Strahlenschutz, Vakuum (7 Beschäft. mit 34 Arbeitsj.)

1 Gruppenleiter	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
4 Ingenieure	2/6 J., 2/2 J.	16 "
1 Techniker	6 Jahre	6 "
1 Zeichner	6 "	6 "

X. Verwaltung (33 Beschäftigte mit 162 Arbeitsjahren)
(wie bei DESY angenommen)

1 Verwaltungsdirektor	6 Jahre	6 Arbeitsjahre
32 Verwaltungsangestellte, Schreibkräfte etc.		156 "

Arbeitsjahre

	Jahre						Gesamt	Kosten Mill. DM
	1	2	3	4	5	6		
I. Energieversorgung	5	5	6	6	6	6	34	0,45
II. Injektion	3	6	6	6	6	6	33	0,44
III. Hohlleiter	3	9	9	9	9	9	48	0,63
IV. Werkstatt und Elektronik-Werkst.	8	24	25	29	29	29	144	1,9
V. Theorie	5	5	5	5	5	5	30	0,39
VI. Klystron-Werkst.	9	9	9	72	72	72	243	3,2
VII. Steuerung, Regelung	1	1	4	4	4	4	18	0,24
VIII. Experimente, Magnete	3	3	5	5	10	10	36	0,48
IX. Bau, Strahlenschutz, Vakuum	5	5	5	5	7	7	34	0,45
X. Verwaltung	10	20	33	33	33	33	162	2,14
Zahl der Beschäftigten	52	87	107	174	181	181	782	
Personalkosten/Jahr Mill. DM	0,69	1,15	1,41	2,3	2,38	2,38		

4. Personal und Organisation

L i n e a r b e s c h l e u n i g e r :

Für die Arbeiten an einem Linearbeschleuniger wäre folgende Gruppeneinteilung möglich:

Energieversorgung (Modulator, Kühlung)	(Bothe)
Injektion	(Timm)
Hohlleiter	(Schaffer)
Theorie	(Wüster)
Klystron-Werkstatt	
Klystron-Entwicklung	
Steuerung, Regelung	(Krolzig)
Experimente	(Hardt)
Bau, Strahlenschutz, Vakuum	(Beer)

5. Bauzeit

Auf den beiden anliegenden Plänen ist die Zeiteinteilung der einzelnen Gruppen für das Synchrotron und den Linearbeschleuniger dargestellt.

Der Plan für das Synchrotron ist der gleiche wie er in früheren Sitzungen aufgrund der CERN-Erfahrungen zusammengestellt wurde.

Der für den Linearbeschleuniger entspricht dem Stanford-Vorschlag. Er ist gemäss der vorgeschlagenen Gruppeneinteilung umgeordnet.

SYNCHROTON

Jahre	0	1	2	3	4	5	6
Planung	Planung u. Konstruktio	Berichte über Einzelvorhaben					
	Planung + Auftragserteilung	Baubeginn + Bauausführung	Baufertigstellung u. Abnahme				
Gebäude Planung u. Ausführung	Planung	Baubeginn + Fertigstellung	Vermessg.	Einrichtung			
	Bohrungen, Temperatur des Bodens Festigkeitsuntersuchungen						
	Planung	Planung					
	Planung	Baubeginn + Fertigstellung					
	Wasser- u. Stromvers.						
	Experimentierhallen						
	Klystrons						
	Beschleuniger	Planung, Modellversuche (Blechsorten u.a.)		Ausschrb.	Bauausführung		Montage
	Vakuum	Vorversuche + Modellversuche			Planung	Bauausführung	Montage
	Kühlung	Planung + Modellversuche	Ausschrb.	Bau der Anlage		Inbetriebnahme	
Energieversorgung							
Beschleuniger Konstruktion, Modellversuche, Bau	Planung	Vorversuche	Vörversuche		Prüfung + Abnahme		
	Kabel, Elektronik, Planung, Modellversuche	Ausschrb. Lieferung	Inbetriebnahme				
	Parameter	Experimente					
	Entwicklung + Konstruktion	Baubeginn + Bauausführung	Montage				
	Fertigstellung + Vers.						

LINEAR-BESCHLEUNIGER

Jahre	0	1	2	3	4	5	6	
Gebäude Planung u. Ausführung	Planung	Konstruktion	Berichte über Einzelvorhaben					
	Allg. Laborgebäude	Konstrukt. Bauabschnitt I	Bau I fertig Bau 2 beg.	Bauabschn. 2 fertig Bauabschn. 3 beginnt	Bauabschnitt 3 fertig			
	" Werkstätten	Konstrukt.	Bauabschn. 1 fertig Bauabschn. 2 beg.	Bauabschn. 2 fertig				
	Tunnel u. Strassen	Konstruktion	Konstruktion	Bau - Ausführung	Inbetriebnahme			
	Gelände - Aufschluss <small>(Bodenuntersuchung, Planierung)</small>	Konstruktion	Konstruktion	Bau - Ausführung	Inbetriebnahme			
	Klystron - Fabrik	Konstruktion	Bau - Ausführung	Inbetriebn.				
	Wasser- u. Stromvers.	Konstruktion	Konstruktion	Bau - Ausführung	Inbetriebnahme			
	Experimentierhallen			Konstruktion	Bau - Ausführung	Inbetriebnahme		
	Beschleuniger Konstruktion, Modellversuche, Bau	Klystrons	Konstrukt.	Modell - Versuche	Produktion	Reparaturplan		
		Beschleuniger	Konstrukt.	Bau v. Modellabschn.	Modellversuche	Bau - Ausführung	HF-Überprüfung	Installation
Vakuum			Konstrukt. Modellbau	Versuche	Bau - Ausführung	Installation, Prüfung		
Kühlung				Konstruktion	Bau - Ausführung	Versuche		
Energieversorgung		Konstrukt.	Modell d. Anlage	Prüfung + Verbesserung	Bau - Ausführung	Abnahme Prüfung		
Instrumentenausrüst.			Konstruktion	Modell - Versuche	Bau - Ausführung	Prüfung		
Steuerung		Planung		Konstruktion	Bau - Ausführung	Prüfung	Inbetriebnahme	
Theorie		Parameter		Experimente				
Injektion		Planung u.	Bestellung ?	Bau - Ausführung	Prüfung	Inbetrieb		

6. Bauplatz

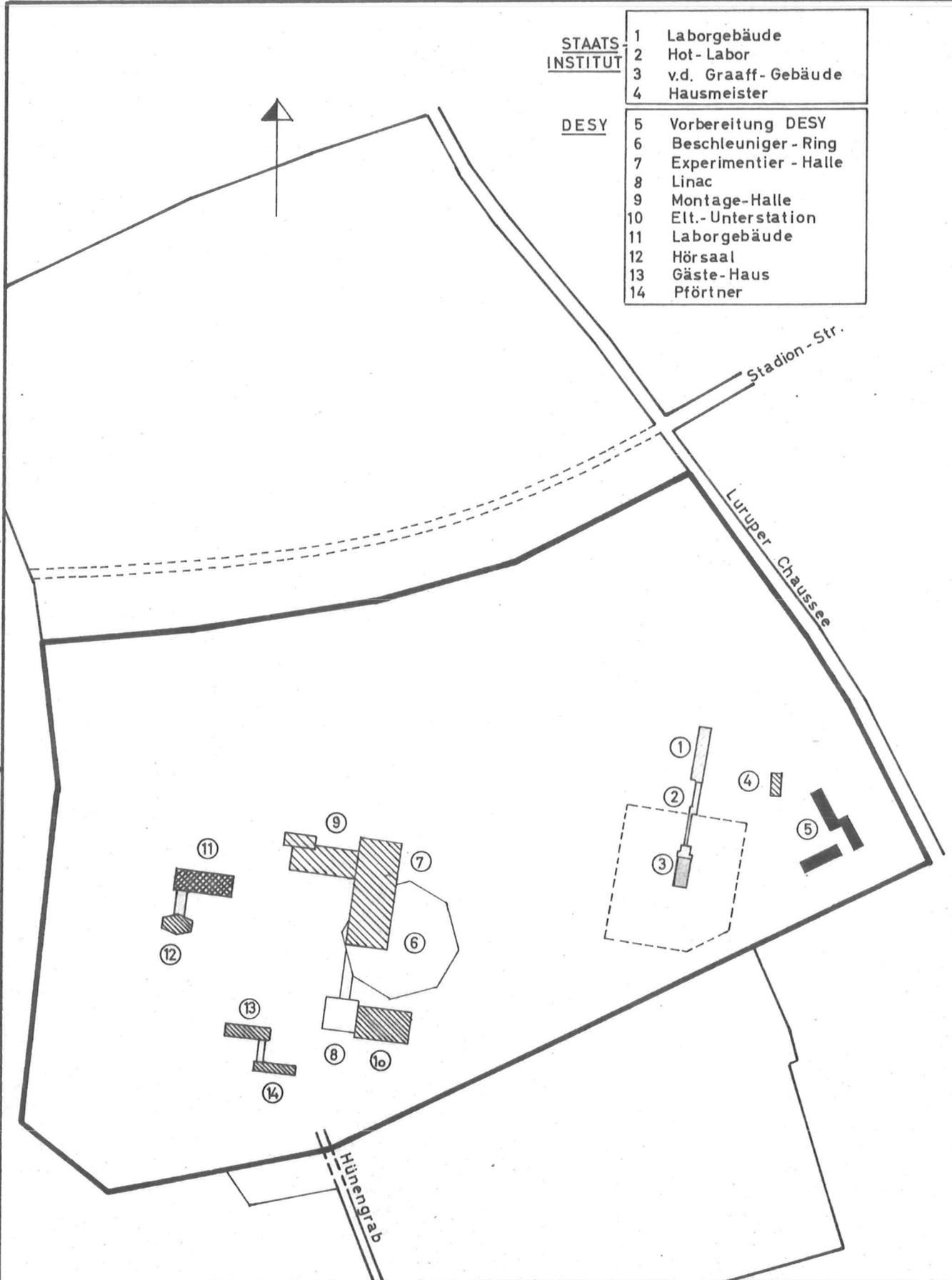
Die folgenden zwei Anlagen zeigen die Lagepläne in Hamburg-Bahrenfeld. Aus Zeichnung Nr. 2/2 ist ersichtlich, dass die Grösse des für das Beschleunigerprojekt vorgesehenen - stark umrandeten - Platzes für ein Synchrotron gut geeignet wäre. Für einen 700 m langen Linearbeschleuniger der vorgesehenen Endenergie (3,7 - 10,5 GeV) müsste noch das nördlich angrenzende Gelände erworben werden, damit eine Gesamtlänge von 1000 m zur Verfügung steht, und es käme etwa die Lage, die durch die Linie (6) auf Zeichnung 2/3 angedeutet wird, in Frage. Dabei würden die Endstation und die Experimentierhalle in der Südwestecke liegen, und es muss ein Mindestabstand von 100 m von den Gebäudegrenzen bis zur Geländegrenze eingehalten werden.

STAATS
INSTITUT

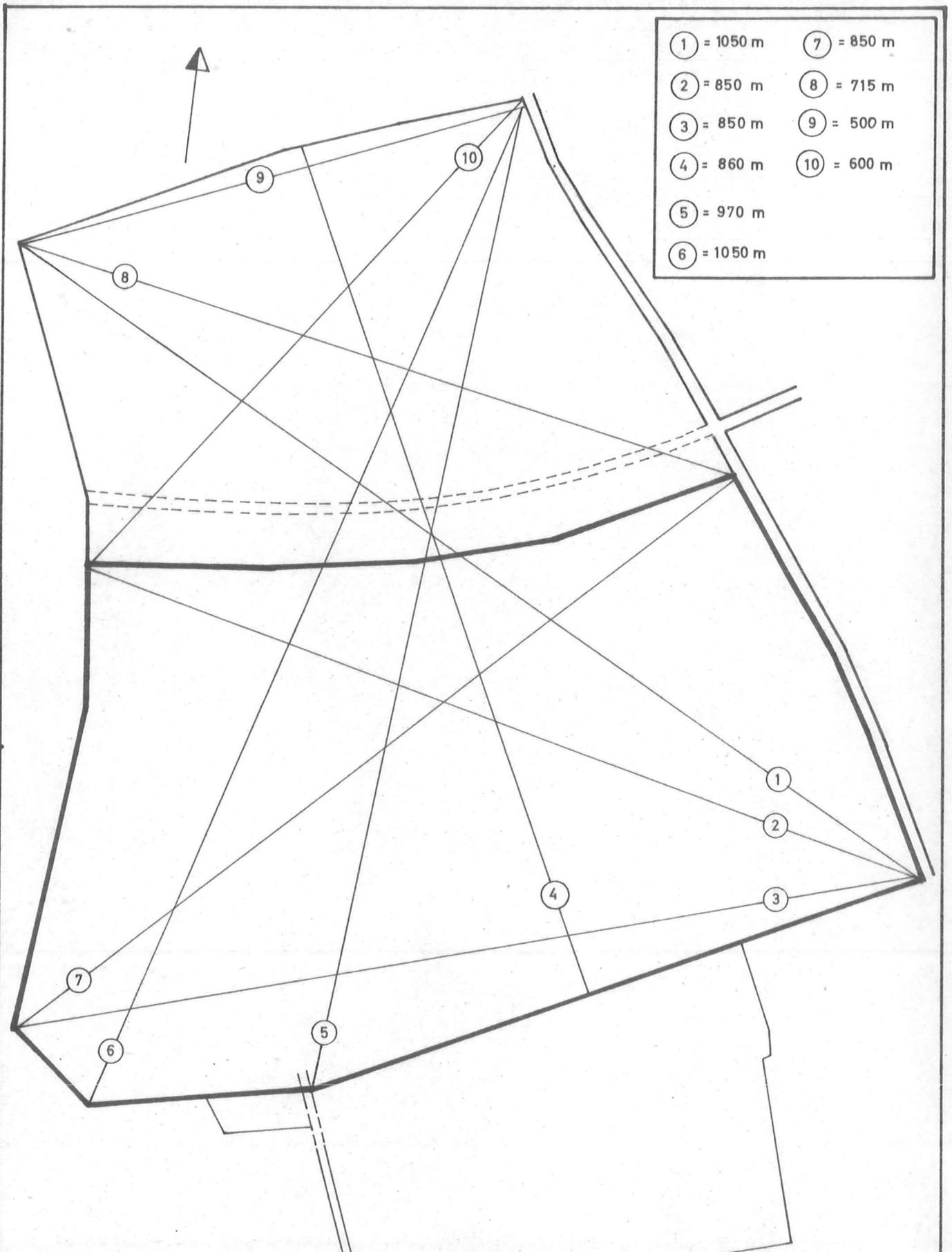
- 1 Laborgebäude
- 2 Hot-Labor
- 3 v.d. Graaff-Gebäude
- 4 Hausmeister

DESY

- 5 Vorbereitung DESY
- 6 Beschleuniger-Ring
- 7 Experimentier-Halle
- 8 Linac
- 9 Montage-Halle
- 10 Elt.-Unterstation
- 11 Laborgebäude
- 12 Hörsaal
- 13 Gäste-Haus
- 14 Pfortner



DESY	gez.:	Datum	Name	Gruppe:	B
	gepr.:	2.58	kn	Zchg. No.:	2
	gen.:			Blatt No.:	2
Maßstab:	Lageplan Hbg.-Bahrenfeld Gebäudeplan			Ersatz für:	
1:5000				Ersetzt durch:	
				x ausf.:	
				ausgef. von:	
				Auftrag No.:	



① = 1050 m	⑦ = 850 m
② = 850 m	⑧ = 715 m
③ = 850 m	⑨ = 500 m
④ = 860 m	⑩ = 600 m
⑤ = 970 m	
⑥ = 1050 m	

DESY	Datum	Name	Gruppe: B
	gez.: 2. 58	kn	Zchg. No.: 2
	gepr.:		Blatt No.: 3
	gen.:		Ersatz für:
Maßstab: 1: 5000	Lageplan Hbg.-Bahrenfeld (Geländemaße)		Ersetzt durch:
			x ausf.:
			ausgef. von:
		Auftrag No.:	

7. Entwicklungsprobleme beim Synchrotron

a) Magnet- und Injektionsprobleme:

Zwei wichtige Probleme für die Injektion des Elektronenstrahls sind die exakte Definition des Einschusszeitpunktes und der Einfluss der Feldfehler bei dem relativ niedrigen Einschussfeld. Alle mit dem Injektor selbst zusammenhängenden Probleme (Energie-streuung, Strahldurchmesser und Divergenz) dürfen auf Grund vorliegender Firmenangebote als gelöst anzusehen sein.

Die Injektion muss zeitlich mit einer Genauigkeit von etwa 10^{-7} sec erfolgen. Die in Genf an peaking strips durchgeführten Untersuchungen bis zu einem \dot{B} von etwa 50000 T/sec ergeben eine Streuung von maximal $3 \cdot 10^{-7}$ sec, d.h. \dot{B} ist auf $1,5 \cdot 10^{-2}$ T genau zu bestimmen. Aus Bonn liegen ähnliche Messungen vor, die bei $\dot{B} \approx 6 \cdot 10^5$ T/sec eine Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-7}$ sec ergeben. Mit Elektronenresonanzen ist es sogar möglich, bei einem \dot{B} von 10^7 T/sec mit einer Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-2}$ T zu messen. Bei der für DESY vorgesehenen Feldänderung beim Einschuss von $\dot{B} \approx 2 \cdot 10^5$ T/sec sind nach diesen Ergebnissen keine Schwierigkeiten zu erwarten.

Die aus den Feldfehlern beim Einschossen zu erwartenden Störungen (statistische B-Fehler und systematische n-Fehler) sind etwa proportional zur Koerzitivkraft der verwendeten Blechsorte und umgekehrt proportional zur Anfangsfeldstärke. Mit dem auch für den CEA-Magneten verwendeten ARMCO-Blech TRAN-COR A-6, das eine Koerzitivkraft von 0,19 Oe hat, und einem Einschussfeld von 45 T ergeben sich die Feldfehler um einen Faktor 1,5 günstiger als bei der CERN-Maschine. Andererseits ergaben die Messungen an den Magnetmodellen in CERN, dass dort eine Injektionsfeldstärke bis 50 T herunter möglich ist. Die Streuungen der magnetischen Werte des genannten Bleches sind noch nicht genau bekannt, sie dürften jedoch besonders klein sein, da es sich um ein kontinuierlich gewalztes Band handelt. Korrekturen des Magneten bei hohen Feldern (Sättigung) werden bei DESY vermieden durch die Wahl eines genügend grossen Krümmungsradius.

7. Entwicklungsprobleme beim Synchrotron

b) Vakuunkammer

Eine Schwierigkeit ist, eine befriedigende Lösung der Vakuunkammerkonstruktion zu finden. Die Frage ist, wie lange eine einer Strahlung ausgesetzte Kammer vakuumdicht bleibt, wie gut das Vakuum erzeugt werden kann und wie weit besonders bei höheren Frequenzen die Wirbelstromeffekte stören. Versuche, die bei Livingston mit einer Kammer von halber natürlicher Größe ausgeführt wurden, zeigten bei einer Frequenz von 30 Hz sehr merkbare Wirbelstromeffekte. Eine radikale Lösung scheint der Vorschlag zu sein, den ganzen Magneten in eine große Metallkammer zu setzen und zu evakuieren. Der Vorteil dieses Vorschlages läge darin, daß keine Strahlungs- und Wirbelstromschwierigkeiten auftreten würden, und daß man zusätzlich noch die Möglichkeit hätte, den Strahl an jeder gewünschten Stelle auszulenken. Die beste Lösung scheint ein Vorschlag von einem DESY-Mitarbeiter zu sein. Hiernach besteht die Kammer ganz aus Porzellan. An der von der Strahlung betroffenen Seite der inneren Kammerwand sind Metall-Lamellen mit halbleitenden Distanzstücken auf einem Glasrohr montiert. Das Rohr dient gleichzeitig als Kühlleitung und wird von Porzellannasen gehalten. Nach dieser Konstruktion ist die Vakuunkammer und eine Strahlenfalle je ein eigenes Aggregat, und es wird vermieden, daß die Strahlung und Streustrahlung auf ungeschützte Teile der Kammer fällt.

c) Ejektion

Zusätzlich zu den vom Synchrotron gelieferten Gamma-Strahlen wird diskutiert, den Elektronenstrahl an einer oder an mehreren Stellen herauszuführen. Nach Abschalten der HF wandert der Strahl durch Ausstrahlung nach innen, die Elektronen gelangen in einen Ablenkmagneten mit 0,6 - 1 mm Polschuhabstand und 8000 Gauß (max. Feldstärke), der mit dem Führungsfeld hochgefahren wird. Über ca. 30 Umläufe werden etwa 4 % der Elektronen an einer Stelle ausgelenkt. Durch zusätzliche closed orbit deviations kann man den Prozentsatz der extrahierten Elektronen erhöhen.

7. Entwicklungsprobleme beim Synchrotron

d) Hochfrequenztechnische Probleme:

Die erforderliche UHF-Leistung, welche am Ende der Beschleunigung ca. 365 kW beträgt, kann voraussichtlich von 2 Eimac-Klystrons der Type X 602 aufgebracht werden. Die Amplitudenmodulation ist bei dieser Röhrentype mit Hilfe eingebauter Modulationsanoden möglich. Eine komplette Verstärkereinheit einschliesslich Modulator und Hochspannungsgleichrichter wird z.Zt. von einer amerikanischen Firma für CEA geliefert. Der Bau solcher Sender erscheint auch bei inländischen Firmen durchaus möglich, wobei die Klystrons und einige weitere Spezialröhren von amerikanischen Herstellern bezogen werden müssten. Preise und Lieferzeiten hierfür sind bekannt.

Der Verlustwiderstand der Cavities liegt mit ziemlicher Sicherheit über dem Wert von 1,5 M Ω je Cavity, auf welchem die obengenannte Leistungsangabe basiert. In der Leistungsangabe ist ferner der Strahlungsverlust für $2 \cdot 10^{11}$ Teilchen je Puls enthalten. Das Problem der phasenrichtigen Kopplung der Cavities erscheint durch eine Ringspeisung in zweckmässigster Weise lösbar. Bei CEA befindet sich z.Zt. eine Modellanlage für experimentelle Studien hierüber im Bau.

Die Möglichkeit von Instabilitäten infolge Rückwirkung des Elektronenstrahls auf die UHF-Beschleunigungsspannung begrenzt die maximal mögliche Teilchenzahl pro Puls. Bei CEA rechnet man laut neuesten Informationen mit ca. $1 \cdot 10^{11}$ Teilchen pro Puls gegenüber früher $2 \cdot 10^{11}$ bzw. $1,5 \cdot 10^{11}$. Der genaue Wert lässt sich z.Zt. noch nicht mit genügender Sicherheit angeben. Hinsichtlich der verfügbaren HF-Leistung im fehlangepassten Zustand der Verstärker am Anfang der Beschleunigung bestünde die Möglichkeit, etwa die 10-fache Teilchenzahl zu beschleunigen. (im Zeitpunkt der Injektion)

Hohlleiter für die HF-Leistung existieren in geeigneter Ausführung (rechteckförmig oder elliptisch ca. 20x40 cm) bisher nur in der angloamerikanischen Technik, können jedoch voraussichtlich auch von der inländischen Industrie hergestellt werden.

7. Entwicklungsprobleme beim Synchrotron

e) Strahlungsentdämpfung:

Die durch die Strahlung der Elektronen hervorgerufene Entdämpfung der radialen Betatronschwingungen wird durch die Benutzung einer Magnetstromfrequenz von 50 Hz auf einen Wert reduziert, der für eine Energie von 7,5 GeV niedriger ist als der bei der CEA-Maschine für 6 GeV zu erreichende (die Amplitude bei 7,5 GeV beträgt bei DESY das 0,5 fache der Einschussamplitude bei 40 MeV, die Amplitude bei CEA ist das 0,6 fache der Einschussamplitude bei 20 MeV). Für die Synchrotronschwingungen sind aus den statistischen Fluktuationen des Strahlungsfeldes keine Schwierigkeiten zu erwarten.

f) Entwicklung und Fertigung mechanischer Teile:

HF-Cavities:

Der Durchmesser beträgt ca. 50 cm. Die Fertigungstoleranzen sind nicht so kritisch wie beim Linearbeschleuniger, da eine Nachstimmöglichkeit ohnehin erforderlich ist. Sie müssen jedoch sehr stabil gebaut sein, da die kurzzeitige Verstimmung kleiner als 10^{-5} sein soll. Dazu ist ausserdem eine Temperaturstabilisierung durch Wasserkühlung mit einer Toleranz von $\pm 2^{\circ}$ C erforderlich. Die Anzahl der einzelnen Kreise beträgt etwa 100.

HF-Leitungen:

Hohlraumleitungen mit Rechteck- oder Ellipsenquerschnitt. Konstruktionsbeispiele im Ausland sind: RCA, General Bronze Corporation USA, BBC (Rundfunk England) für Fernsendeder. Die Toleranzen sind entsprechend der grösseren Wellenlänge gegenüber dem Linearbeschleuniger proportional grösser. (1:6).

Magnet:

Der Magnetrahmen wird wahrscheinlich als Gußkonstruktion ausgeführt und fasst den Magneten und die Spule zusammen. Es müssen Möglichkeiten zum Justieren vorgesehen werden. Für das Magnetprofil wird eine Fertigungstoleranz von 0,03 mm gefordert werden müssen. Die Aufstellungstoleranzen für den Magneten betragen: Vertikal 0,6 mm, horizontal 0,3 mm.

7. Entwicklungsprobleme beim Synchrotron

g) Bau- und Abschirmungsprobleme:

Wegen der 0,1 mm Aufstellungstoleranzen der Magneten sind an die Fundierung des Magnetringes hohe Anforderungen zu stellen. Diese Probleme sind jedoch in diesen Punkten vergleichbare CERN-Maschine gelöst. Nach den Ergebnissen der in Hamburg vorgenommenen Bodenuntersuchungen und den Abschätzungen des zugezogenen Statikers bereitet der Untergrund keine Schwierigkeiten. Bei der Lage des Beschleunigers im Gelände treten keine Abschirmprobleme auf.

7. Entwicklungsprobleme beim Linearbeschleuniger

a)

Ein dem Synchrotronmagneten entsprechendes Problem tritt beim Linearbeschleuniger nicht auf. Bei der Injektion liegen die hauptsächlichsten Probleme in der scharfen Phasenbündelung, für die eine Reihe von Methoden anwendbar sind (Bunching-Rohr, Prebunching, Chopper Lancher system, Coleman-Methode).

b)

Da beim Linearbeschleuniger der Hohlleiter selbst als Vakuumkammer dient, bieten sich hier keine besonderen Probleme.

c)

Der Strahl tritt frei aus.

d)

Klystrons:

Die infragekommenden S-Band Klystrons sind bisher von einigen Herstellern für maximale Impulsleistungen von 2,5 MW, 5 MW (Varian, Arco, CSF), 10 MW (Eimac) und 30 MW (Stanford) gebaut worden. Die höchsten z.Zt. realisierten Betriebsleistungen liegen für abgeschmolzene Klystrons bei ca 6 MW (Eimac) und für gepumpte Klystrons bei ca 20 MW (Stanford). Bei geeigneter technologischer Weiterentwicklung erscheint es nicht ausgeschlossen, Betriebsleistungen bis zu 40 MW und durchschnittliche Lebenszeiten von 2000 Stunden zu erzielen. Das wesentliche Problem ist beim abgeschmolzenen Klystron die Belastbarkeit der Isolation am Leistungsausgang. Heil (Eimac) schlägt die Verwendung eines Quarzfensters anstelle eines Keramikfensters vor.

Beschleunigungsstrecken:

Die zweckmäßige Dimensionierung und Konstruktion der Beschleunigungsstrecken kann als grundsätzlich gelöst angesehen werden, da an zahlreichen kleineren Beschleunigern praktisch erprobte Lösungen vorliegen. Bezüglich des Herstellungsverfahrens werden von Stanford Verbesserungsvorschläge gemacht (elektrolytische Verfahren).

Fortsetzung umseitig!

zu d

Impulsgeräte:

Die in Stanford verwendeten Funkenstrecken für die Impuls-
erzeugung arbeiten nicht voll befriedigend. Eine Verbesserung
ist durch Verwendung neuentwickelter Wasserstoff-Thyratrons
zu erwarten. Die angestrebte Impulsleistung der Klystrons
erfordert eine Weiterentwicklung der übrigen wesentlichen
Bestandteile der Impulsgeräte, wie z.B. Laufzeitkette und
Impulstransformator, für entsprechend höhere Spannungen und
Ströme.

7. Entwicklungsprobleme beim Linearbeschleuniger

e)

Ein der Entdämpfung beim Synchrotron äquivalentes Problem tritt beim Linearbeschleuniger nicht auf.

f) Entwicklung und Fertigung mechanischer Teile:

Die mechanischen Toleranzen des Hohlleiters sind

Bohrung der Scheiben $\pm 5/\mu$

Durchmesser des Hohlleiters $\pm 5/\mu$

Scheibenabstand $\pm 25/\mu$

Scheibendicke $\pm 5/\mu$

Temperaturtoleranzen:

Zulässig sind kurzzeitige Temperaturänderungen um 1°C . Länger dauernde können mit dem Kühlwasserfluss oder durch Änderung der Frequenz ausgeglichen werden.

g) Bau- und Abschirmungsprobleme:

Länge des Abschnittes	Aufstellungstoleranz innerhalb des Abschnittes	
75 m	$\pm 1,5$ mm	a) für 1 Jahr
	± 3 mm	b) für längere Zeit
300 m	± 6 mm	a)
	± 12 mm	b)
3000 m	± 25 mm	a)
	± 125 mm	b)

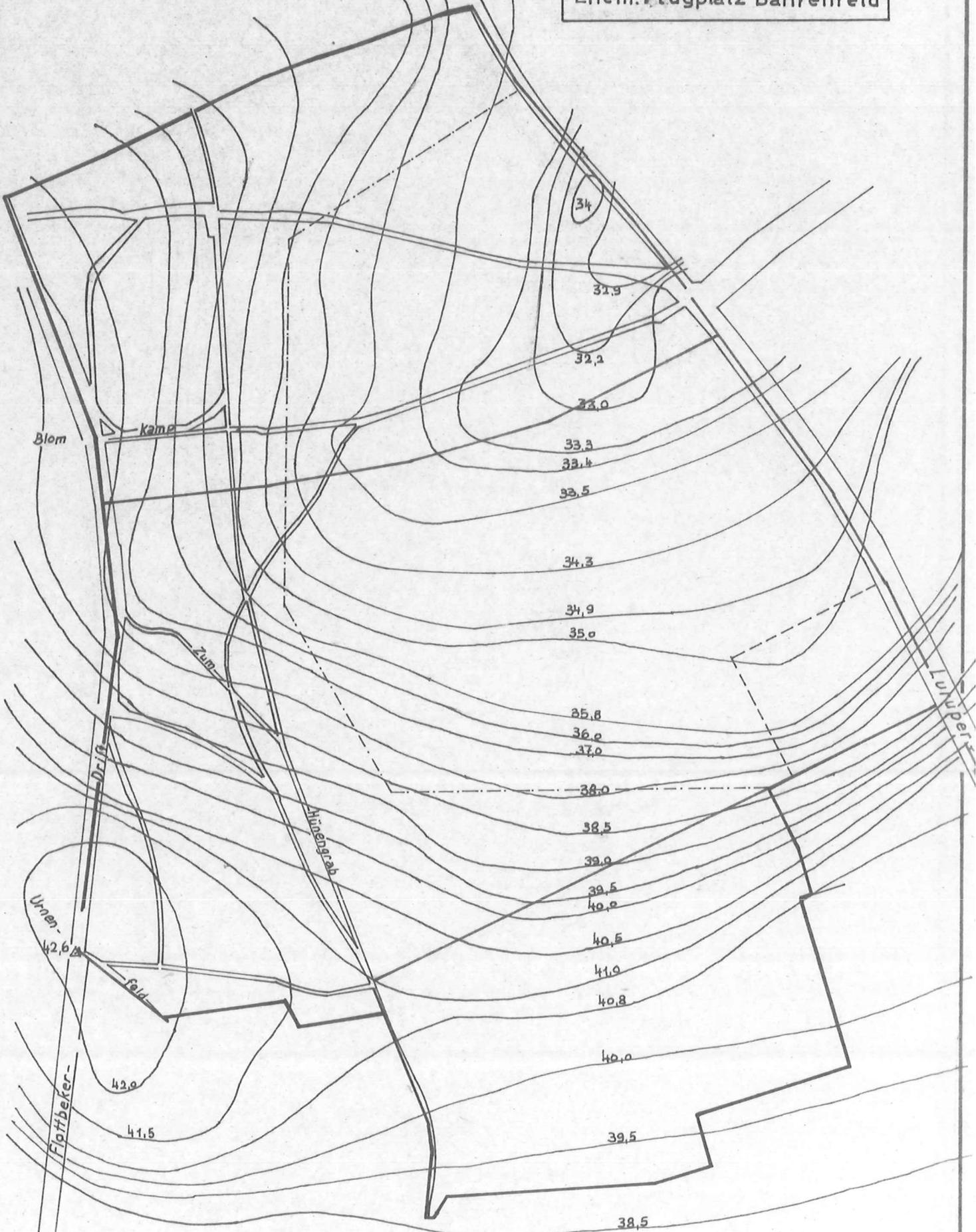
Aus dieser Tabelle geht hervor, dass sich keine besonderen Fundierungsschwierigkeiten ergeben.

Die Gegebenheiten des Geländes (Höhenschichtenkarte) machen es möglich, die Endstation so tief zu legen, dass in horizontaler Richtung keine Schwierigkeiten für den Strahlenschutz auftreten. Bei Verwendung eines dicken Targets ist die Strahlung nach oben noch in einer Entfernung von einigen 100 m gefährlich. Die Annäherung eines Flugzeuges wird nach einem Vorschlag von Stanford durch Radar angezeigt und die Maschine abgeschlittet.

HÖHENSCHICHTENKARTE

1: 5000

Ehem. Flugplatz Bahrenfeld



Übersicht über Protonen-Maschinen

Synchrotron

1.) Beschleuniger mit einer Endenergie von über 1 GeV :

Aufstellungsort	Art	mittl. Strom	Endenergie	
Dubno UdSSR	K1	10^{-10}	10 GeV	fertig
Berkeley Bevatron USA	K1	10^{-9} A	6,2 GeV	fertig
Brookhaven Cosmo- tron USA	K1	5×10^{-9} A	2,9 GeV	fertig
Birmingham England	K1	10^{-10} A	1 GeV	fertig
Donez-Becken UdSSR	AG	./.	50 GeV	im Bau
Brookhaven USA	AG	3×10^{-9} A	33 GeV	im Bau
Genf CERN Europa	AG	3×10^{-9} A	25 GeV	im Bau
Dubnov	AG	./.	6 GeV	im Bau
Saclay Frankreich	K1	./.	1,7 - 3 GeV	im Bau
Delft Holland	K1	./.	1 GeV	im Bau
? England ähnlich Bevatron	K1	./.	7 GeV	im Bau
Princeton USA	K1	3×10^{-6} A	3 GeV	im Bau

Übersicht über Elektronen Maschinen

Synchrotron

1.) Beschleuniger mit einer Endenergie, die zur Erzeugung von Anti - Teilchen ausreicht:

Aufstellungsort	Art	mittl. Strom	Endenergie	
Cambridge Mass.	AG	10^{-7} A	6-7,5 GeV	im Bau
Nordenglische Universitäten			?	diskutiert siehe Linac

2.) Beschleuniger mit einer Endenergie von 1 - 4 GeV:

Kiew UdSSR			4 GeV	im Bau
Ithaka (Cornell)	AG	10^{-9} A	1,5 GeV	fertig
Calif. Inst. of Techn. (CIT)	Kl	10^{-8} A	1,2 GeV	fertig
Frascati Italien	Kl		1,2 GeV	im Bau
Lund Schweden	AG		1,2 GeV	im Bau

AG = Alternierender Gradient

Kl = Klassische Focussierung

Errata zum DESY-Bericht A.1.4

"Eine Gegenüberstellung der Möglichkeiten und Kosten eines Elektronen-Synchrotrons und eines Linearbeschleunigers."

Seite:

- 4 - Länge der Bunche 2×10^{-10} sec
Abstand d. Bunche 2×10^{-9} sec
- 5 - 2. Abschnitt, 2. Zeile: Hochleistungsklystrons
- 8 - Abstand d. Bunche 3×10^{-10} sec
Länge der Bunche 2×10^{-11} sec
- 11 - Mitte: Endenergie "auf" 7,5 GeV
- 31 - letzte Zeile: vertikal 0,3 mm, horizontal 0,6 mm
- 32 - 5. Zeile: Diese Probleme sind jedoch bei der in diesen Punkten vergleichbaren CERN-Maschine gelöst.

Hamburg, am 25.2.1958

Ha/Js.

Übersicht über Elektronen Maschinen

Linearbeschleuniger

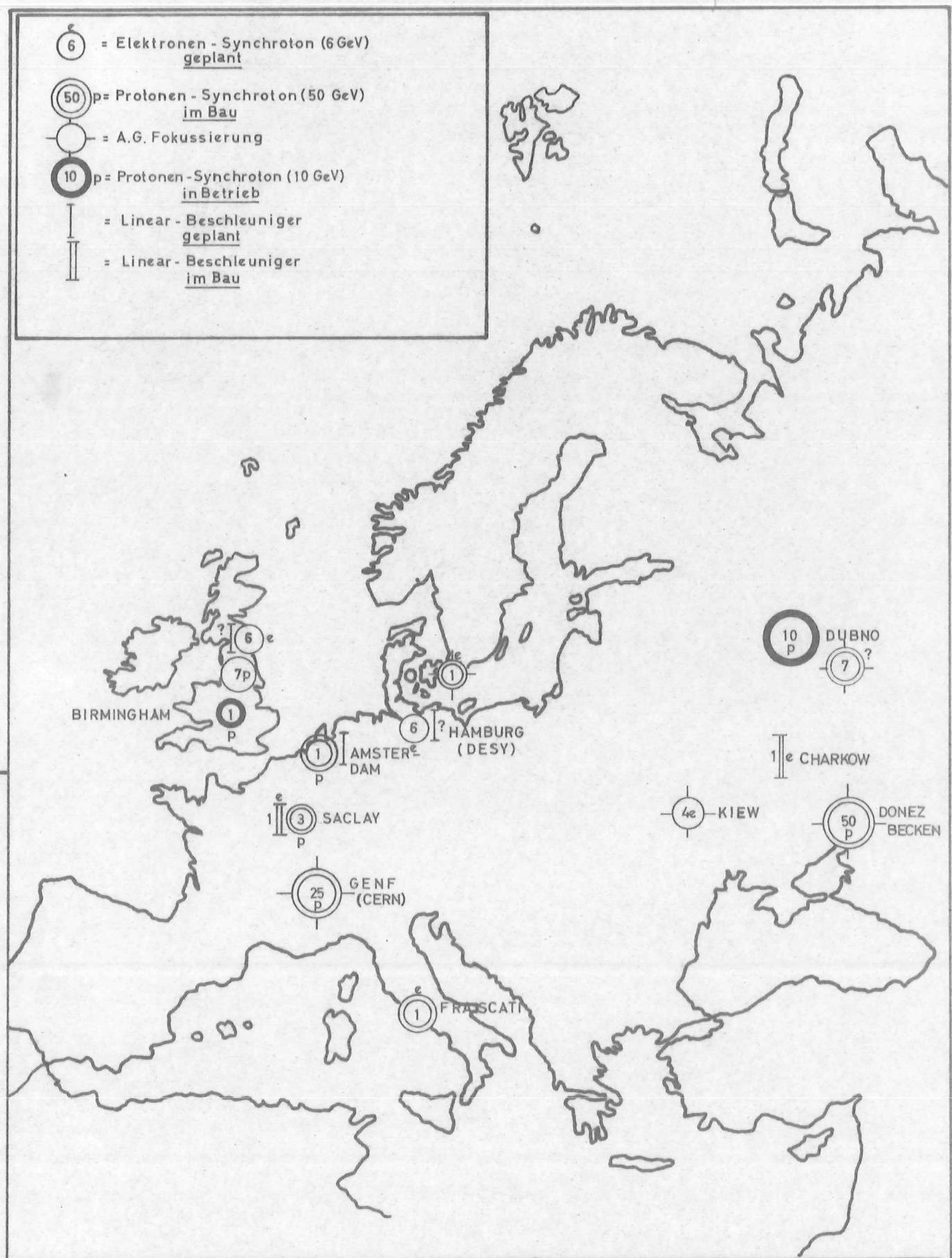
1.) Beschleuniger mit einer Endenergie, die zur Erzeugung von Anti-Teilchen ausreicht :

Aufstellungsort	mittlerer Strom	Endenergie	
Stanford Cal.	5×10^{-6} A	15-45 GeV	geplant
Nordenglische Universitäten		?	diskutiert siehe Synchr.

2.) Beschleuniger mit einer Endenergie von 1 - 4 GeV

Amsterdam Niederlande		3 GeV	geplant
Orsay Frankreich	1×10^{-6} A	~ 1 GeV	im Bau
Charkow		~ 1 GeV	im Bau

6 = Elektronen - Synchrotron (6 GeV) geplant
 50 p = Protonen - Synchrotron (50 GeV) im Bau
 ○ = A.G. Fokussierung
 10 p = Protonen - Synchrotron (10 GeV) in Betrieb
 I = Linear - Beschleuniger geplant
 II = Linear - Beschleuniger im Bau



DESY	gez.:	Datum	Name	Gruppe: Th.
	gepr.:	2.58	kn.	Zchg. No.: 9
	gen.:			Blatt No.: 1
Maßstab:	Beschleuniger - Anlagen in Europa			Ersatz für:
1:24000000				Ersetzt durch:
				x ausf.:
				ausgef. von:
				Auftrag No.:

Zusammenfassung von Bemerkungen des ass.Prof. at Nebraska University

E.J. Zimmerman

(z.Zt.Gastprofessor am Physikalischen Staatsinstitut Hamburg)

Die folgende Zusammenstellung soll dazu dienen, die Meinung eines Ausländers und somit Aussenstehenden zu dem geplanten Hamburger Projekt kennenzulernen:

Concerning the choice of an accelerator for Hamburg, I have a definite opinion. I must emphasize that I do not wish to, nor could I, decide what machine to build. But I feel some responsibility to inform you of my ideas about the matter and perhaps the best way is to put them on paper. My experience with high-energy physics is, as you know, entirely vicarious and my knowledge of the "political" situation you face is very limited. You will, I am sure, consider these factors in evaluating (or disregarding) my opinions. Each sentence here should be modified by "I think" or "in my opinion", and I hope you will read the entire letter with that in mind.

I favour building a synchrotron. My reasons follow, grouped conveniently if not entirely logically.

1.) Physics

I agree that Physics must be the primary motive for building a machine. But on this basis I cannot see a clear-cut superiority for either machine. The end products - high-energy electron beams - are so similar that, with a few exceptions, the applications to physics must be rather similar. At the present time it does not seem to me possible to say which class of experiments will be in the future most interesting - those practical only with a synchrotron or those practical only with a linac. But I think these classes are small compared with that of the experiments practical with either machine.

I doubt that the usefulness of either machine will outlast very long that of the other. Building either machine requires a certain faith in the future of Physics. Even if in a relatively few years high-energy Physics becomes less popular (and this I personally doubt), the existing machines cannot be scrapped. New machines would probably not be started, but the "old" ones would keep running because they would still be performing at least three important functions: a) Clearing up the details and improving the accuracy of experiments with high-energy particles; b) training

young physicists; and c) supplying the experience, the organization, and some of the material equipment necessary to move vigorously into whatever subjects would have become most popular.

In summary, either machine would supply a facility which, in my opinion, would supply Hamburg and Germany with a strong basis for worth-while and continuing research in Physics. Only future development can determine the extent to which they will lead in this field, but without a prompt start, they will certainly never lead. This leads naturally to the considering of a second point involved in a decision between the machines.

2.) Competition with other Machines.

My comments here are coloured by my - old fashioned - distaste for the standpoint which views physics as a race to get somewhere first. But I shall write bluntly. I do not think Hamburg is going to get there first - not this time anyway. Even CERN, with the resources and enthusiasm of almost an entire continent, did not attempt to reach the foremost position without building a lower-energy non-competitive machine first. To go from a very small investment in Physics to "leadership" is, in my opinion, not possible with the resources that Hamburg has available. The leading laboratories in the future will be those who find themselves in a position similar to that of the leading laboratories now - namely possessing going research organizations of such scope that building a major machine represents at most a doubling or tripling of the total research effort - not an increase of a factor of twenty or thirty.

Thus I don't see what "getting there first" has to do with the situation at Hamburg. The problem here is getting anywhere at all. A start must be made first, and then, with continued scientific and financial support, an outstanding research facility can be built. But I don't think that can come all in one jump.

3.) Construction Time

Construction time for either machine will depend upon 1) quality of personal and 2) available money quite as much as on the inherent difficulties of the machine construction. The experience in France shows that one can spend a long time on a linac; in all probability Livingston's group will show that the construction of a synchrotron can proceed steadily towards successful operation. Hence it

becomes necessary to consider realistically what Hamburg can and is likely to do.

Hamburg cannot offer to the very few top-qualified men in the machine-field - Hofstaedter, Kerst, Livingston and the others - that which they would demand in order to participate actively in the construction. Too many other places want their services - where there are other top-rank physicists available for consultation and stimulation. The personnel which Hamburg can attract and with which it will have to work will consist of competent people with little experience in the high-energy field. There are, after all, not many physicists in Germany with such experience and outside of Germany the competition for these men is very keen. In my opinion, such personnel can build a machine, but I think not quite as fast as one might estimate after a talk with MacMillan, Kerst or Livingston. If this is true, then the difference in construction-time which will not be short for either machine is of relatively less importance.

Speed of construction can be obtained, of course, if one wants to pay for it. But to find the best and cheapest way usually requires some time.

It may be easy to underestimate the difficulties of building a klystron factory. It is true that these are purely engineering and administrative. But if commercial firms are not interested in developing a plant to deliver a few hundreds klystrons per month to a customer who has to buy from them and has agreed to buy from them in advance, then it must be that they view the business as unprofitable - i.e. not worth trying up their engineering staff for the time required to solve the problem.

Certainly the difficulties in the building of the synchrotron are greater, but they appear to be of somewhat different character. In part, at least, they present more of a challenge and are more interesting to the physicists. From a purely physical point of view, not all the time spent in solving these problems is wasted, for similar constructional problems are likely to arise in constructing experimental apparatus. The backlog of worthwhile experience gained in the synchrotron construction would, it seems to me, be markedly more than that gained from building a linac. In Berkeley, MIT, or Stanford, this would have little significance but in Hamburg, where just this backlog of experience is lacking, I feel that it would more than compensate for any possible difference in construction time.

I know that it appears DESY has not moved very far in a year. That this should be discouraging it to be expected; but that this should be, is also to be expected. Considering the starting point near absolute zero, I doubt that any other group could have moved much further. I think there has been progress, even if it doesn't show on the surface, and that a definite start has been made. If plans are switched to linac, I would expect a similar "dead time" - perhaps not so long - before tangible results could be seen for that machine. Unless a very strong case can be made for changing machine type, I feel that it would be much preferable to go through with the original plan. And such a case, as I have tried to show is difficult to make.

4.) Costs

I think that the synchrotron, in building and in operation, is likely to give more physics per DM than the linac. Even if it were the other way around, I would, in Hamburg's position, tend to favour the less expensive machine. It is not that Germany can not or shall not afford to spend what a linac would cost; I just think that, in ten years, after either machine is obsolescent, it is so much more important that Hamburg have a laboratory which it can then afford to operate and to expand into whatever Physics seems most promising then.

Here is a trivial example, but perhaps it illustrates what I am trying to say. When I return to Nebraska, I expect to consider building a small accelerator - a really small one. I first have to convince myself that there is physics to be done with it - otherwise I would not be interested. But I would justify my request for funds on the grounds that a) it would represent an important increase in the experimental facilities of our department b) we can afford the initial cost and the operation and c) both in construction and in experimentation it would provide valid training for young physicists.

