

Hamburg, den 15.7.65

DESY - H 8

DESY-Bibliothek

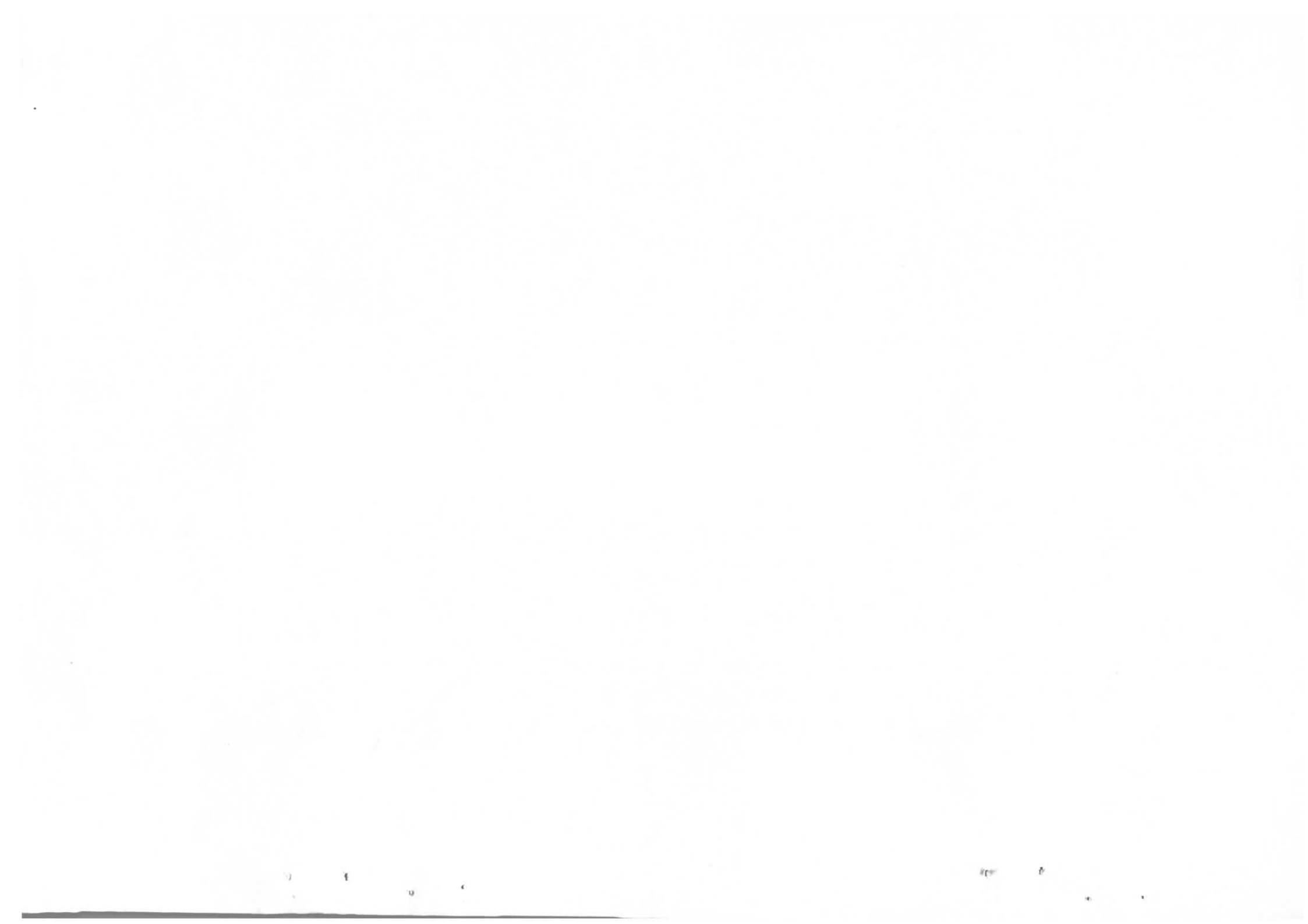
6. NOV. 1967

VORSCHLAG FÜR DIE ERWEITERUNG DER DESY-BESCHLEUNIGERANLAGE
DURCH EINEN
300 MEV - ELEKTRONEN - POSITRONEN - INJEKTOR



Inhaltsverzeichnis

1) Begründung	Seite	1
2) Geforderte Eigenschaften und technische Ausführung des vorgeschlagenen Elektronen-Positronen-Linearbeschleunigers	"	4
3) Gebäude und Abschirmung	"	10
4) Strahlführung und Injektion in das Synchrotron	"	14
5) Kostenschätzung	"	16
6) Zeitplan und Personalbedarf	"	18



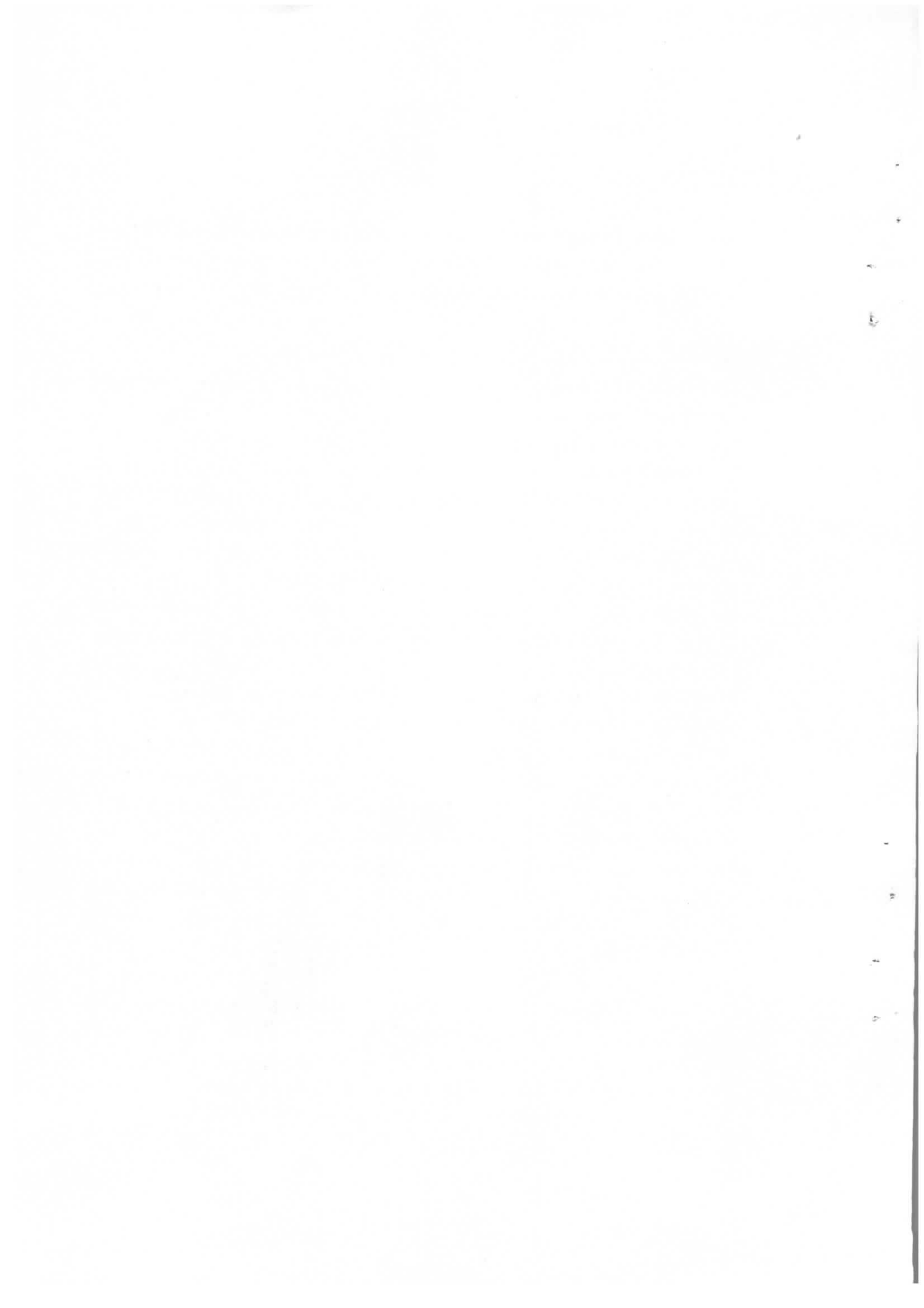
1. Begründung

Der Bau eines Linearbeschleunigers mit einer Energie von ca. 300 MeV als neuer Injektor für das DESY-Synchrotron wird aus folgenden Gründen vorgeschlagen:

a) Erhöhung der Strahlintensität im Synchrotron

Mit einer höheren Einschußenergie läßt sich die Intensität des beschleunigten Elektronenstrahls wesentlich vergrößern. Sie wird begrenzt durch die Rückwirkung des Strahles auf das Hochfrequenzsystem. Maßgebend für diese Effekte ist das Verhältnis der zur Beschleunigung notwendigen Energiezufuhr und der vom Strahl im Beschleunigungssystem induzierten Gegenspannung. Einer Erhöhung der Energiezunahme ΔE pro Umlauf bei der jetzigen Injektionsenergie steht entgegen, daß die relative Energieänderung $\frac{\Delta E}{E}$ während des ersten Umlaufs der Elektronen im Synchrotron den jetzigen Wert nicht übersteigen darf, da sonst die zuerst in das Synchrotron eingeschossenen Teilchen während des ersten Umlaufs die Kammerwand treffen würden. Bei gegebener relativer Energieänderung $\frac{\Delta E}{E}$ läßt sich die Energiezunahme ΔE nur durch Erhöhung der Injektionsenergie vergrößern. Hiernach ist bei einer Steigerung der Injektionsenergie und gleichzeitiger proportionaler Änderung der zeitlichen Ableitung des Magnetfeldes eine der Energieerhöhung proportionale Erhöhung der Strahlintensität zu erwarten. Dieser Gewinn an Intensität müßte unabhängig von allen Maßnahmen zur Bekämpfung der Strahlrückwirkung auftreten.

Der Magnetstromkreis des Synchrotrons läßt es zu, die zeitliche Änderung des Magnetfeldes beim Einschuß auf das acht- bis zehnfache des jetzigen Wertes einzustellen. Eine Erhöhung der Einschußenergie auf etwa 300 MeV sollte daher eine Intensitätssteigerung um etwa den Faktor 8 zur Folge haben.



Mit einem Linearbeschleuniger des vorgeschlagenen Typs als Injektor dürfte die obere praktisch erreichbare Grenze für den im Synchrotron beschleunigten mittleren Elektronenstrom bei etwa $5\mu\text{A}$ liegen (siehe 2.21). Infolge der beim Synchrotron möglichen Dehnung der Experimentierpulse in den Millisekundenbereich wäre DESY damit noch auf lange Sicht mit Hochenergie- und Hochintensitäts-Linearbeschleunigern wie z.B. SLAC (mittl. Strom $30\mu\text{A}$) konkurrenzfähig (siehe Abb. 1).

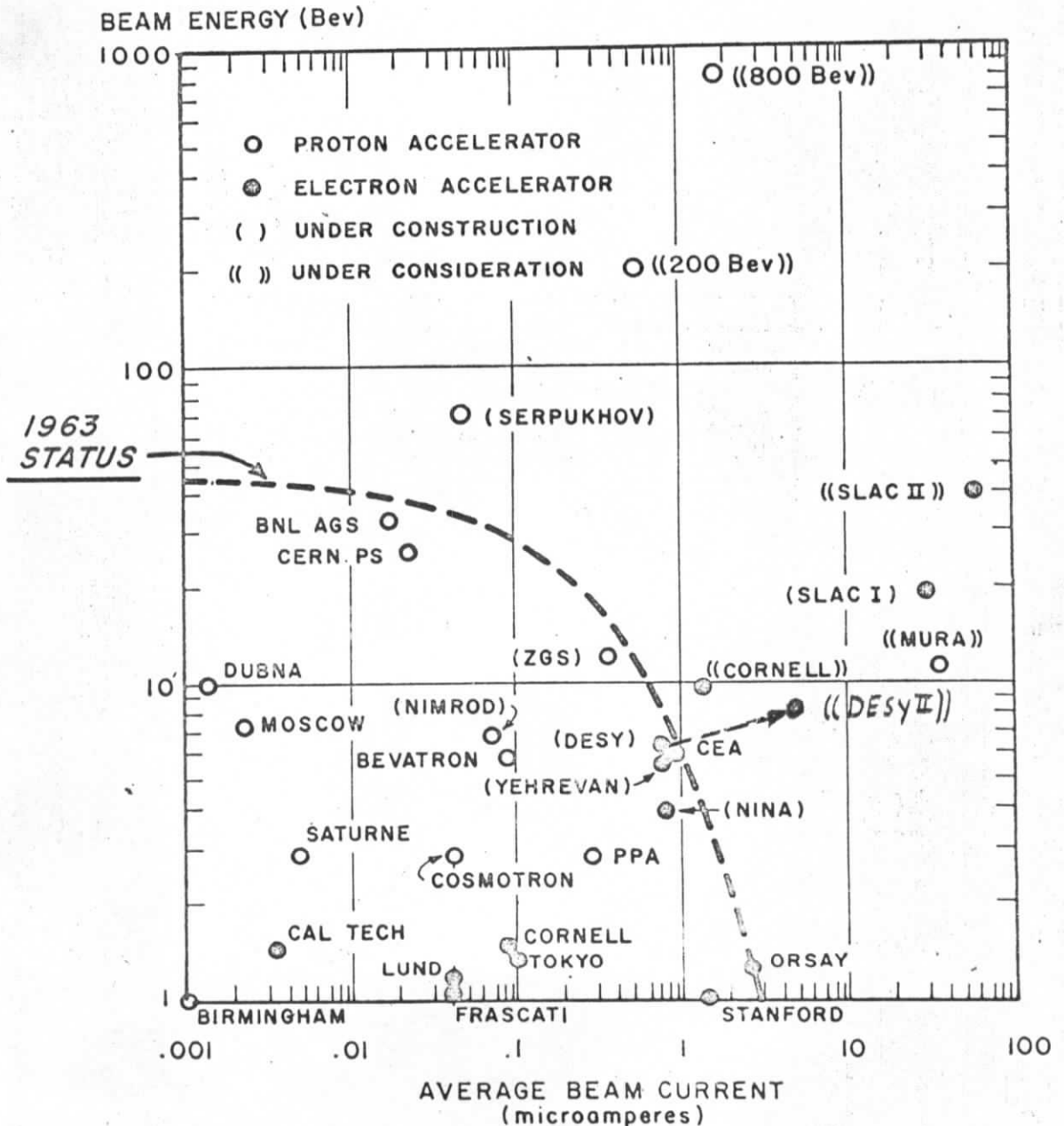


Abb. 1: Energie und Stromstärke verschiedener Beschleuniger (nach Panofsky)



b) Erleichterung des Synchrotronbetriebes

Neben der Erhöhung der Intensität ist eine Erleichterung im Betrieb des Beschleunigers dadurch zu erwarten, daß auf Magnetfeldkorrekturen beim Einschießen verzichtet werden kann.

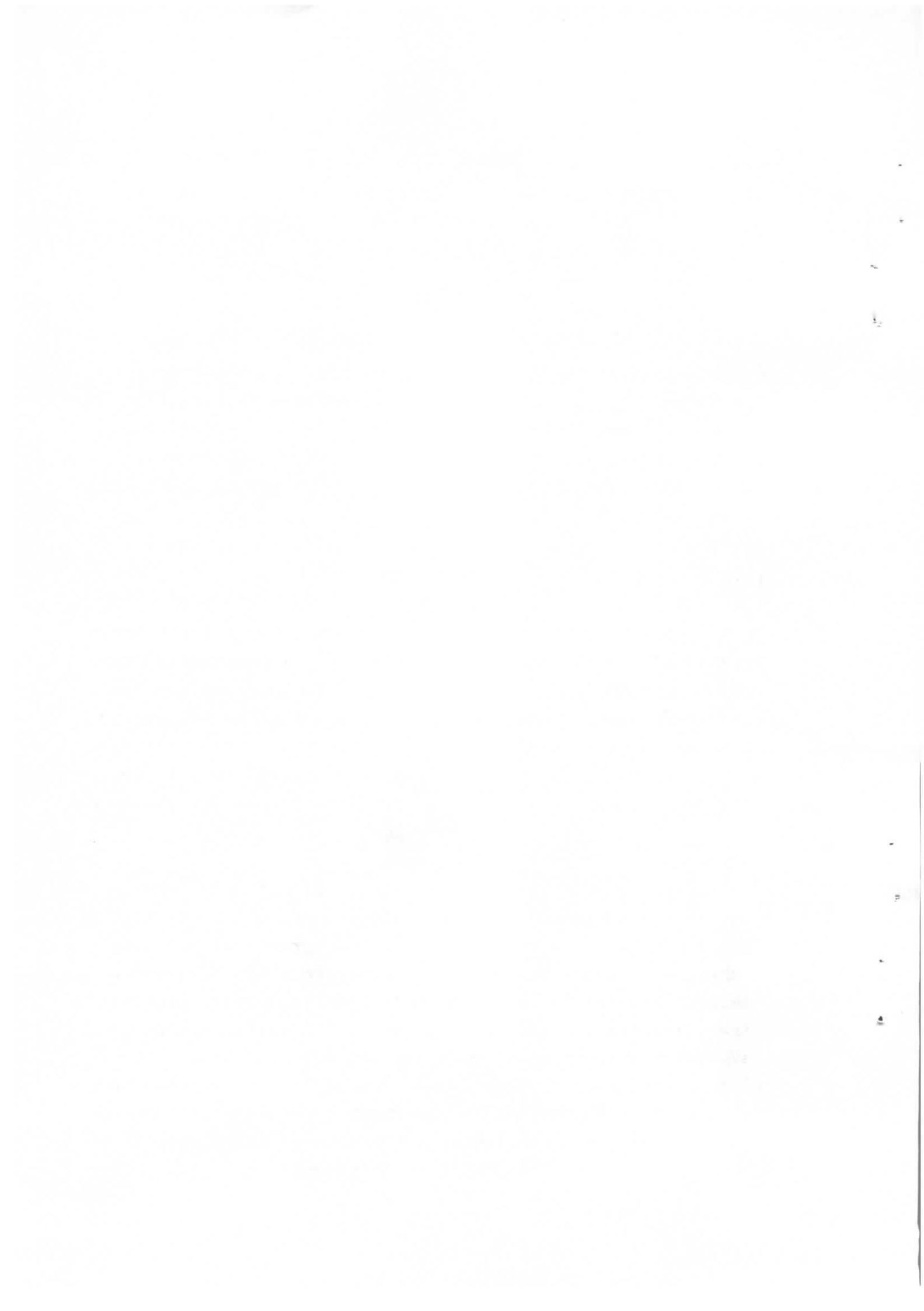
c) Beschleunigung eines Positronenstrahls hoher Intensität

Durch Einbau eines Konversionstargets mit Fokussierung in den vorgeschlagenen Linearbeschleuniger erscheint es möglich, einen Positronenstrahl in das Synchrotron einzuschießen und zu beschleunigen, dessen obere Intensitätsgrenze in der Größenordnung von einigen Prozent der maximalen Elektronenintensität liegen dürfte.

Ein zirkulierender Positronenstrom von der Größenordnung 2 - 5 mA im Synchrotron würde folgende experimentelle Möglichkeiten eröffnen:

1. Zähler- und Blaskammer-Experimente zur Photoerzeugung in einem nahezu energiehomogenen Gammastrahl, der durch Annihilation von Positronen in einem Wasserstofftarget erzeugt wird.
2. Zählerexperimente zur elastischen und inelastischen Streuung von Positronen. Bei der elastischen Streuung von Positronen am Proton läßt sich z.B. aus einer möglichen Abweichung von der Rosenbluth-Formel der Einfluß des Zweiteilchenaustausches bestimmen.

Die Frage, warum beim Bau von DESY nicht von vornherein ein Linearbeschleuniger höherer Energie vorgesehen wurde, beantwortet sich dadurch, daß erst die in den letzten Jahren in verschiedenen Laboratorien erzielten Fortschritte in der Linearbeschleuniger- und Pulsinflektor-Technik die Realisierung eines solchen Projektes mit vertretbarem Aufwand möglich gemacht haben. Solchen Erweiterungen der physikalisch-technischen Möglichkeiten muß DESY sich ebenso anpassen wie andere Beschleu-



nigerlabors, wenn es nicht in seiner Bedeutung zurückfallen soll.

2. Geforderte Eigenschaften und technische Ausführung des vorgeschlagenen Elektronen-Positronen-Linearbeschleunigers

2.1 Allgemeines

Für die gepulste Injektion von Elektronen oder Positronen in ein Synchrotron hoher Energie stellt der S-Band-Linearbeschleuniger den einfachsten und am besten geeigneten Injektortyp dar. Energie, Stromstärke, Pulsdauer, Energiehomogenität und Emittanz lassen sich beim Entwurf und im Betrieb eines solchen Injektors in weiten Bereichen variieren und damit den jeweils vorliegenden Anforderungen optimal anpassen.

Technisch ist der S-Band-Linearbeschleuniger als Elektronenbeschleuniger weitgehend ausgereift; er wird in USA und Europa kommerziell hergestellt. In neuester Zeit hat der Bau des 3 km langen Linearbeschleunigers in Stanford/USA (SLAC) noch zu einer sehr bedeutenden Vervollkommnung der einschlägigen Mikrowellentechnik Anlaß gegeben. Dies betrifft hauptsächlich die Herstellung evakuierter Beschleunigungsstrecken, Hochleistungs-Klystronverstärker und Pulsmodulatoren.

Die Erzeugung und Beschleunigung von Positronen in S-Band-Linearbeschleunigern war in den vergangenen Jahren (seit etwa 1962) Gegenstand theoretischer und praktischer Untersuchungen in Frascati, Orsay und Stanford sowie an anderen Stellen. Ein aktuelles Beispiel für die technische Ausführung eines Elektronen-Positronen-Linearbeschleunigers ist der 360 MeV-Injektor für den Speicherring Adone in Frascati. Dieser Linearbeschleuniger wurde von der Firma Varian in USA gebaut und hinsichtlich der Positronenausbeute bereits erfolgreich



erprobt. Er entspricht in seinen Daten ungefähr der für den neuen DESY-Injektor vorgeschlagenen Spezifikation.

Neben den technischen Eigenschaften lassen sich auch die Kosten beim S-Band-Linearbeschleuniger anhand der zahlreichen Erfahrungswerte mit relativ hoher Genauigkeit im voraus ermitteln.

2.2 Geforderte Strahleigenschaften

2.2.1 Elektronenstrahl

Für die Injektion von Elektronen in das Synchrotron soll ein innerhalb der Akzeptanz der Vakuumkammer liegender, auf der Synchrotronfrequenz vorgebundelter Pulsstrom von mindestens 125 mA bei einer Injektionsenergie von ca. 300 MeV zur Verfügung stehen. Mit Rücksicht auf die maximal zulässigen Amplituden der Phasen-Energie-Schwingungen sowie der radialen und vertikalen Betatronschwingungen der Teilchen im Synchrotron soll dieser Strom als Mindestanteil des Gesamtstromes innerhalb eines Energiespektrums von einer relativen Breite $\frac{\Delta E}{E} = \pm 0,5 \%$ liegen und eine Emittanz von 1 mrad · cm nicht überschreiten (entsprechend einer Emittanzfläche π mrad · cm).

Um die geforderten Werte mit guter Sicherheit zu erreichen, erscheint es zweckmäßig, dem Entwurf des Linearbeschleunigers einen Gesamtstrom von etwa 250 mA zugrunde zu legen.

Bei Einhaltung der angegebenen Forderung für den injizierten Strom verbleibt in der Vakuumkammer des Synchrotrons neben dem Platz für Betatronschwingungen und inkohärente Phasen-Energie-Schwingungen noch eine Reserve für kohärente Phasen-Schwingungen, welche durch die Strahlbelastung des Resonatorsystems zustandekommen und deren Amplituden der Intensität des eingeschossenen Stromes proportional sind.



Einer Energiehomogenität von $\pm 0,5\%$ entspricht eine Phasenbreite der Teilchenbündel im Linearbeschleuniger von ca. 16° oder - bezogen auf die Synchrotronfrequenz (499,65 MHz) - $1/6$ hiervon, d.h. eine Phasenbreite von ca. $2,7^\circ$. Der durch ein ganzzahliges Frequenzverhältnis und Phasenstarrheit zwischen Injektor- und Synchrotronfrequenz erzielbare hohe Vorbündelungsfaktor in der Größe von 100 bis 150 bedeutet eine nahezu punktweise Ladungsverteilung des injizierten Stromes und erlaubt die Anwendung extrem kleiner synchroner Phasenwinkel beim Einschießen, d.h. großer Hochfrequenzamplituden. Dadurch kann eine erhebliche Verminderung der Strahlrückwirkung auf das Resonatorsystem, d.h. insgesamt eine Intensitätssteigerung erzielt werden.

Bei einem Injektionswirkungsgrad von 80 ... 90 %, welcher etwa die obere praktisch erreichbare Grenze darstellen dürfte, würde ein zirkulierender Strom von ca. 100 mA im Synchrotron einer Zahl von etwa 3×10^{13} beschleunigten Teilchen pro Sekunde bzw. einem mittleren Strom von etwa 5 μ A entsprechen.

2.2.2 Positronenstrahl

Zur Erzeugung der Positronen läßt man auf etwa 100 MeV vorbeschleunigte Elektronen auf ein Target treffen. Es wird dabei Bremsstrahlung erzeugt, welche ihrerseits durch Paarbildung die gewünschten Positronen bildet.

Für den Wirkungsgrad dieser Umwandlung haben Aggson und Burnod^(*), Orsay, aus Experimenten folgende empirische Formel für kleine Öffnungswinkel abgeleitet:

$$(1) \quad i_{\text{opt}}^+ = 240 \cdot \left(1 - \frac{25}{E_-}\right) P^- \cdot \Delta E^+ \cdot \Omega \quad (\mu\text{A})$$

(*) L. Aggson und L. Burnod - Rapport LAL 27, Oktober 1962



Dabei sind E_- die Elektronenenergie in MeV, P^- die Elektronenstrahl- Pulsleistung in MW, ΔE^+ die zugelassene Energiebreite der Positronen, Ω der nutzbare Öffnungswinkel (Raumwinkel in Sterad) der Positronen. Diesen optimalen Positronenstrom erhält man bei Targetdicken von 1 - 2 Strahlungslängen und Positronenenergien von 5 - 10 MeV.

Messungen am Konverter für Frascati bei Varian haben ergeben, daß es durchaus möglich ist, den durch (1) berechneten Positronenstrom auch zu beschleunigen. Je nach der Art der Fokussierung erhält man jedoch Verluste durch Phasenverbreiterung infolge verschiedener Weglängen der Positronen. Bei Frascati liegen etwa 32 % des berechneten Positronenstroms innerhalb eines Energieintervalls von $\Delta E^+/E^+ = \pm 0,5 \%$.

Mit Hilfe von axialen Magnetfeldern, welche durch Solenoide erzeugt werden, können Positronen von etwa 10 MeV bis zu einem Öffnungswinkel von 14° eingefangen werden. Dabei benötigt man Magnetfelder von etwa 17 KG. Für größere Öffnungswinkel steigt die Feldstärke stark an, wodurch der technische Aufwand zu groß wird.

Um einen größeren Positronenstrom zu beschleunigen, wird deshalb eine Fokussierungsmethode vorgeschlagen, welche dem bei Neutrinoexperimenten benutzten magnetischen Horn ähnlich ist. Hierbei werden die Positronen durch ein konzentrisch um die Achse verlaufendes magnetisches Feld bis zu einem Öffnungswinkel von 40° fokussiert. Um eine zu große Absorption und Streuung der niederenergetischen Positronen (5 - 7 MeV) beim Durchtritt durch das Hornmaterial zu vermeiden, soll das Horn viele nicht zu große Öffnungen erhalten, sodaß eine Transparenz von etwa 80 % erreicht wird.

Mit der hier vorgeschlagenen Pulsleistung von 50 MW am Konverter und unter Berücksichtigung des Intensitätsabfalls



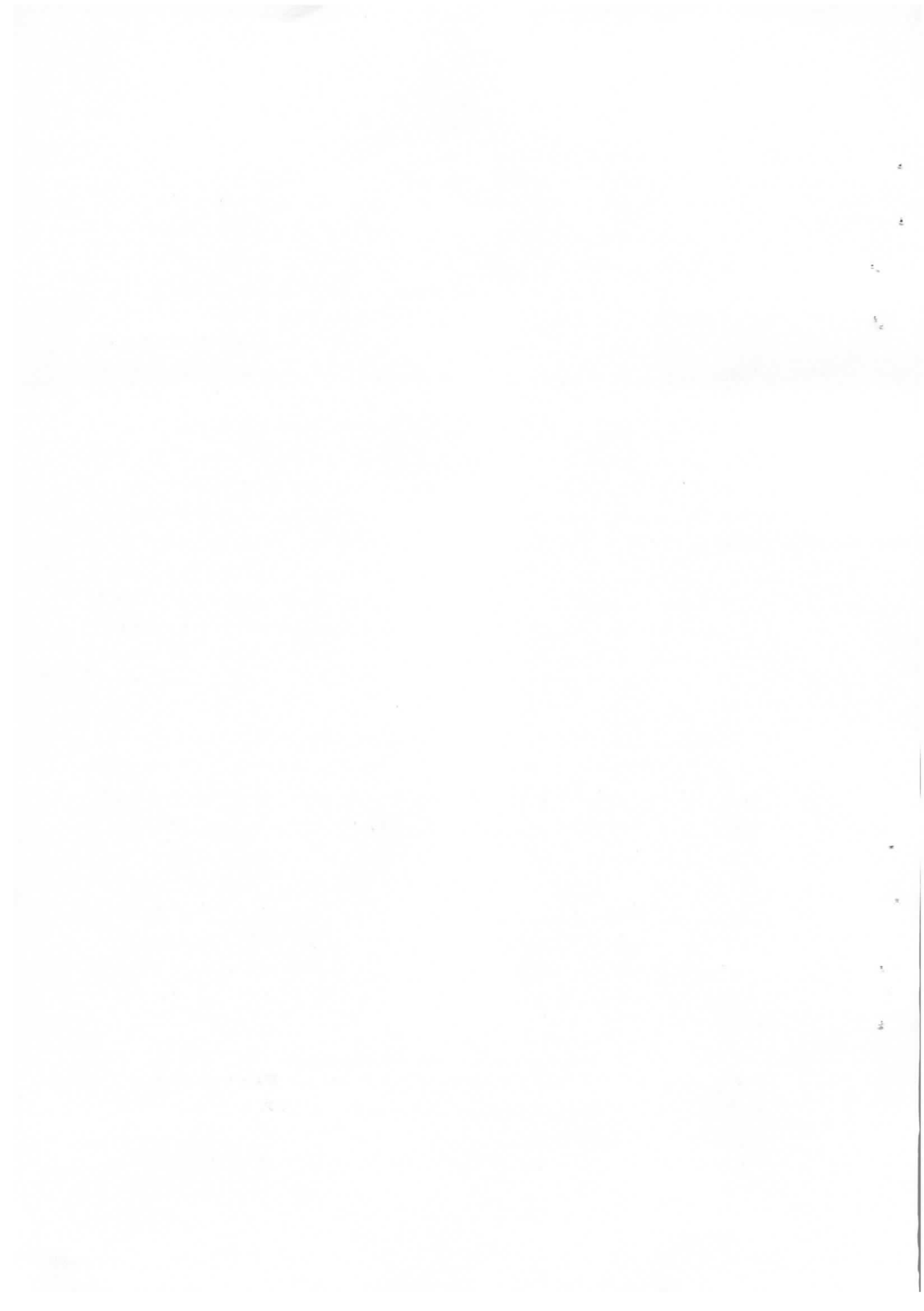
bei großen Öffnungswinkeln ergibt sich für 40° Öffnungswinkel ein Positronenstrom von ca. 20 mA innerhalb eines Energieintervalls von 1 %. Hiervon müssen noch Verluste, welche durch die endliche Ausdehnung des Targets und die Randeffekte am magnetischen Horn entstehen, abgezogen werden. Zur Abschätzung dieser Verluste und zur Bestimmung des Hornprofils sind entsprechende Rechnungen im Gange. Es ist zu erwarten, daß ein Positronenstrom von einigen Milliampères im Synchrotron eingefangen und beschleunigt werden kann.

Ein wesentliches Problem bei der praktischen Erzeugung von Positronen stellt das Target dar, insbesondere hinsichtlich der raschen Abführung der in einem sehr kleinen Volumen entwickelten Wärme. Da Targets aus festem Material durch den Elektronenbeschuß allmählich mechanisch zerstört werden, wird z.Zt. die Möglichkeit der Verwendung eines Targets aus fließendem Quecksilber geprüft. Hierbei läßt sich die Wärme leichter durch Konvektion abführen und eine Zerstörung des Materials weitgehend vermeiden.

2.3 Gesichtspunkte für die technische Realisierung

Mit Rücksicht auf die angestrebte möglichst hohe Positronenausbeute soll die technische Ausführung des Linearbeschleunigers für Positronenbetrieb optimalisiert werden. Zu diesem Zweck muß der vor dem Konverter liegende Teil auf möglichst hohe Strahlleistung, d.h. hohen Strom bei hoher Energie ausgelegt werden, während der nachfolgende Teil des Linearbeschleunigers für möglichst hohe Energie bei relativ kleinem Strom dimensioniert werden muß.

Für den Hochstromabschnitt wird eine Energie von 100 MeV und ein Strom von 0,5 A, d.i. 50 MW Pulsleistung am Konverter, für den Hochenergieabschnitt eine Leerlaufenergie von etwa 300 MeV angestrebt.



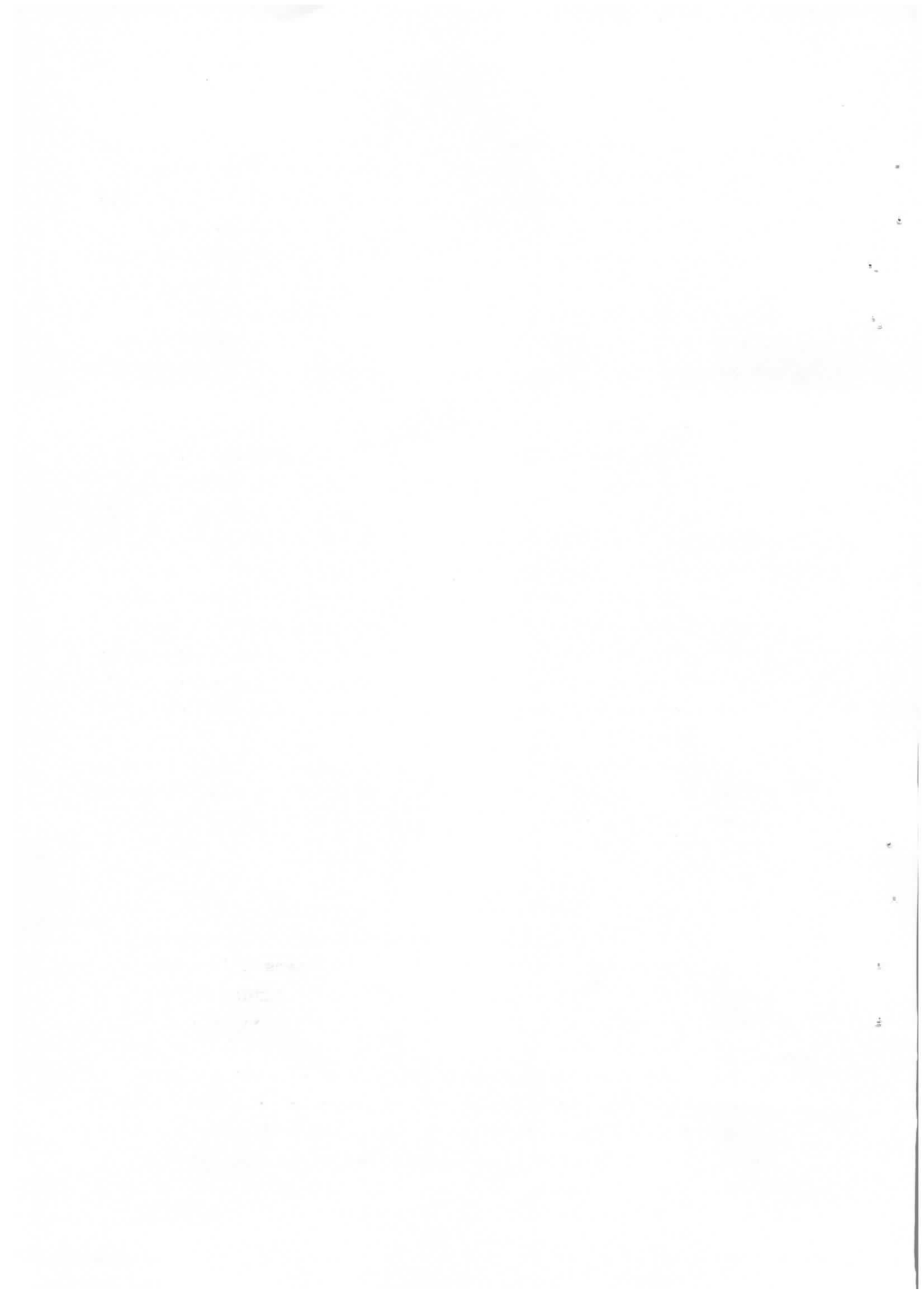
Legt man dem technischen Konzept eine Länge von 3 m der einzelnen Sektionen zugrunde, so würde sich der Linearbeschleuniger aus 8 Sektionen für den Hochstromabschnitt und 12 Sektionen für den Hochenergieabschnitt zusammensetzen, welche zusammen eine Nettolänge von 60 m ausmachen. Einschließlich des zusätzlichen Platzbedarfs für Elektronenkanone, Prebuncher, Evakuierung, Konverter und Strahlfokussierung ergibt sich eine Gesamtlänge des Linearbeschleunigers von 70 - 80 m, welche der Dimensionierung des Tunnels zugrunde gelegt werden soll. Die Anordnung der Hauptbestandteile des Linearbeschleunigers (Beschleunigerrohr, Modulatoren + Klystronverstärker, Kontrolleinrichtungen) geht aus der Kurzbeschreibung des Gebäudes (s. Kap. 3) hervor.

Es erscheint dringend ratsam, für die Hf-Leistungsversorgung des Linearbeschleunigers die bei SLAC eingesetzte und auch bei anderen Neuprojektierungen (z.B. CEA und Cornell) bevorzugte Klystrontype vorzusehen. Dieses von mehreren Firmen lieferbare 24 MW-Klystron bietet die beste Gewähr für optimale elektrische Eigenschaften, niedrigsten Preis, höchste Betriebssicherheit und längste Marktgängigkeit.

Pro Sektion sind jeweils knapp 10 MW Pulsleistung erforderlich, sodaß bei Speisung von je 2 Sektionen durch ein gemeinsames Klystron insgesamt 10 Klystronverstärker und Modulatoren gebraucht werden.

Die notwendige Energiekonstanz und Energiebreite des Teilchenstrahls von $\pm 0,5\%$ kann durch präzise Regelung der Pulsspannung der Modulatoren ($\pm 0,3\%$) und der Kühlwassertemperatur der Beschleunigungsabschnitte ($\pm 0,1^\circ\text{C}$) erreicht werden.

Erleichternd und verbilligend im Vergleich zu SLAC und Frascati wirkt sich für den Bau der Modulatoren die relativ niedrige Pulswiederholungsfrequenz von 50 Hz aus. Sie verspricht gleichzeitig eine relativ lange Lebensdauer der



Klystronverstärker, d.h. mäßige Betriebskosten des Linearbeschleunigers. Bei einer Pulslänge von 2 bis 3 Mikrosekunden (hiervon $1\mu\text{s}$ Füllzeit der Sektionen, $1\mu\text{s}$ Strahldauer) liegt die mittlere Ausgangsleistung eines Klystrons im 20 MW-Betrieb unter 3 KW, d.i. 14 % des zulässigen Maximalwertes. Die von jedem Modulator abzugebende mittlere Leistung beträgt ca. 10 KW. Zum Schalten der Pulsleistung von 65 MW können moderne Wasserstoff-Thyratrons benutzt werden.

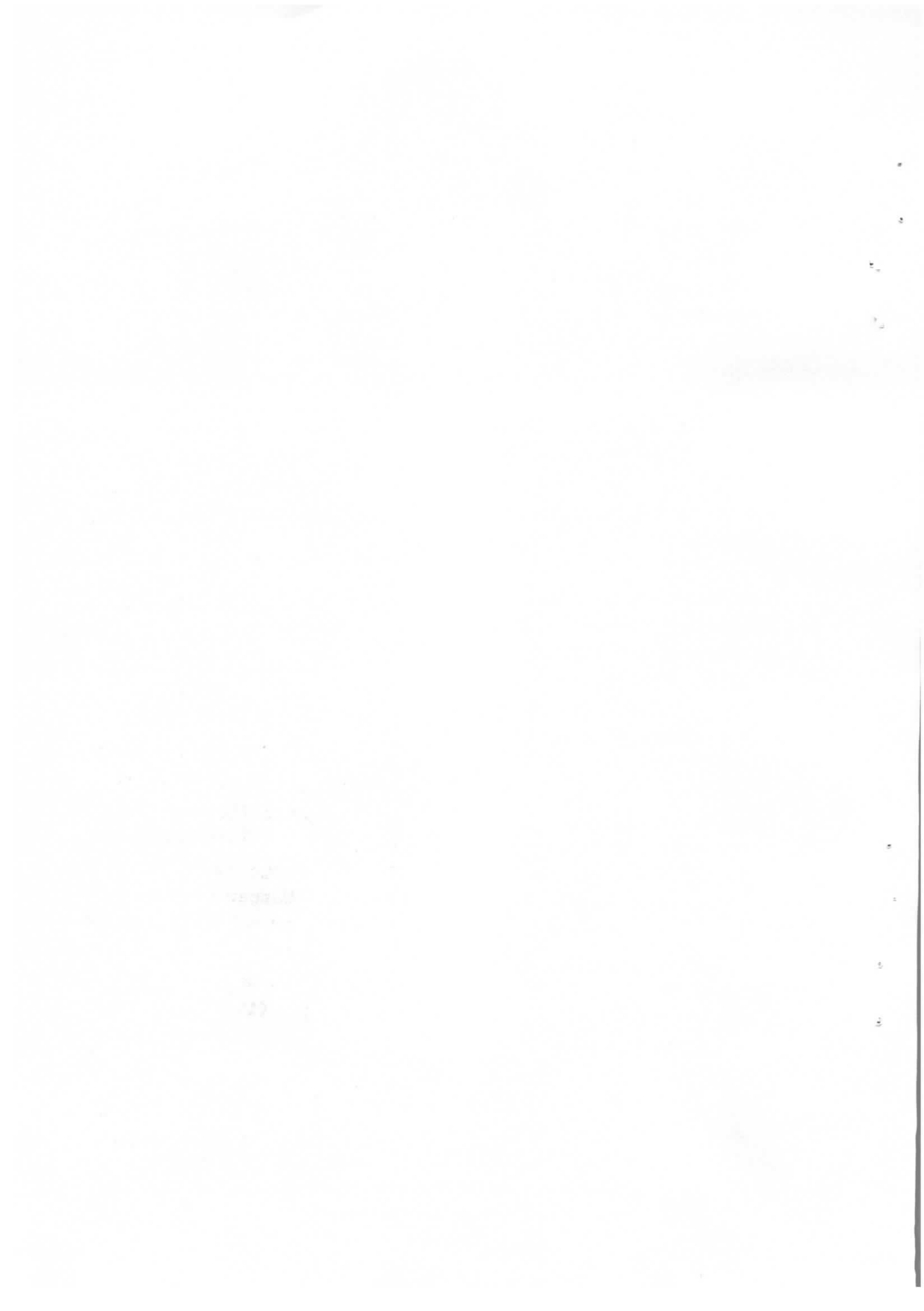
Bezüglich der Fokussierung des Positronenstrahls zeigen abschätzende Überlegungen, daß eine Quadrupolfokussierung im Vergleich zu der konventionellen Solenoid-Fokussierung nennenswerte Vorteile hinsichtlich des Leistungsbedarfs verspricht.

Der Energiebedarf des Linearbeschleunigers liegt unter Berücksichtigung aller Nebenverbraucher wie Fokussierungseinrichtungen, Vakuum- und Kühlwasserpumpen, Röhrenheizungen u.ä. bei insgesamt ca. 400 KVA. Für das Strahlführungs- und Injektionssystem sowie für Meßeinrichtungen sind weitere 200 KVA veranschlagt.

3. Gebäude und Abschirmung

3.1 Gebäude

Die vorgesehene Lage des Linearbeschleunigers auf dem DESY-Gelände ist aus Abb. 2 ersichtlich. Die Anordnung wurde so getroffen, daß die Injektion in das Synchrotron an einer für den Inflektor ohne größere Umbauten verfügbaren Stelle erfolgt und während der Bauzeit des Linearbeschleunigers Eingriffe in die vorhandenen Anlagen vermieden werden können. Die skizzierte Lage ergibt eine zweckmäßige Einordnung in den DESY-Gesamtaufbau unter Beibehaltung der Baufluchten. Wieweit noch Überlegungen bezüglich der eventuellen Erwei-

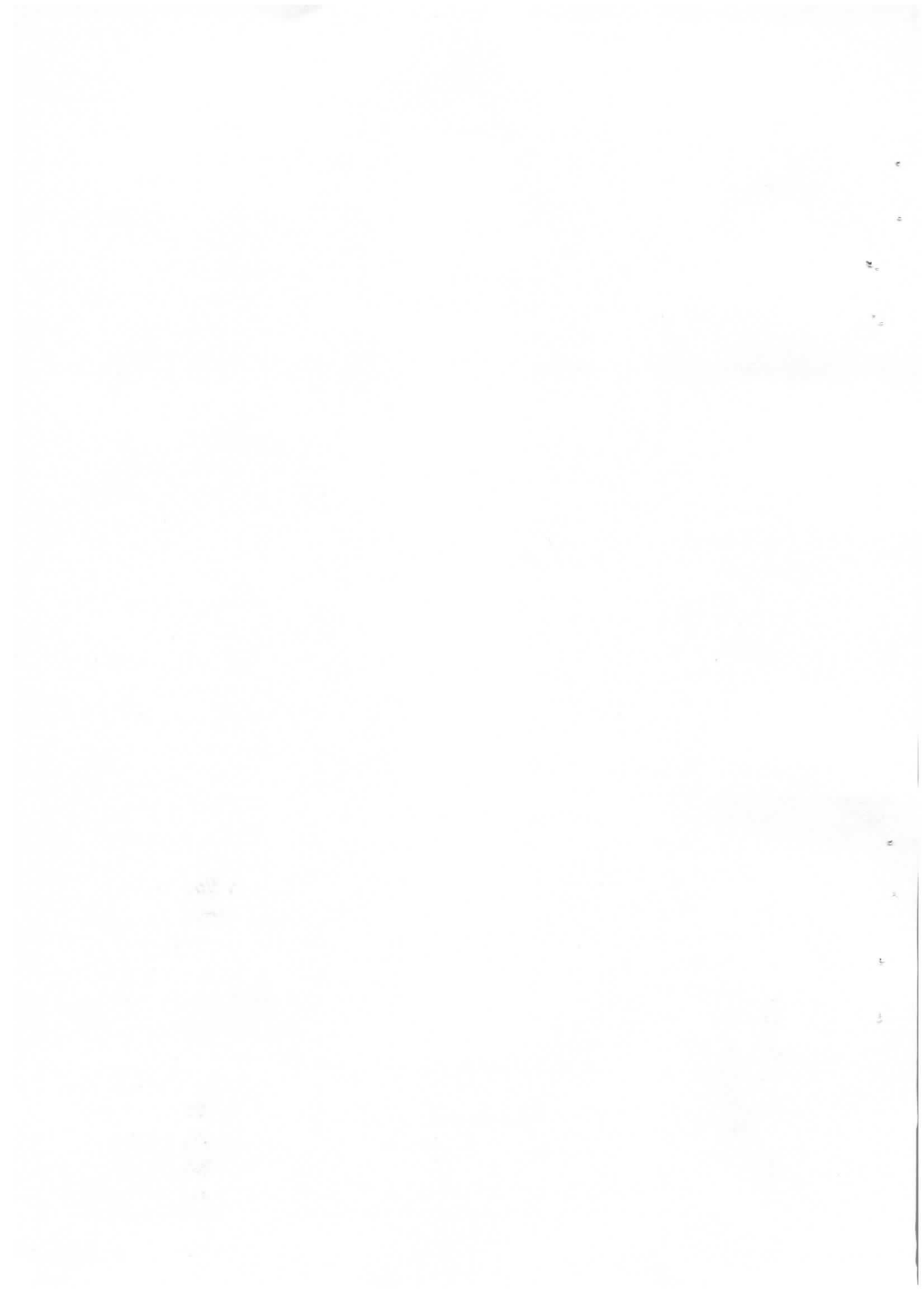


terung der DESY-Anlagen durch einen Speicherring eine Rolle spielen, soll hier nicht erörtert werden.

In Abb. 3 ist der Linearbeschleuniger mit seinen baulichen Komponenten skizziert. Der Beschleunigertunnel (1) von 80 m Länge, 2,5 m Breite und 3 m Höhe wird zweckmäßigerweise als Betonkasten ausgeführt, welcher am vorderen und hinteren Ende durch Strahlenschutzstore oder andere bewegliche Abschirmwände abgeschlossen werden kann. Am hinteren Ende mündet er in einen 6 m breiten abgewinkelten Raum (3, 5), welcher zur Strahlmessung und zur Aufnahme einer dispersionsfreien Strahlweiche (4) sowie eines Strahlfängers dient. Von diesem Raum geht unter einem Winkel von ca. 45° der 2 m breite und 2 m hohe Strahlführungsgang (7) zum Synchrotron ab. In Verlängerung der Achse des Linearbeschleunigers ist ein weiterer Strahlfänger (6) vorgesehen.

Parallel zum Tunnel verläuft über die gesamte Tunnellänge in einem seitlichen Abstand von 6 m die 9 m breite Klystrongalerie (8), welche am hinteren Ende zweigeschossig ausgeführt ist und im Obergeschoß den Kontrollraum (9) sowie einige Labor- und Arbeitsräume enthält. Das Untergeschoß der Galerie, in welchem Pulsmodulatoren, Klystronverstärker und Wärmeaustauscher untergebracht sind, ist mit dem Beschleunigertunnel durch zwei Labyrinthgänge (10) für Personenverkehr und Kleintransporte sowie durch elf über die Galerielänge gleichmäßig verteilte hochliegende Versorgungskanäle (11) für Hochfrequenz, Strom und Wasser verbunden. Parallel zur Klystrongalerie führt eine 10 m breite Straßentrasse (12) mit einer durch Betonklötze (13) abschirmbaren Zufahrt zum Meßraum und einem Park- und Wendeplatz (14). Der Strahl (15) mit dem Konversionstarget (16) liegt außerhalb der Tunnelmitte, sodaß hier einseitig für Transport- und Montagezwecke ausreichend Raum zur Verfügung steht.

Abb. 3 zeigt einen Querschnitt der Beschleunigeranlage, aus welchem insbesondere die Erdabschirmung um den Linactunnel



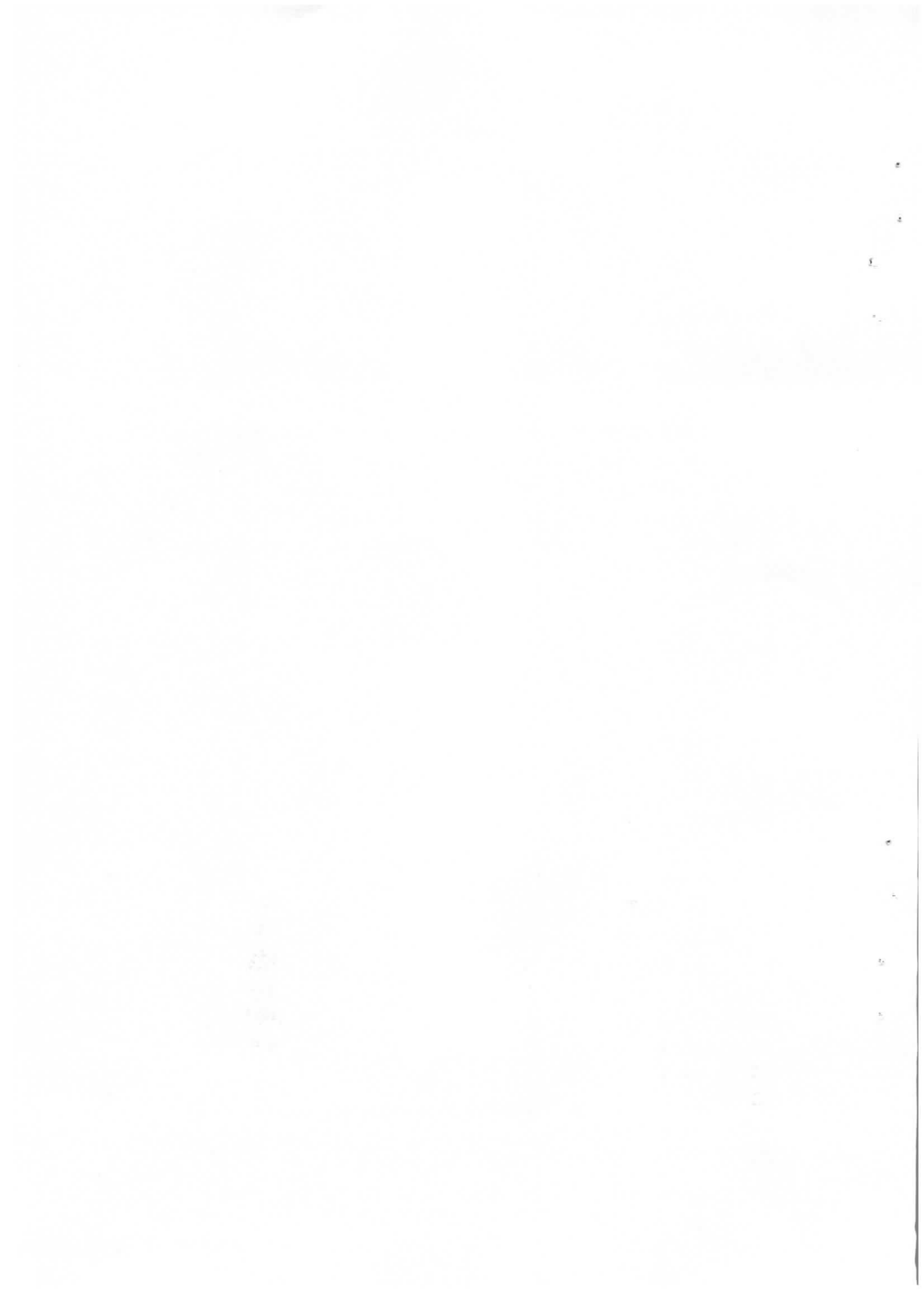
ersichtlich ist. Die erforderliche obere Abschirmdicke von 4 m wird durch Aufschütten des Aushubes vom Straßental in Form eines Walles auf den Tunnel gewonnen. Der Erdwall kann im Bedarfsfalle gleichzeitig die Funktion der Abschirmung des Kontrollraumes gegen den ca. 100 m entfernt liegenden Van de Graaf-Generator des II. Physikalischen Institutes mitübernehmen.

Die Erdabschirmung der Klystrongalerie gegen den Tunnel ist 6 m stark und wird von der linken Tunnelwand und der rechten Galeriewand gehalten. Die zwischen Galeriewand und Tunnelwand angeordneten Versorgungskanäle können eventuell als Zuganker (z.B. in Form von Stahlröhren) ausgebildet werden, sodaß sich statisch eine einfache und billige Lösung für das Auffangen des seitlichen Erddruckes ergibt.

Die Lage des Strahles wurde in Bezug auf die absolute Höhe so gewählt, daß sie mit der Lage im Synchrotron übereinstimmt. Der Fußboden des Beschleunigertunnels und des Strahlungsführungskanals soll etwa 1 m unter dem Strahl liegen, um die Montage der Baugruppen ohne zusätzliche Krananlagen zu ermöglichen.

3.2 Abschirmung

Die zur Abschirmung des Beschleunigers benötigten Vorrichtungen werden im wesentlichen durch die Zahl der von den Elektronen über γ -Quanten produzierten Neutronen bestimmt. Denn erstens sind die Abschwächungslängen in der elektromagnetischen Kaskade kürzer als die Längen, welche für die Reduktion der Neutronenflüsse bestimmend sind. Zweitens werden die Teilchen der elektromagnetischen Kaskade zum überwiegenden Teil in kleine Winkel nach vorwärts gestreut, so daß sie leicht in einer der beiden Strahlenfallen absorbiert werden können. Die in der Riesenresonanz produzierten Neutronen mit Energien von einigen MeV (1 - 20 MeV) werden dagegen isotrop erzeugt. Die für ihre Abbremsung typischen Removal-



längen sind länger als die Strahlungslängen. Hochenergetische Neutronen, welche eine Energie zwischen 20 und 300 MeV besitzen können, werden nach vorwärts gestreut; die entsprechenden Winkel sind jedoch relativ groß, sodaß man in einem Kegel mit einem Öffnungswinkel von $\pm 70^\circ$ ca. 2/3 der insgesamt erzeugten Teilchen erwarten kann.

Bei einem angenommenen Maximalstrom von:

500 mA und 100 MeV am Konverter
sowie 250 mA und 300 MeV am Ende des Beschleunigers

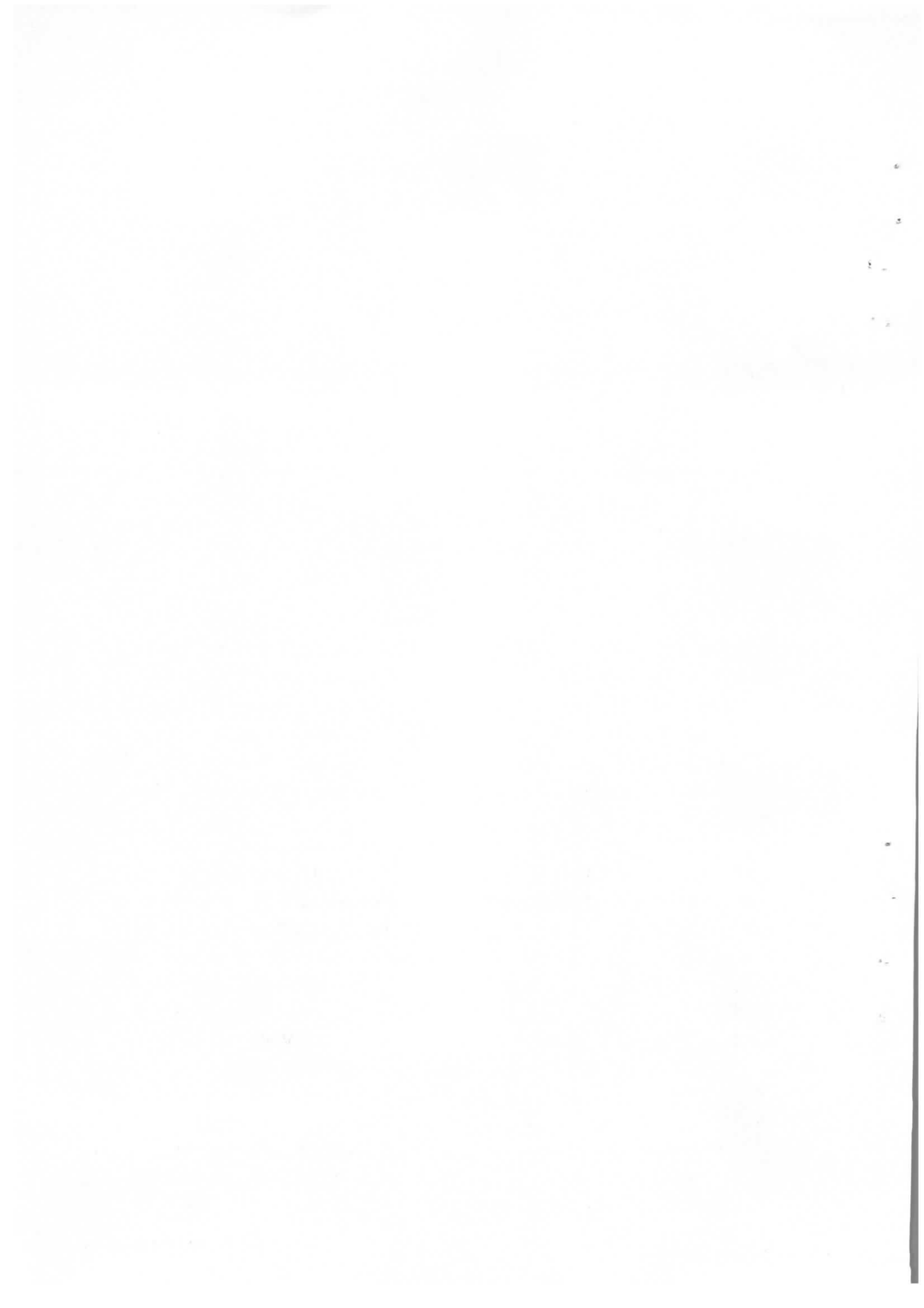
kann man maximal mit Neutronenintensitäten von ca.

$3 \cdot 10^{13}$ Neutronen/sec. zwischen 1 - 20 MeV und
 $5 \cdot 10^{13}$ Neutronen/sec. zwischen 20 - 100 bzw. 300 MeV

rechnen.

Hieraus berechnen sich die seitlichen Abschirmungen bzw. die Abschirmdicke für die Decke des Beschleunigers zu mindestens 4 m Erdwall. Da die seitliche Abschirmung jedoch 2 Labyrinthgänge aufnehmen soll, wird vorgeschlagen, sie etwa 6 m breit zu machen. Die gewinkelten Gänge sollen eine Gesamtlänge von ca. 9 m besitzen, wie mit Hilfe einer Monte Carlo-Rechnung ermittelt wurde.

Am Ende des Beschleunigers soll ein Teil der Erdabschirmung durch eine bewegliche Betonwand ersetzt werden. Sie kann bei einer Stärke von etwa 3,50 m aus Normalbeton bestehen und sollte aus 2 Schichten zusammengesetzt sein, deren Steine gegeneinander versetzt sind. Für das Strahlenschutztor am Anfang des Beschleunigers würden aufgrund einer ersten Abschätzung 1,50 m Normalbeton zur Abschirmung genügen, wenn die Blenden und das Konversionstarget zusätzlich mit ca. 10 cm Eisen oder entsprechender Bleiabschirmung versehen werden. Das Erdreich hinter den Strahlenfallen sollte ca. 6 m dick sein. Als Versorgungskanäle können Rohre durch die Erdabschirmung von ca. 40 x 40 cm zugelassen werden.



4. Strahlführung und Injektion in das Synchrotron

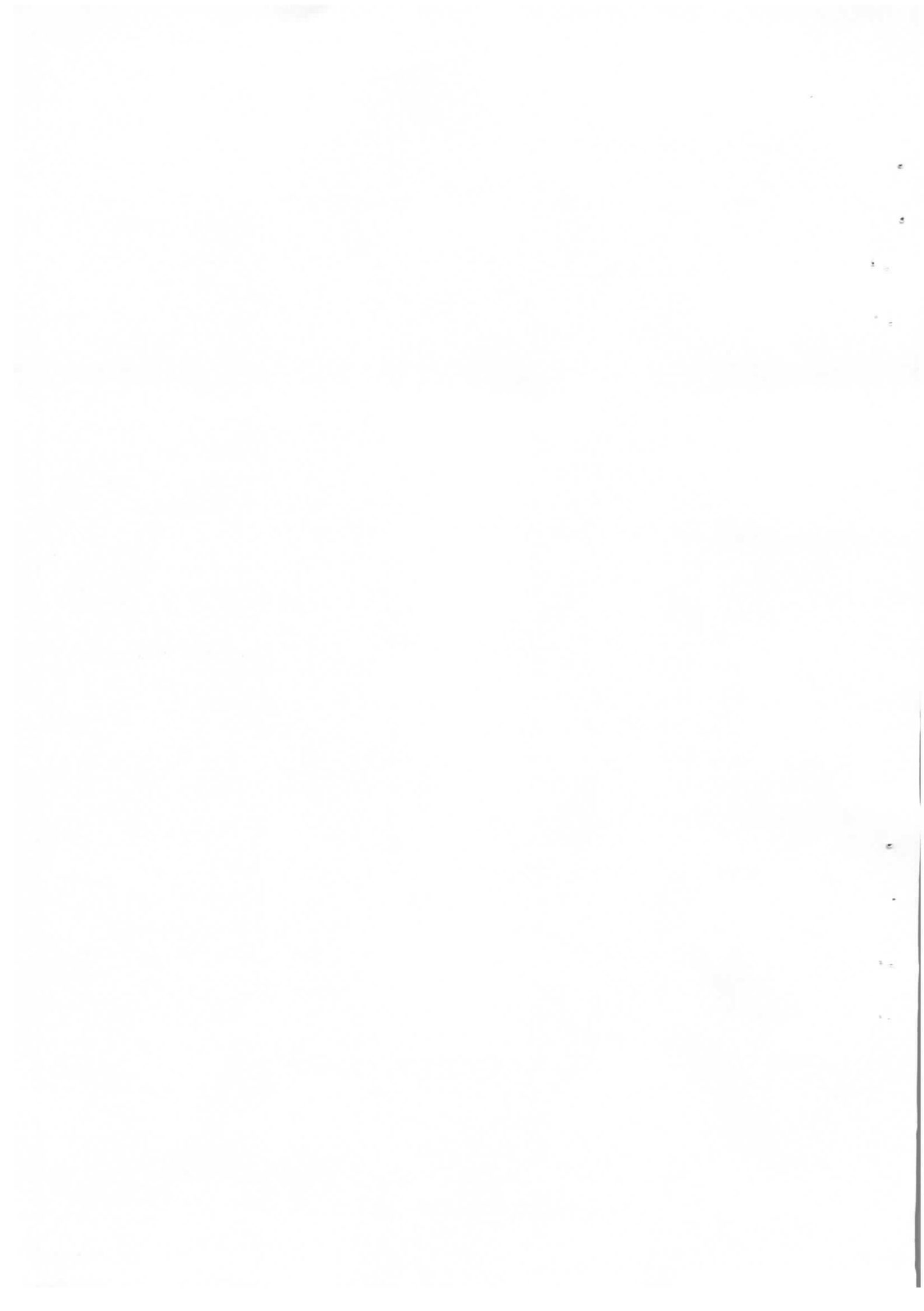
4.1 Strahlführung und -messung

Die vorgesehenen Wege des Strahltransports sind in den Abbildungen 2 und 3 gestrichelt eingezeichnet. Eine in dem Verbindungsraum (3) aufgestellte Strahlweiche (4) lenkt je nach der Stärke ihres Magnetfeldes den Strahl des Linearbeschleunigers entweder in den Verbindungskanal (7) zum Synchrotron oder in den Meßraum (5). In beiden Fällen erfolgt die Ablenkung durch ein dispersionsfreies Ablenkensystem, welches jeweils außer der Weiche einen zweiten Ablenkmagneten und eine Quadrupolkombination enthält.

Zur Messung oder Begrenzung des Energiespektrums werden an den Stellen großer Energieauflösung, d.i. zwischen Weiche und dem jeweils darauffolgenden zweiten Ablenkmagneten, verstellbare Blenden in die Vakuumkammer eingebaut. Zur Messung der Strahlemittanz im Anschluß an die Energieselektion dient der Meßraum (5), dessen Länge zweckentsprechend gewählt wurde. Die Emittanzmessung erfolgt mit Hilfe von Quadrupolen und Ablenkkfeld.

Der zum Synchrotron führende Strahlenkanal enthält außer dem Vakuumrohr eine Quadrupolkombination sowie die erforderlichen Strahlmeßelektroden, Ablenkspulen und Abschirmungen zur Eliminierung des Erdfeldeinflusses. Am Ende des Strahlanganges befindet sich eine magnetische Weiche, welche es ermöglicht, im Bedarfsfalle den Positronenstrahl auch in entgegengesetzter Richtung in das Synchrotron einzulenken.

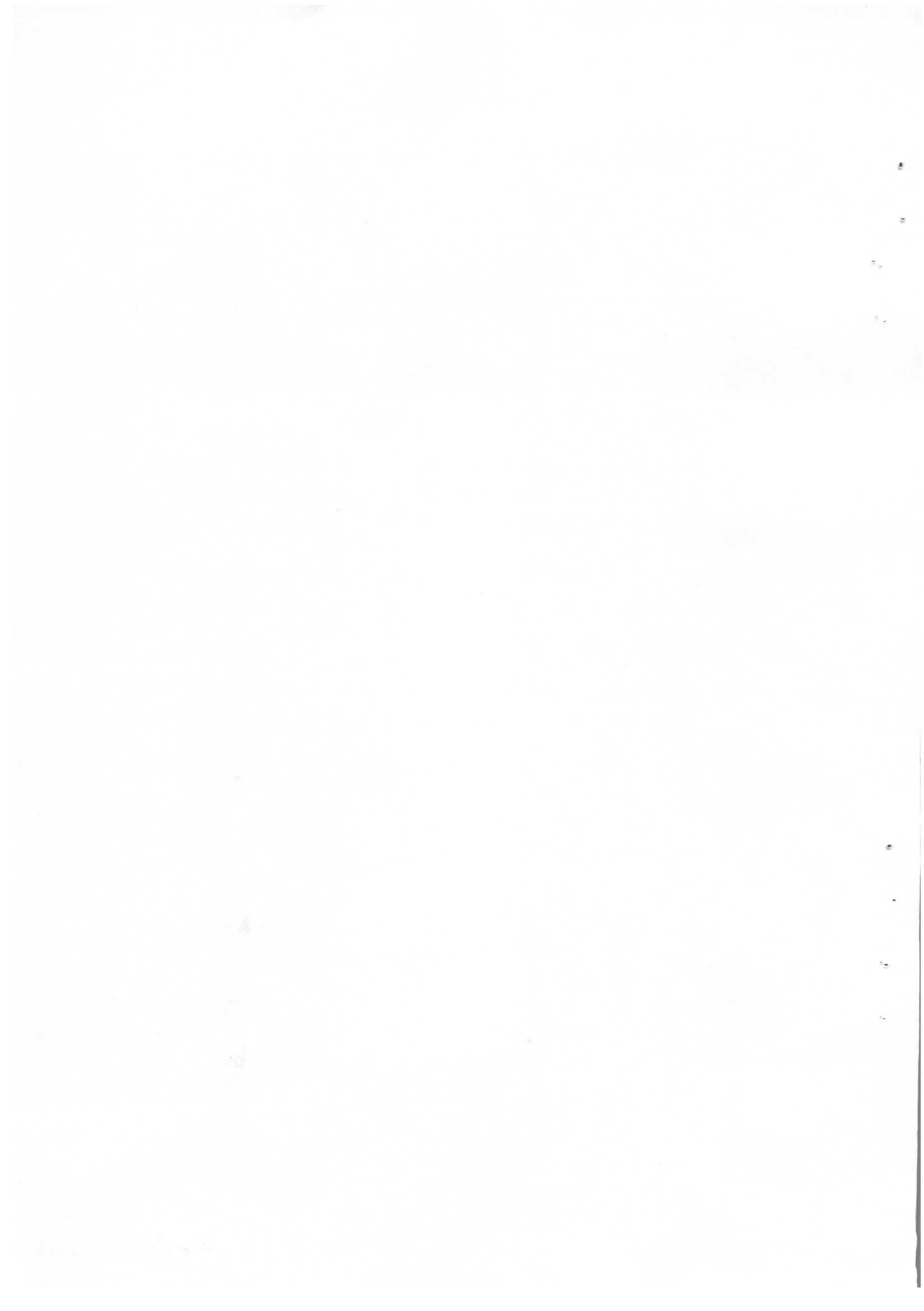
Die bauseitig vorhandene Lücke zwischen dem bereits existierenden Gebäude des 40 MeV-Injektors und dem Strahlungsbeobachtungsbunker des Synchrotrons beträgt 4,80 m und dürfte somit kaum Schwierigkeiten bezüglich der Strahldurchführung zu der gewünschten Injektionsstelle bereiten.



4.2 Inflektoranordnung

Der gepulste Inflektormagnet wird als "full apertur"-Kicker ausgeführt, einer Anordnung aus zwei ferritbeladenen koaxialen Leitungen (s. Abb. 5), welche vom Strom antiparallel durchflossen werden. Die Vakuumkammer wird im ferritfreien Raum zwischen den Innenleitern installiert. Zur Pulserzeugung dienen an die Impedanz des Magneten angepasste Laufzeitketten, welche von einem Hochspannungsnetzgerät aufgeladen und mittels getriggelter Funkenstrecken über das Magnetsystem entladen werden. Das Magnetsystem wird mit wassergekühlten Absorbern reflexionsfrei abgeschlossen. Werden alle Teile der Anordnung koaxial mit geerdetem Außenleiter ausgeführt, so hat diese den Vorteil minimaler Störstrahlung.

Für den Einbau des Inflektors ist das gerade Stück 45 des Synchrotrons vorgesehen; der Einlenkwinkel beträgt ca. $2,5^\circ$. Bei einer Eingangsimpedanz des Magneten vom 40 Ohm und einer Länge des Magnetfeldes von 170 cm ist ein Pulsstrom von 1600 Ampère für die Dauer einer Mikrosekunde erforderlich. Die mittlere Inflektorleistung beträgt 5 KW.



5. Kostenschätzung

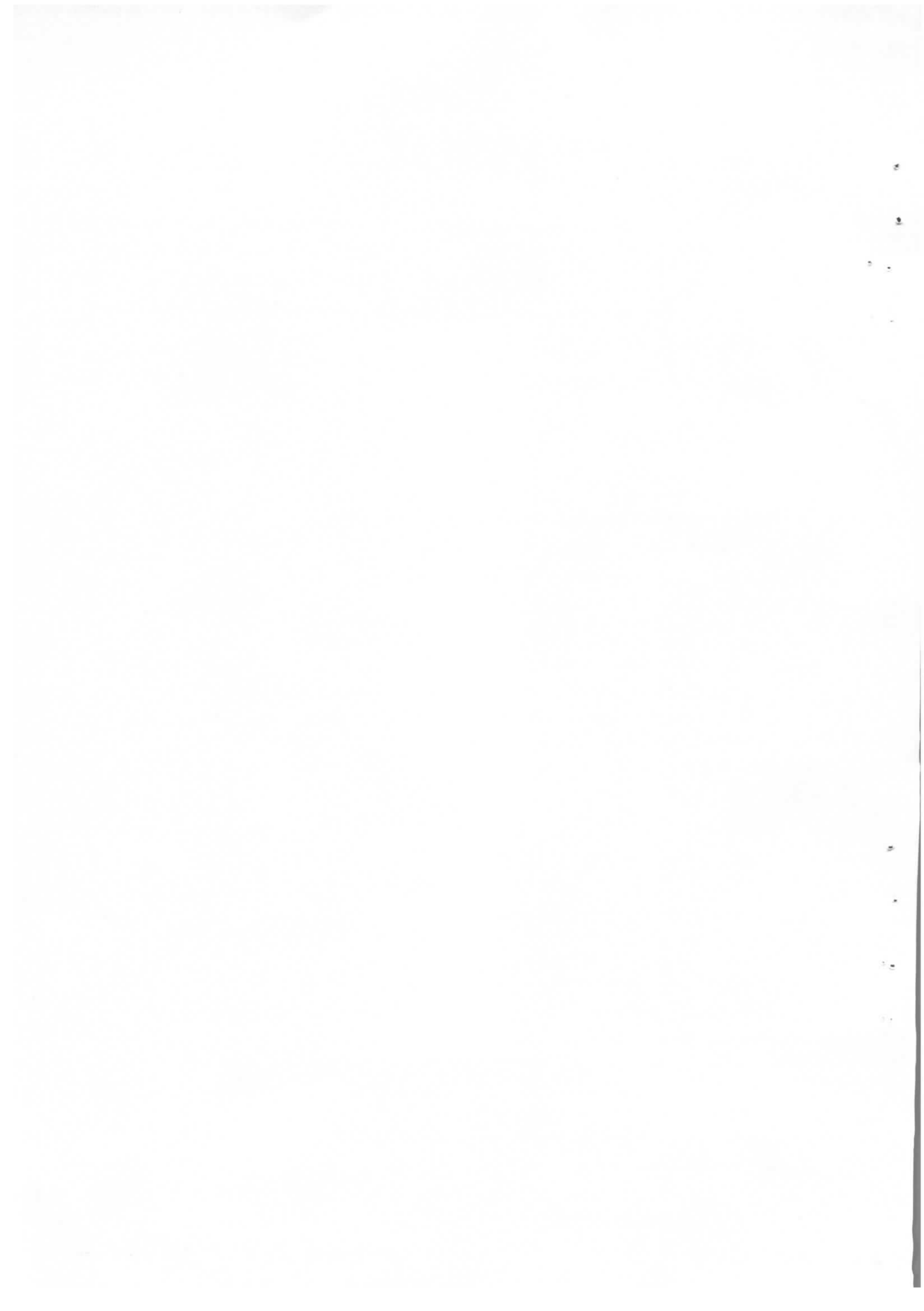
Der folgenden Kostenabschätzung ist das gegenwärtige Preisniveau zugrundegelegt. Durch Informationen bei Herstellerfirmen und durch Vergleich mit bereits ausgeführten Anlagen wurden die voraussichtlichen Kosten der einzelnen Positionen wie folgt ermittelt:

5.1 Gebäude mit Energieversorgung

Erdarbeiten, ca. 15000 m ³	0,1 Mill. DM
Linearbeschleunigertunnel mit Meßraum	0,6 " "
Klystrongalerie mit Kontrollzentrum	1,3 " "
Strahlführungskanal zum Synchrotron 100 m x 2 m x 2,5 m	0,3 " "
Zusätzliche Maßnahmen zur Strahlungs- abschirmung (Blei- u. Betonabschirmungen, Strahlenschutzstore)	0,3 " "
Erschließung und Außenanlagen	0,5 " "
Zusätzliche Kosten für Energiever- sorgung und Kühlung	0,4 " "
	<hr/>
zusammen	3,5 Mill. DM

5.2 Linearbeschleuniger

20 Beschleunigungsstrecken à 3 m einschl. Evakuierungssystem	2,6 Mill. DM
10 Klystronverstärker, Erstbestückung + 10 Reserveröhren	1,4 " "
10 Pulsmodulatoren 65 MW/10 KW	2,8 " "
Hohlleiterverbindungen	0,3 " "
Elektronenkanone mit Zubehör	0,2 " "
Positronenkonverter und Fokussierung einschl. Stromversorgung	0,7 " "
Kühlwasserkreis mit Temperaturregelung	0,4 " "
Kabel- und Kontrolleinrichtungen	0,8 " "
Strahl- u. Meßeinrichtungen	0,5 " "
Montage der Anlage	0,3 " "
	<hr/>
zusammen	10,0 Mill. DM

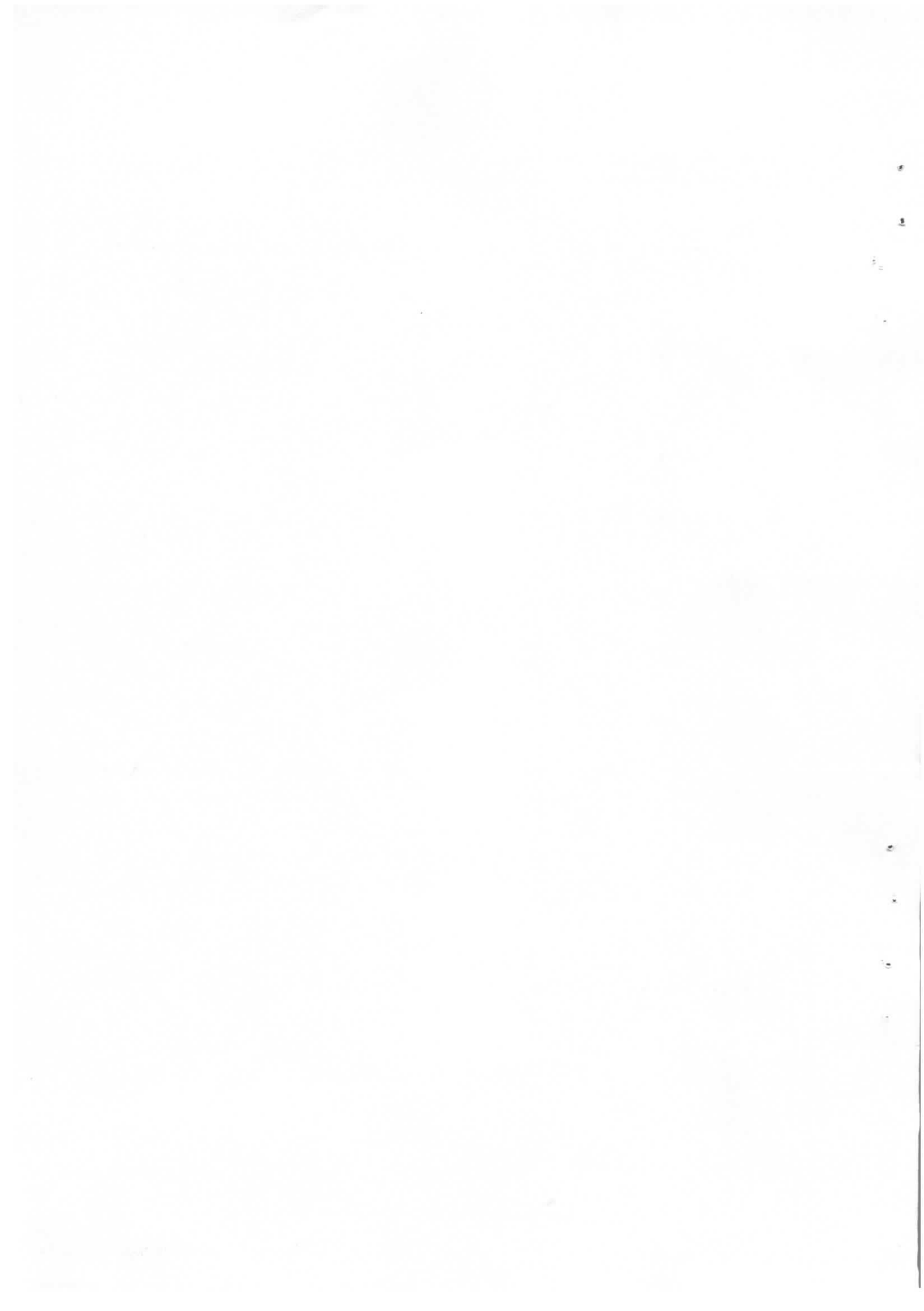


5.3 Strahlführung und Injektion

Ablenkmagnete und Quadrupole einschl. Stromversorgung und Kühlung	0,7 Mill. DM
Inflektor einschl. Stromversorgung	0,4 " "
Vakuumrohr mit Evakuierungseinrichtung	0,3 " "
Montagearbeiten	0,1 " "
	<hr/>
zusammen	1,5 Mill. DM

Gesamtkosten 5.1 bis 5.3 :

15,0 Mill. DM
=====



Zeitplan und Personalbedarf

Es erscheint wünschenswert und bei gesicherter Finanzierung möglich, den Bau und die Inbetriebnahme des Linearbeschleunigers nach folgendem groben Zeitplan abzuwickeln:

- | | |
|--|-------------------------|
| 1) Detaillierte Gebäudeplanung, Spezifikation des Linearbeschleunigers | Herbst 65 - Frühjahr 66 |
| 2) Auftragsvergabe für Gebäude und Linearbeschleuniger | Frühjahr 66 |
| 3) Fertigstellung des Beschleunigertunnels, der Klystrongalerie und des Kontrollzentrums | Sommer/Herbst 67 |
| 4) Beginn der Montage des Linearbeschleunigers | Herbst/Winter 67 |
| 5) Funktionsprüfung des Linearbeschleunigers, in sich | Frühjahr 68 |
| 6) Montage und Inbetriebnahme der Strahlführung zum Synchrotron | Frühjahr/Sommer 68 |

Das Projekt würde somit, vom heutigen Zeitpunkt ab gerechnet, eine Gesamtzeit von etwa 3 Jahren in Anspruch nehmen.

Von dem DESY-Personal würden für diesen Zeitraum etwa

- 3 Diplom-Physiker bzw. Diplom-Ingenieure,
- 4-5 Fachschulingenieure und
- 12 Techniker

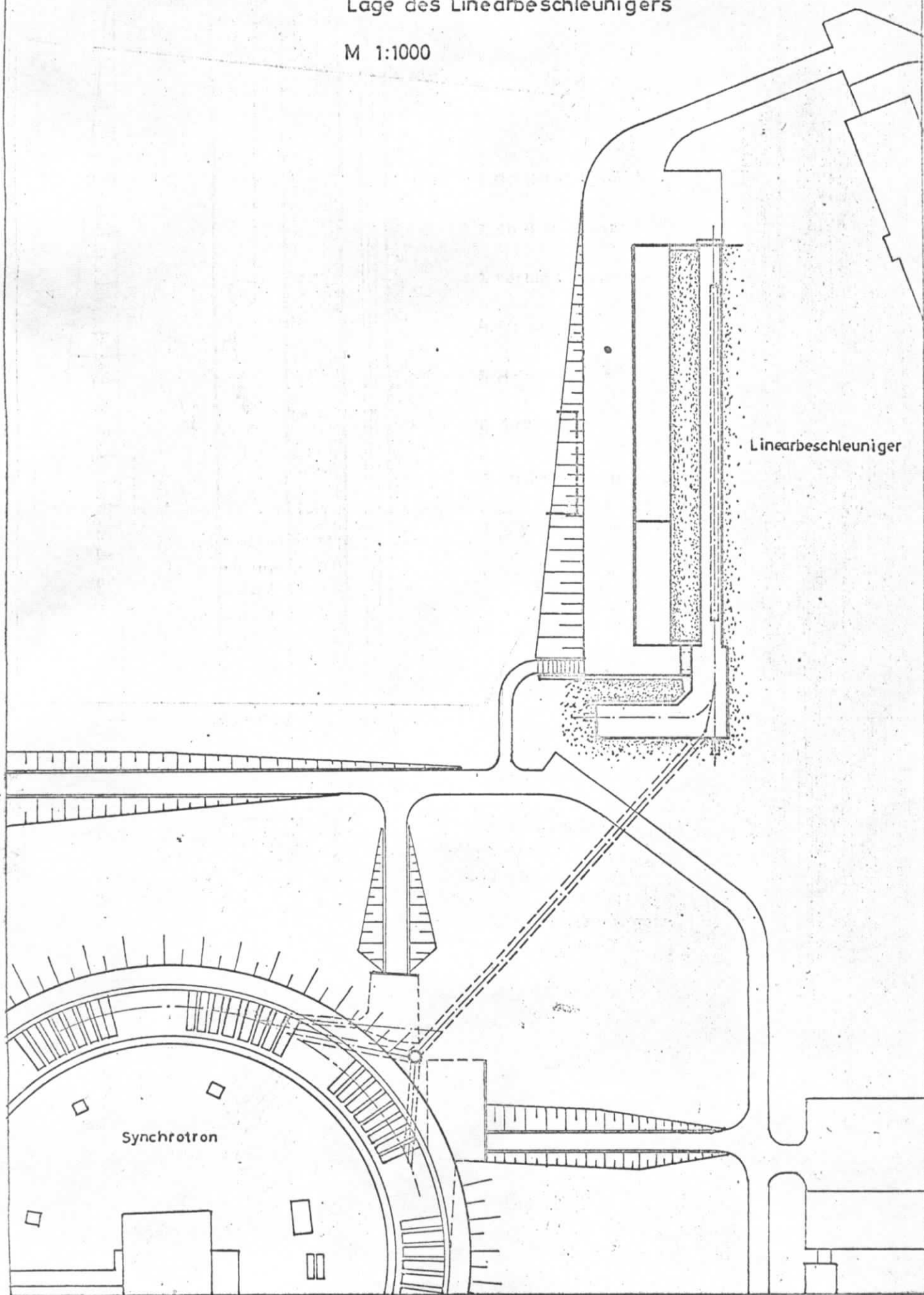
an das Projekt gebunden sein.



Abb. 2:

Lage des Linearbeschleunigers

M 1:1000



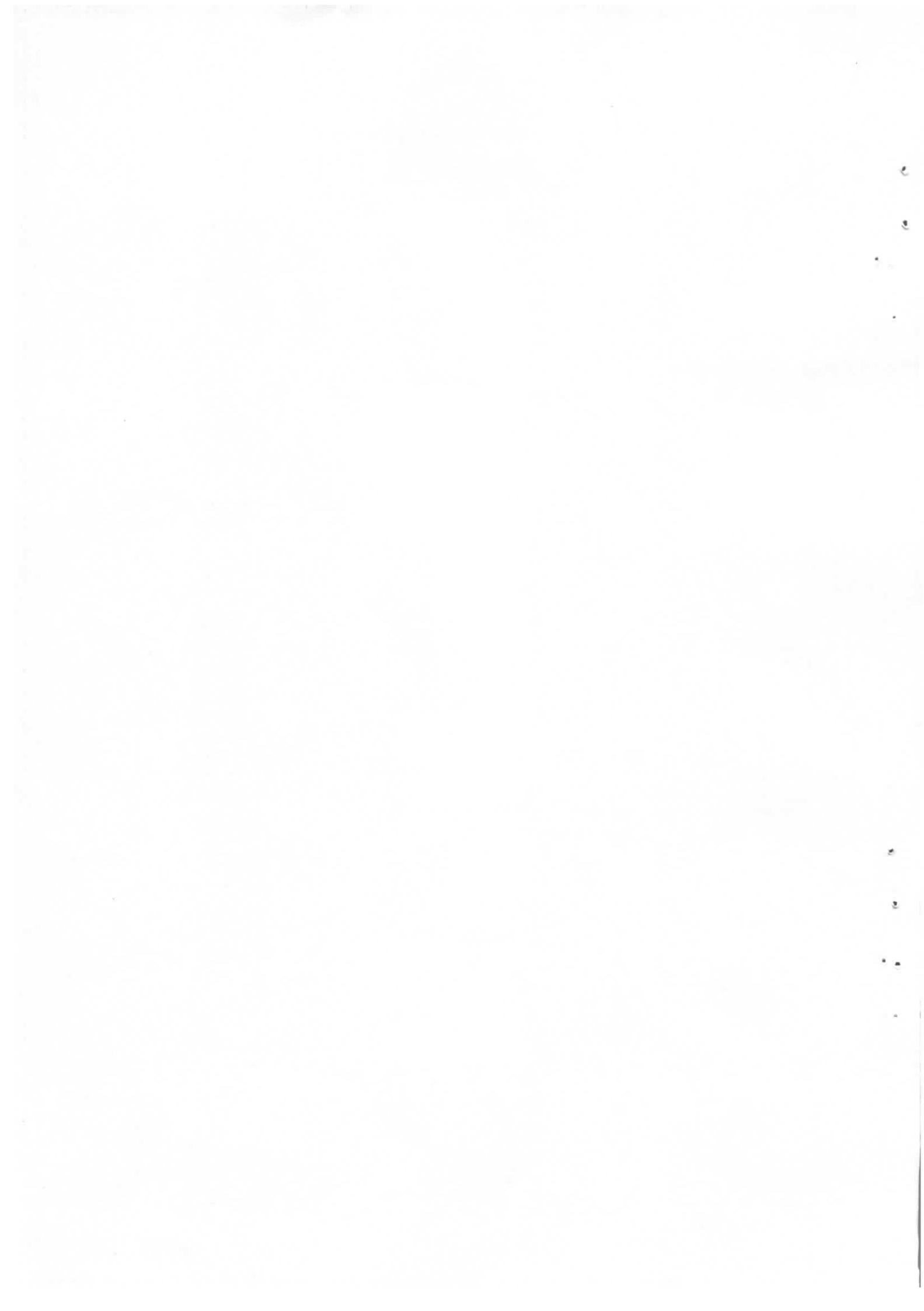
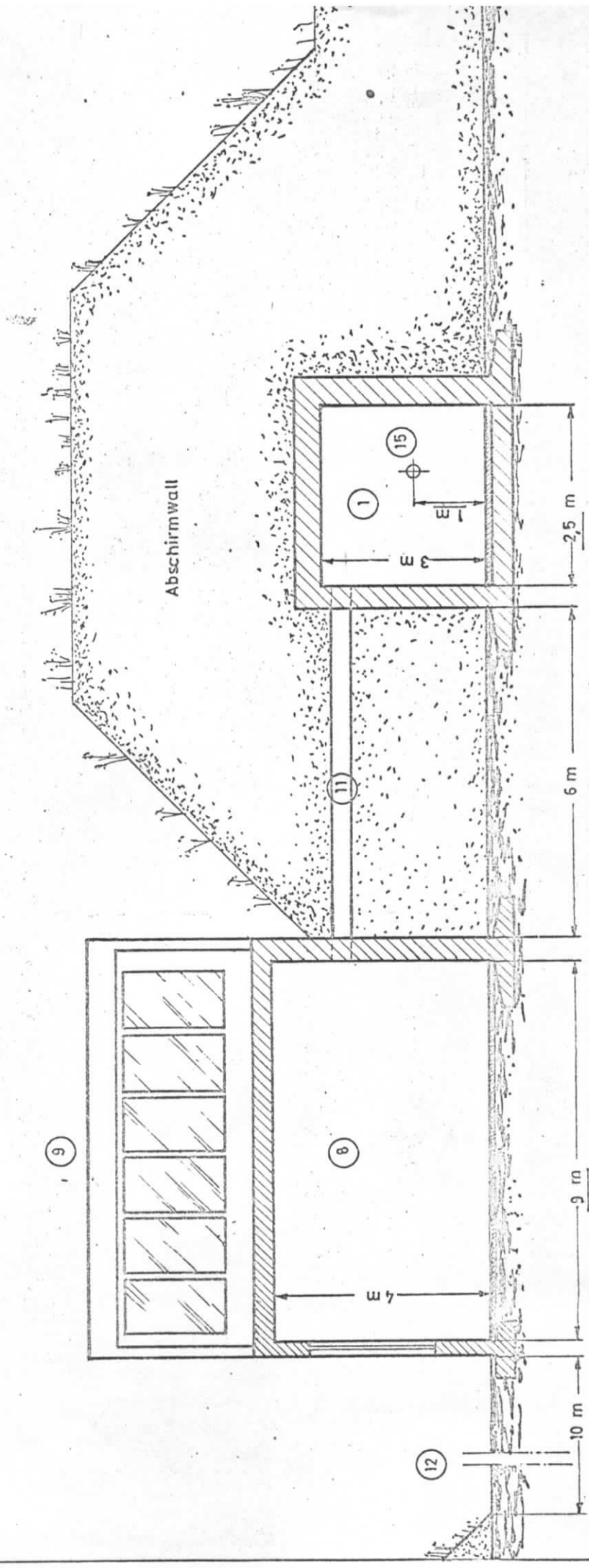
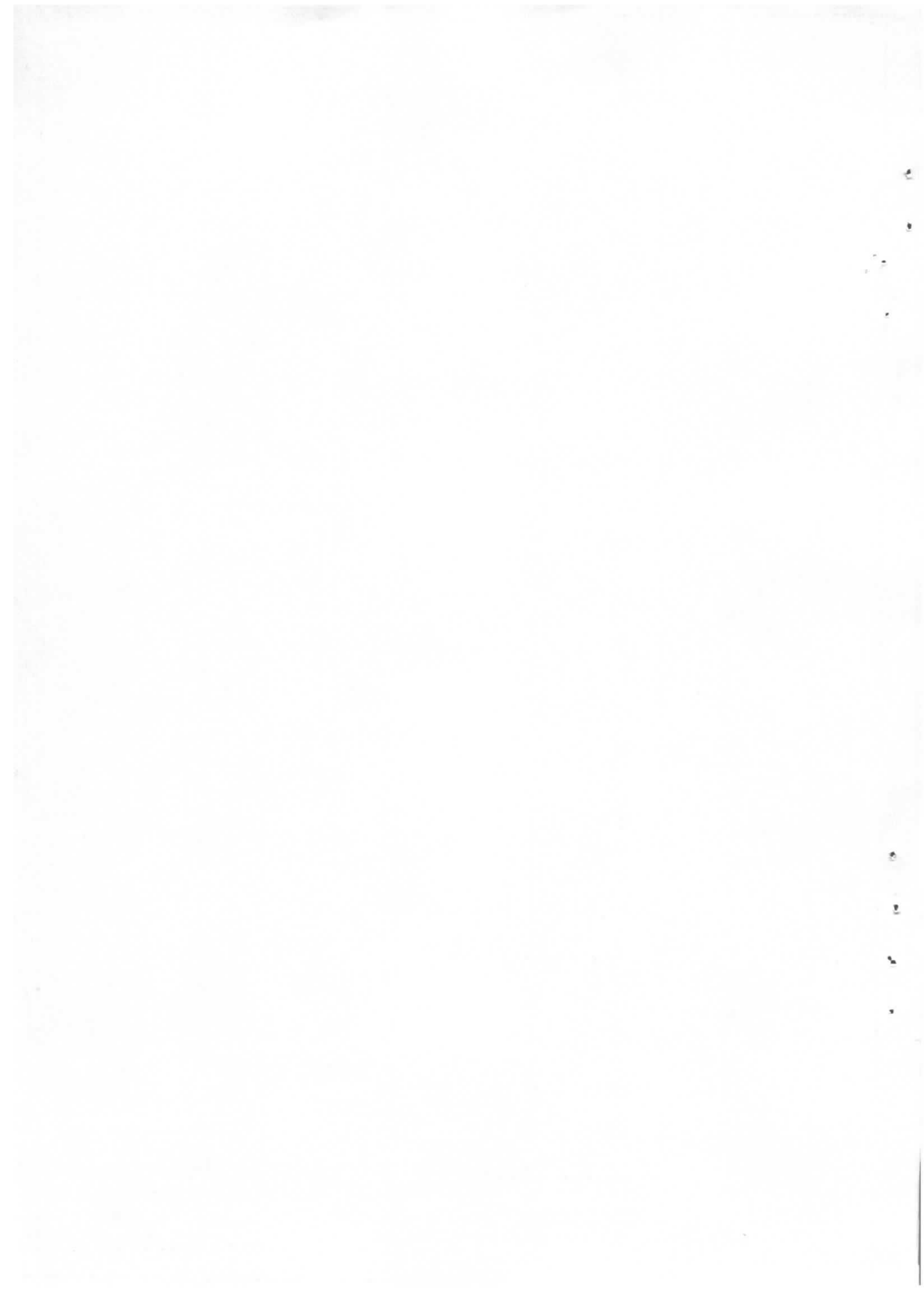


Abb. 4
 Querschnitt des Linearbeschleunigers
 M 1:100



Erläuterungen siehe Abb. 3



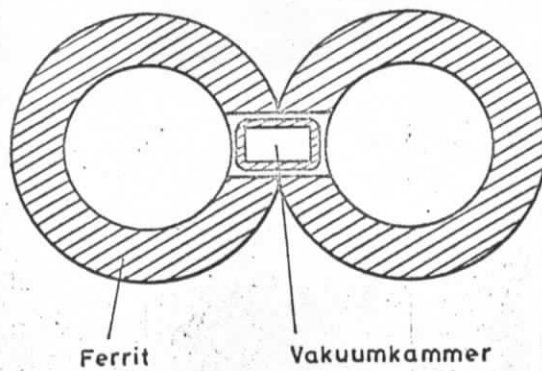


Abb. 5a:
Gepulster Inflektor (Schnitt)

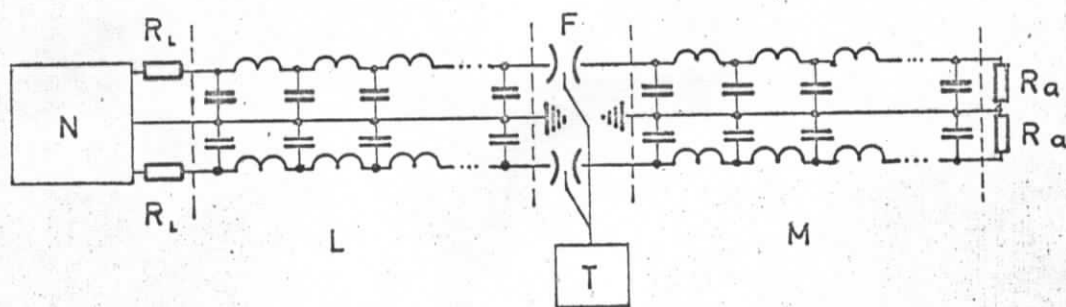


Abb. 5b:
Inflektoranordnung (Ersatzschaltbild)

N – Hochspannungsnetzgerät

R_L – Ladewiderstand

L – Laufzeitkette

F – Funkenstrecke

T – Triggersignal für Funkenstrecke

M – gepulster Inflektor

R_a – Abschlußwiderstand

