

Interner Bericht
DESY H-73/6
Juni 1973

DESY-Bibliothek
22. FEB. 1974

Überlegungen zur Speicherringinjektion

bei Energien bis zu 4 bis 5 GeV

von

H.Gerke, G.Mülhaupt, M.Sommerfeld, K.Steffen, H.Wümpelmann

gleichlautend mit Technischer Notiz H-3

1950

1951

1952

1953

1954

H. Gerke
G. Mülhaupt
M. Sommerfeld
K. Steffen
H. Wümpelmann

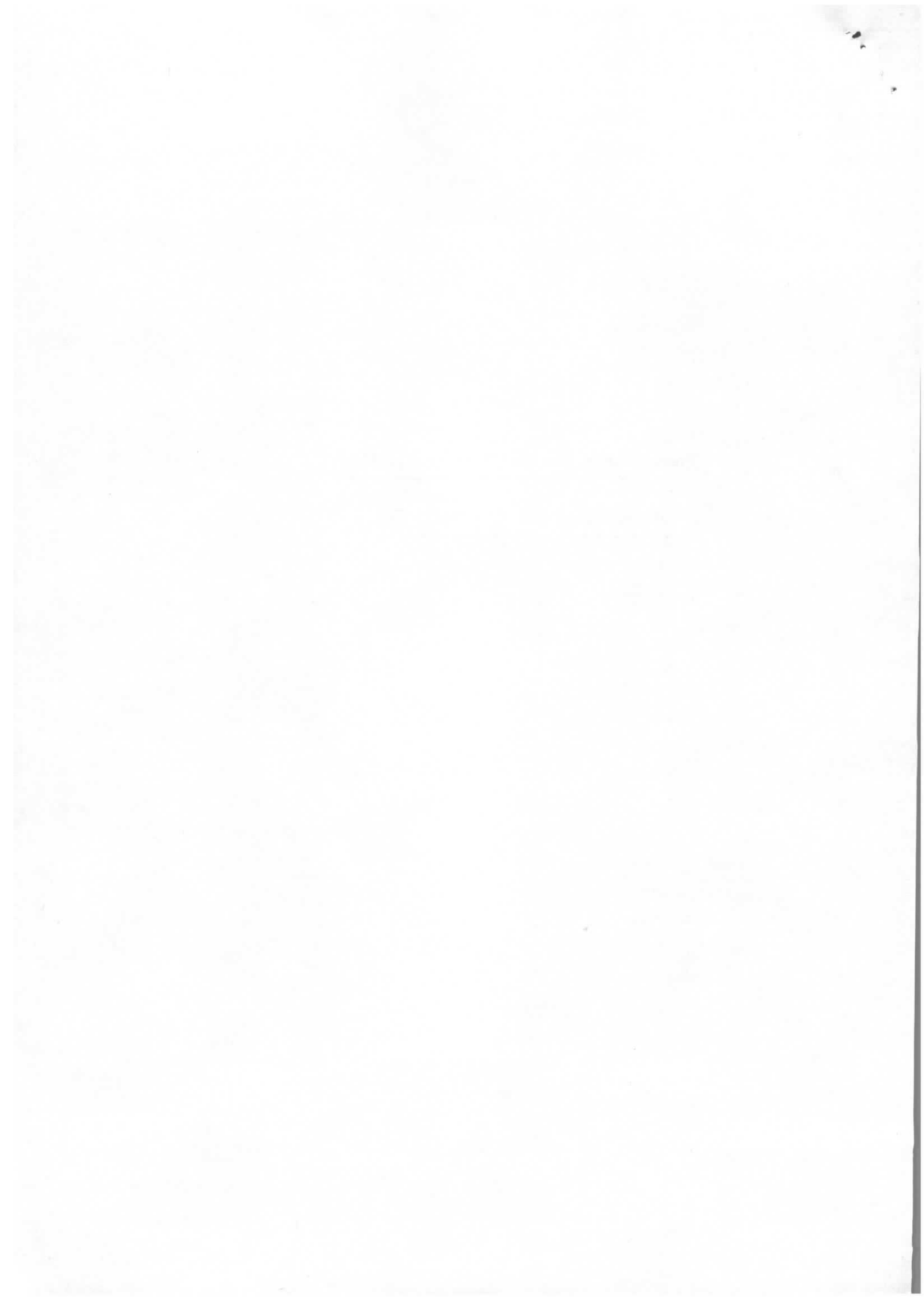
20. Juni 1973

T e c h n i s c h e N o t i z

H - 3

Überlegungen zur Speicherringinjektion

bei Energien bis zu 4 bis 5 GeV



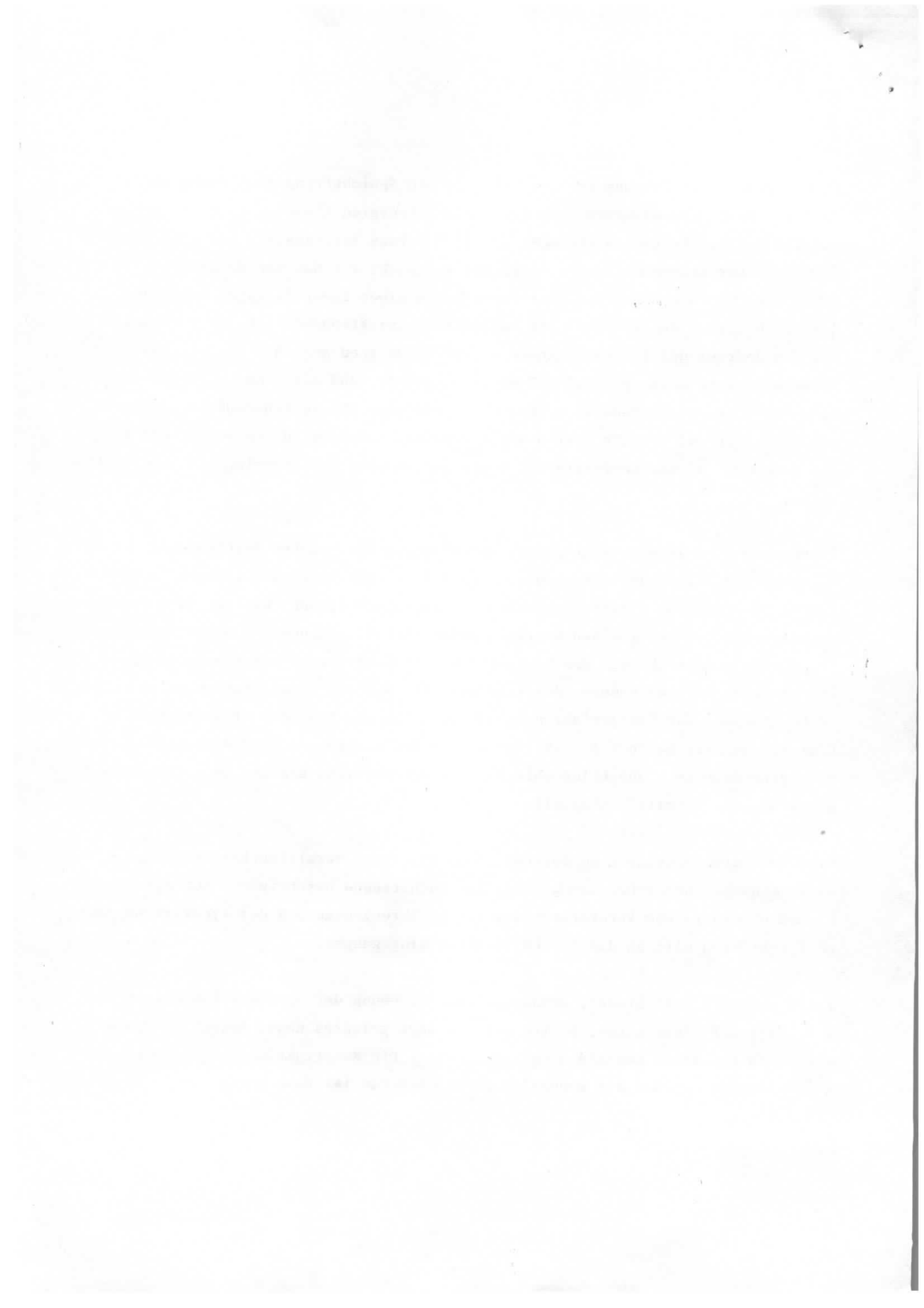
Einleitung

Die ursprüngliche Planung der Injektion in den Speicherring ging davon aus, daß Speicherringexperimente auch bei kleinen Energien (> 500 MeV) wichtig sind und daß das Synchrotron nicht mehr als 10 % seiner Betriebszeit als Speicherring-Injektor betrieben werden soll. Mit Rücksicht auf das voraussichtlich schwierige Einfahren des Speicherringes bei kleinen Energien wurde daher der direkte Einschub vom Linac II als zusätzliche Injektionsmöglichkeit vorbereitet und die Apertur der Einschubmagnete entsprechend groß gemacht. Die maximale Einschubenergie wurde mit 2.2 GeV so groß gewählt, daß mit einer Wiederholungsrate von 50 Hz eingeschossen werden kann. Auf eine höhere Einschubenergie wurde mit Rücksicht auf erhöhte Kosten und technische Schwierigkeiten verzichtet in der Annahme, daß das Energiefahren - wie bei anderen Speicherringen - beherrscht wird.

Inzwischen sind neue Gesichtspunkte aufgetreten, die - unter Beschneidung der direkten Injektionsmöglichkeiten vom Linac II - eine Injektion bis zur Maximalenergie des Speicherringes wünschenswert erscheinen lassen: Erstens wird Speicherringexperimenten bei kleinen Energien keine besondere Bedeutung mehr zugemessen, so daß wir vielleicht auf das Einfahren des Speicherringes bei diesen Energien überhaupt verzichten können. Zweitens kann für den ins Auge gefaßten gespeicherten Protonenstrahl das Energiefahren schwierig sein, und drittens ergab sich in Diskussionen mit Herrn G.A. Voß, der Anstoß und Anregungen zu dieser Untersuchung gab, eine neue Betriebsphilosophie für das Synchrotron, die den Speicherring mit einer höheren Priorität einstuft.

Eine Injektionsanordnung am Speicherring, die - bei verkleinerter Akzeptanz - einen Einschub bei 4 GeV ermöglicht, ist nachstehend beschrieben. Auf die darüber hinaus erforderliche Verstärkung der Strahlführungswege und der Ejektionsmagnete am Synchrotron wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

Falls man sich entschließt, demnächst eine Erhöhung der Speicherringenergie auf 4.5 bis 5 GeV einzuleiten, sollte ein ins Auge gefaßtes neues Injektionssystem ebenfalls für diese Energie ausgelegt werden. Die Konstruktion der beschriebenen Injektionsmagnete und des gepulsten Septummagneten ist dann entsprechend zu modifizieren.



Prinzip

Die Einschubanordnung unterscheidet sich im Prinzip nicht von der bisherigen. Durch einen Gleichstrom-Injektionsmagneten, der dann praktisch das gesamte Injektionsstück von 4 m Länge ausfüllt und aus zwei Einheiten IM1, IM2 aufgebaut ist, wird der einzuschießende Strahl dicht und fast parallel an den gespeicherten Strahl herangeführt. Den restlichen Kick (4.2 mrad) besorgt ein gepulster Septummagnet, der dann ca. 3.20 m strahlabwärts zwischen dem dritten Quadrupol (DQ 376) und dem ersten Ablenkmagneten (DM 362) untergebracht ist. Die closed-orbit-Beule, mit der der gespeicherte Strahl während des Einschusses an das sehr dünne (1 mm) Septum herangeschoben wird, wird mit den vorhandenen Ferritkickern erzeugt und ist daher in ihrer Amplitude um den Faktor $\frac{2.2 \text{ GeV}}{4 \text{ GeV}}$ reduziert. Darüber hinaus wird die Wirkung der Beule noch dadurch verkleinert, daß der gepulste Septummagnet dann nicht mehr an der Stelle ihres Maximums liegt.

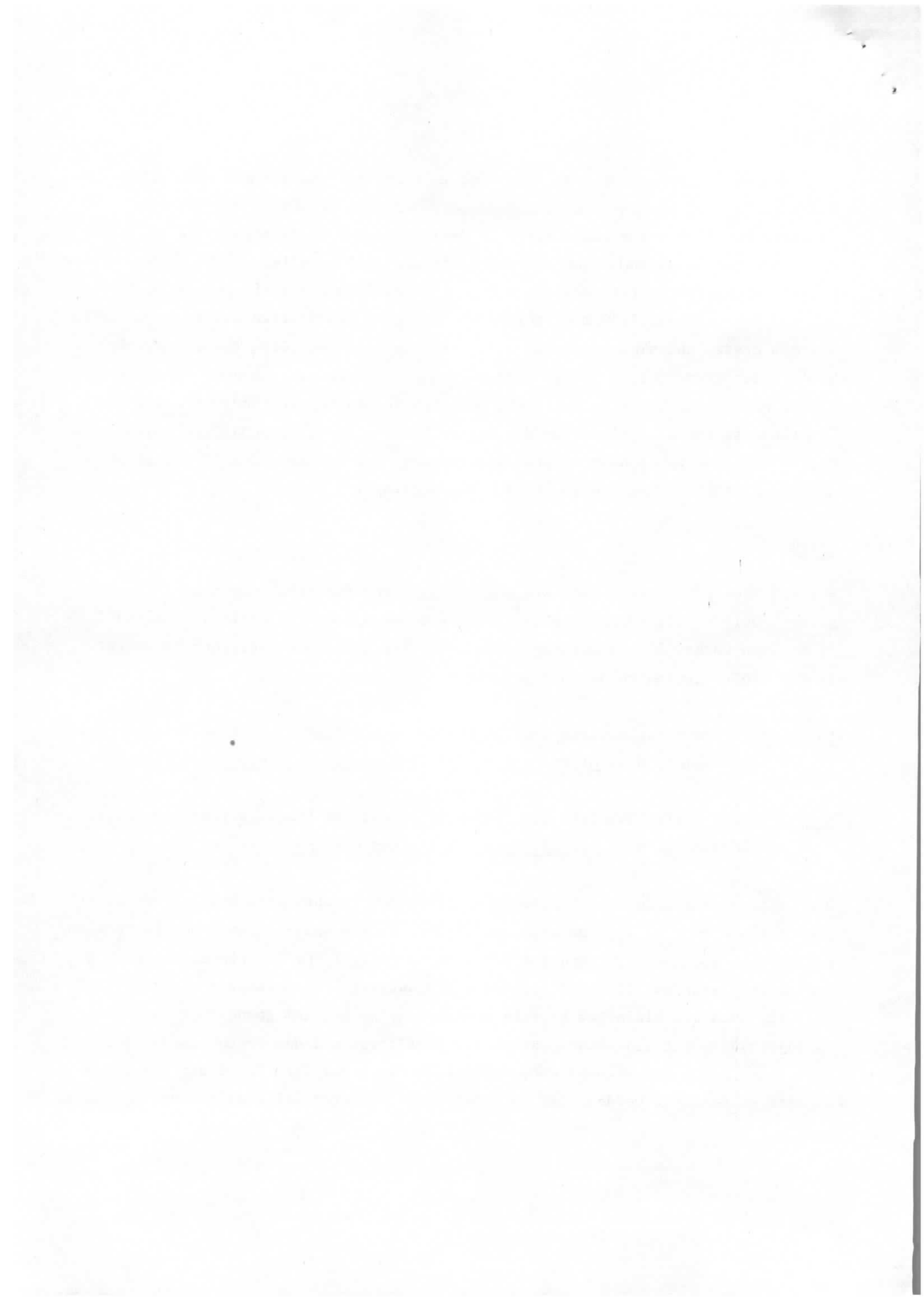
Optik

Für den Speicherring ist hier die sog. "Injektionsoptik III" vom Nov. 72 zugrunde gelegt, bei der allerdings die horizontale Enveloppe am "Injektionspunkt" auf 45 mm (von vorher 50 mm) zurückgenommen ist. Wir geben die optischen Parameter an für die folgenden beiden Bezugspunkte:

Punkt 1: 1.77 m strahlabwärts vom "Injektionspunkt" am Eingangsflansch der ersten DQ-Kammer, d.h. hinter den beiden Gleichstrom-Injektionsmagneten.

Punkt 2: 5.15 m strahlabwärts vom "Injektionspunkt" am Eingangsflansch der ersten DM-Kammer, d.h. hinter dem gepulsten Septummagneten.

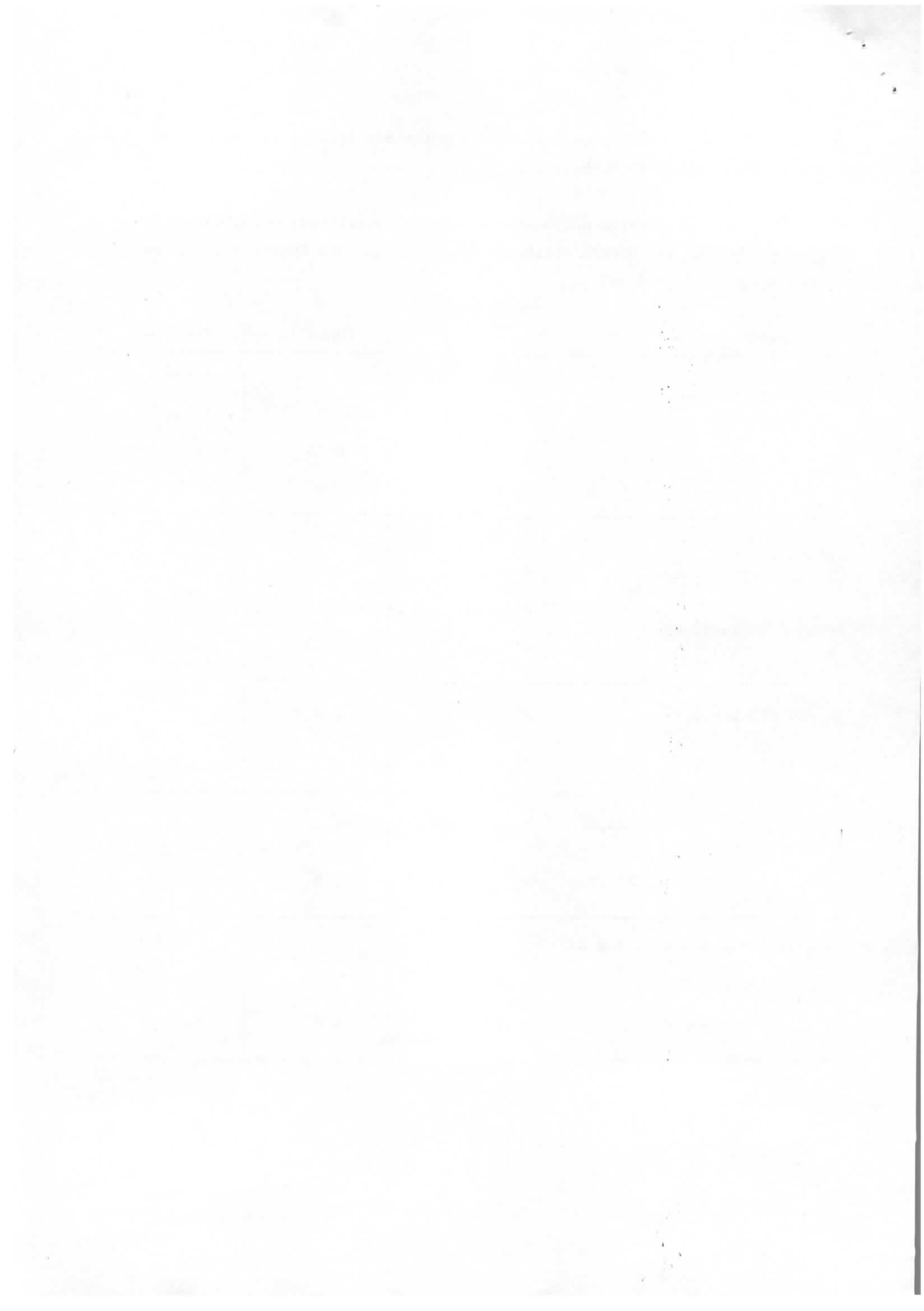
Die Emittanzen des aus dem Synchrotron injizierten Strahls sind bei 2.2 GeV nicht größer als $\epsilon_x = \epsilon_z = 1.5\pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$ und sind in dieser Größe angenommen. Für diesen Fall reicht die Aperturbreite von $\pm 7.5 \text{ mm}$ am Punkt 1 für den eingeschossenen Strahl gerade aus, wenn man die in Fig.1 und Fig.3 dargestellte Geometrie zugrunde legt. Will man auch bei kleinerer Energie injizieren, so muß dem gespeicherten Strahl am Injektionspunkt eine stationäre Beule überlagert und das Septum entsprechend nach innen geschoben werden; dazu muß die in Fig.3 gezeigte Anordnung der Injektionsmagnete so geändert werden, daß am Punkt 1 ein längerer Faltenbalg eingefügt wird,



der diese Querverschiebung zuläßt. Außerdem ist die Apertur der Injektionsmagnete entsprechend zu verbreitern.

Bevor ein Injektionssystem der beschriebenen Art realisiert wird, muß es auch abgestimmt werden auf andere optischen Einstellungen des Speicherrings, mit denen gerechnet werden muß.

Bezugspunkt		Punkt 1	Punkt 2
Amplitudenfunktion	β_x (m)	25.4	11.50
	β_z (m)	28.6	18.81
$\alpha = -\frac{1}{2} \beta'$	α_x	0.04	- 0.66
	α_z	0.03	- 4.63
Envelope	E_x (mm)	45.1	30.33
	E_z (mm)	15.1	12.27
Neigung d. Enveloppe	E'_x (mrad)	- 0.07	1.73
	E'_z (mrad)	- 0.02	3.02
Closed orbit Beule	$x_{cl.o.}$ (mm)	9.0	6.0
Neigung des cl.o.	$x'_{cl.o.}$ (mrad)	0.0	1.2
Injektionsbahn	Lage $x_{inj.o.}$ (mm)	64.5	27.5
	Neigung $x'_{inj.o.}$ (mrad)	2.3	1.8
Injizierter Strahl (b. 2.2 GeV)			
halbe Strahlbreite	b (mm)	5.6	2.6
" Strahlhöhe	h (mm)	6.0	4.0



Gleichstrom-Injektionsmagnete

Die Magnete vom Typ IM1 und IM2 sind mit ihren technischen Daten in der beigefügten Zeichnung Fig. 3 dargestellt.

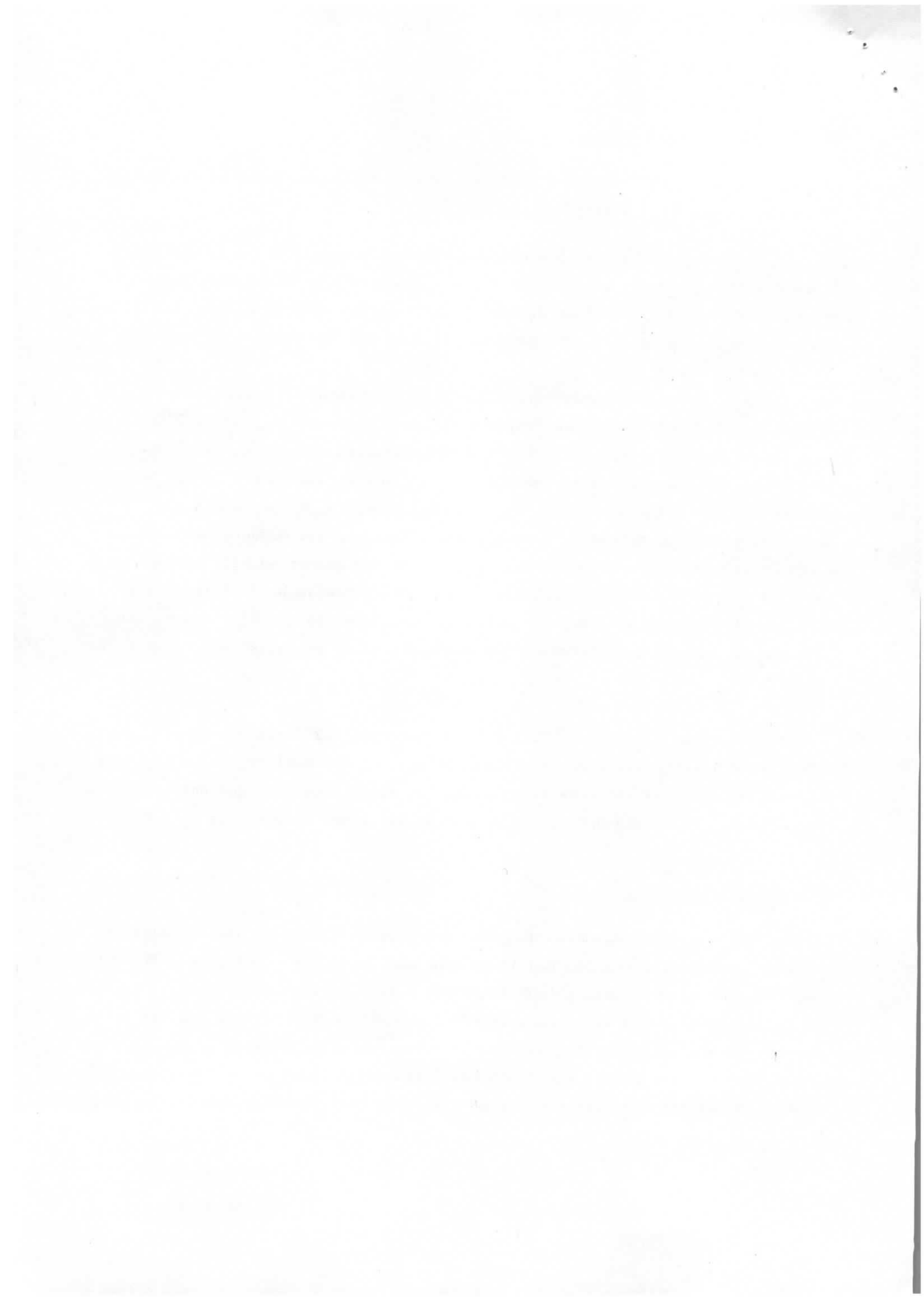
Es sind in Serie geschaltete Gleichstrommagnete aus massivem Eisen, die bei 4 GeV mit 4525 A erregt werden. IM1 hat die doppelte magnetische Länge wie IM2 bei doppelter Windungszahl, so daß das Verhältnis der Ablenkkraft 4:1 beträgt. Die entsprechenden Ablenkwinkel sind 142,15 mrad für IM1 und 35,525 mrad für IM2.

Die eingezeichneten Vakuumkammern aus 1 mm starkem V2A-Blech können zum Magnetrücken hin noch verbreitert werden, was für Injektionsenergien unter 2 GeV wichtig ist und evtl. auch für die Protoneninjektion, deren Optik noch nicht gerechnet ist. Platz für eine Kammerausheizung mit Isolation ist in der vorgesehenen Apertur nicht vorhanden. Es wird vorgeschlagen, Kammer und Magnet mit Spulen gemeinsam auszuheizen, entweder durch Erregung der Magnetspulen bei ausgeschalteter Kühlung oder durch Stromfluß durch die Kammer selbst. Im zweiten Fall ist zu berücksichtigen, daß die Kammer normalerweise beidseitig geerdet ist. In beiden Fällen muß eine Magnet- und Spulenkonstruktion gewählt werden, die der noch festzulegenden Ausheiztemperatur standhält (z.B. Spulenisolation aus Kaptonfolie).

Die Strombelastung im kleinen Leiter des Magnettyps IM2 liegt mit $65\text{A}/\text{mm}^2$ sehr hoch. Jeder Leiter wird einen Kühlkreis bilden. Da die Kühlänge sehr kurz ist, ist der benötigte Wasserdruck sehr klein. Die endgültigen Kühlquerschnitte sind noch festzulegen, insbesondere mit Rücksicht auf einen Betrieb bis zu 5 GeV.

Gepulster Septummagnet

Der gepulste Septummagnet kann aufgrund der kleinen Abmessung des injizierten Strahls ein sehr kleines Gap von 15 mm Höhe und 20 mm Breite erhalten. Bei einer Länge von 250 mm und einem Ablenkwinkel von 4 mrad beträgt der Pulsstrom ca. 3 kA. Der Magnet besteht aus einem Ferrit-C-Joch und einem Leitersystem mit einem 1 mm dicken Septumleiter (Fig.4). Das Leitersystem geht in einen koaxialen Anschluß über und ist direkt mit einem koaxialen Impulstransformator verbunden. Der Magnet ist zusammen mit dem Impuls-Transformator gegenüber dem Strahl justierbar.



Da auf eine direkte Kühlung des Septumleiters verzichtet werden muß, darf die Verlustleistung nur sehr gering sein. Zur Pulsung des Magneten wird eine Thyristorschaltung vorgeschlagen, deren prinzipielle Anordnung Fig.5 zeigt.

Der Thyristor Ty 1 wird $10\mu\text{s}$ vor dem Einschub getriggert, nachdem der Kondensator C1 auf die richtige Spannung aufgeladen wurde. Der Kondensator wird über den Impulsübertrager T1, der ein Übersetzungsverhältnis von $ü = 3$ hat, umgeladen und schwingt über die Diode D1 und die Induktivität L2 mit einer viel niedrigeren Frequenz zurück. Dadurch wird erreicht, daß die Verlustleistung im Septum fast ausschließlich von der positiven Stromhalbwelle abhängt. Die Kreisverluste der Schwingung werden dann durch Triggerung des Thyristors Ty 2 von Netz in den Kondensator C1 nachgeliefert. Ist die vorgewählte Spannung an C1 erreicht, wird der Thyristor Ty 3 getriggert, der Thyristor Ty 2 löscht und die Restenergie in der Ladedrossel L3 wird über den $de Q$ ing-Kreis L3, C2, D3 in den Ladekondensator C3 zurückgeliefert.

Zur Vermeidung von zu hohen Verlusten im Septum muß die Impulsfrequenz sehr hoch gewählt werden. Sie ist nur durch die Feldkonstanz während des Einschusses ($1\mu\text{s}$) begrenzt. Es wird hier eine Frequenz von 10 - 13 KHz gewählt, womit das Einschubfeld eine maximale Abweichung von 1 % aufweist.

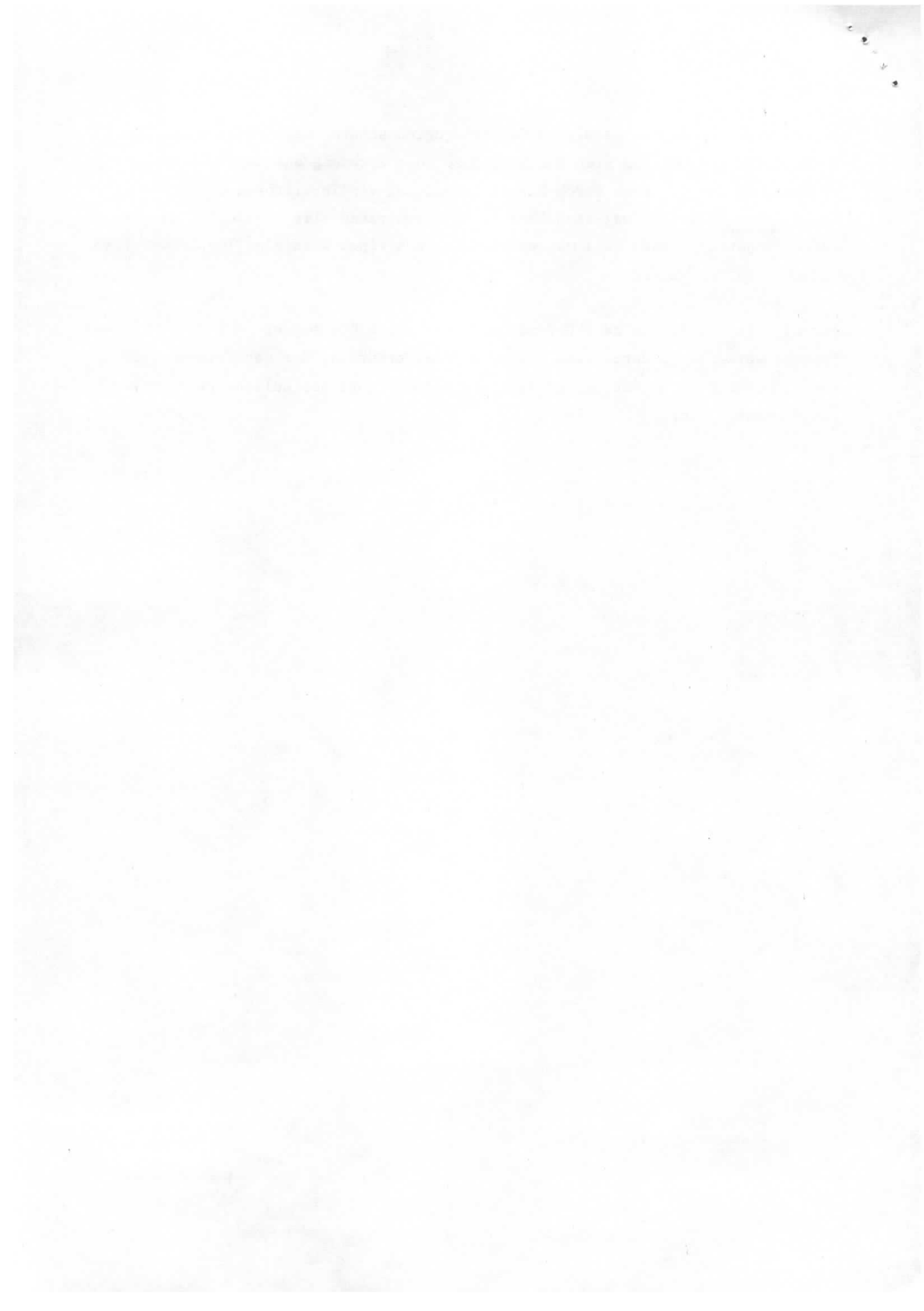
Eine wesentliche Voraussetzung für die Realisierbarkeit dieser Anordnung ist es, daß die Streuinduktivität des Impulstransformators sehr klein gehalten werden kann. Es soll ein koaxialer Impulstransformator mit einer Windung auf der Sekundärseite und 3 homogen verteilten Primärwindungen entwickelt werden, wobei die Isolation zwischen Primär- und Sekundärwicklung so dünn wie möglich sein soll (Kaptonfolie). Bei einer Induktivität des Magneten von $0,4\mu\text{H}$ darf die Streuung des Trafos bezogen auf die Primärseite nicht größer als $5\mu\text{H}$ sein. Unter dieser Voraussetzung ist der Primärspitzenstrom ca. 1 KA, die Spitzenspannung 750 V und der Stromanstieg im Thyristor $di/dt \approx 100 \text{ A}/\mu\text{s}$. Diese Werte sind mit modernen Thyristoren für Hochfrequenzanwendung realisierbar.

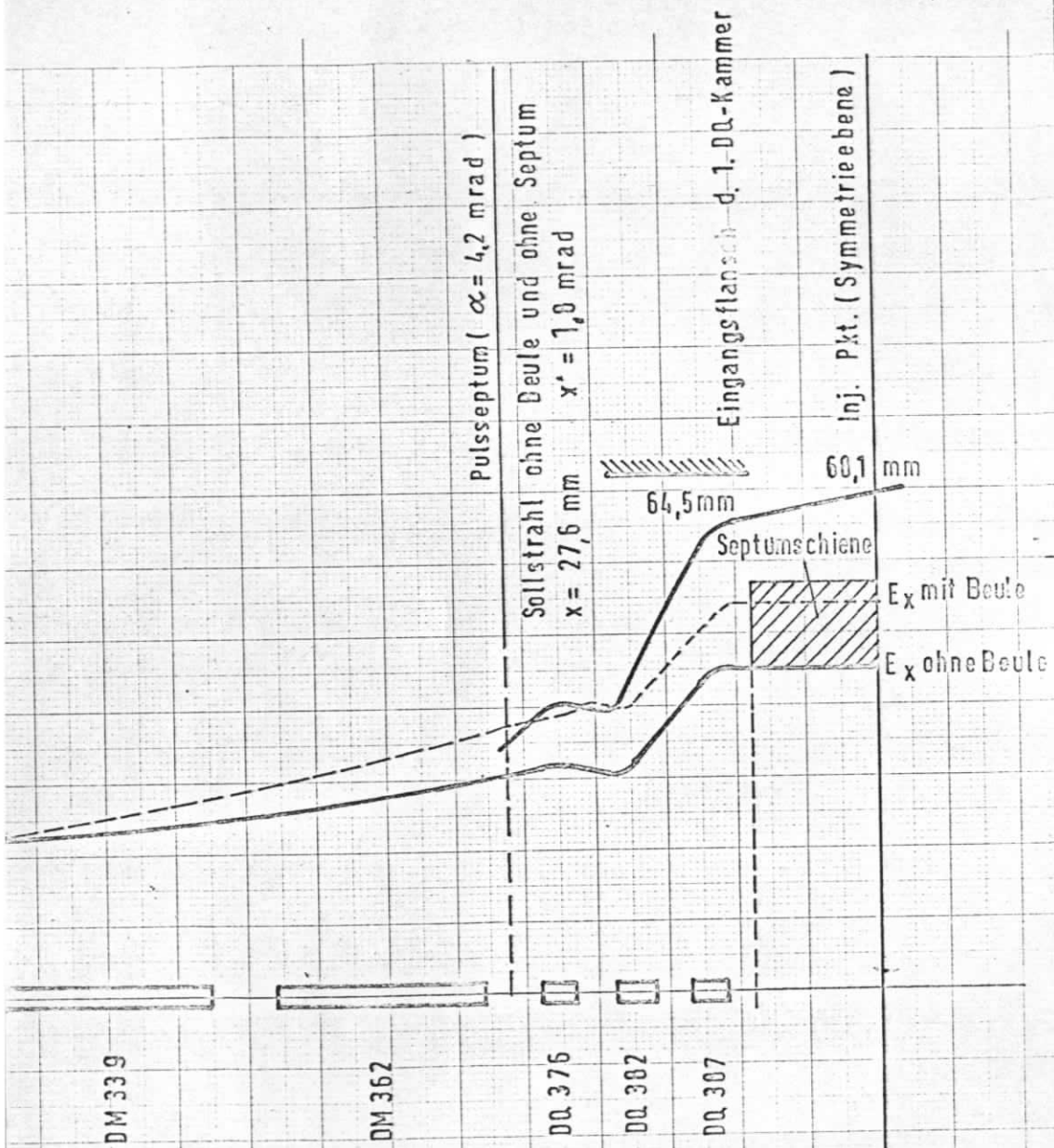
Die maximale Temperatur des Septumleiters wäre bei einer Pulsfrequenz von 12 KHz und einer Wiederholfrequenz von 50 Hz ca. 120°C über der Kühlwassertemperatur.



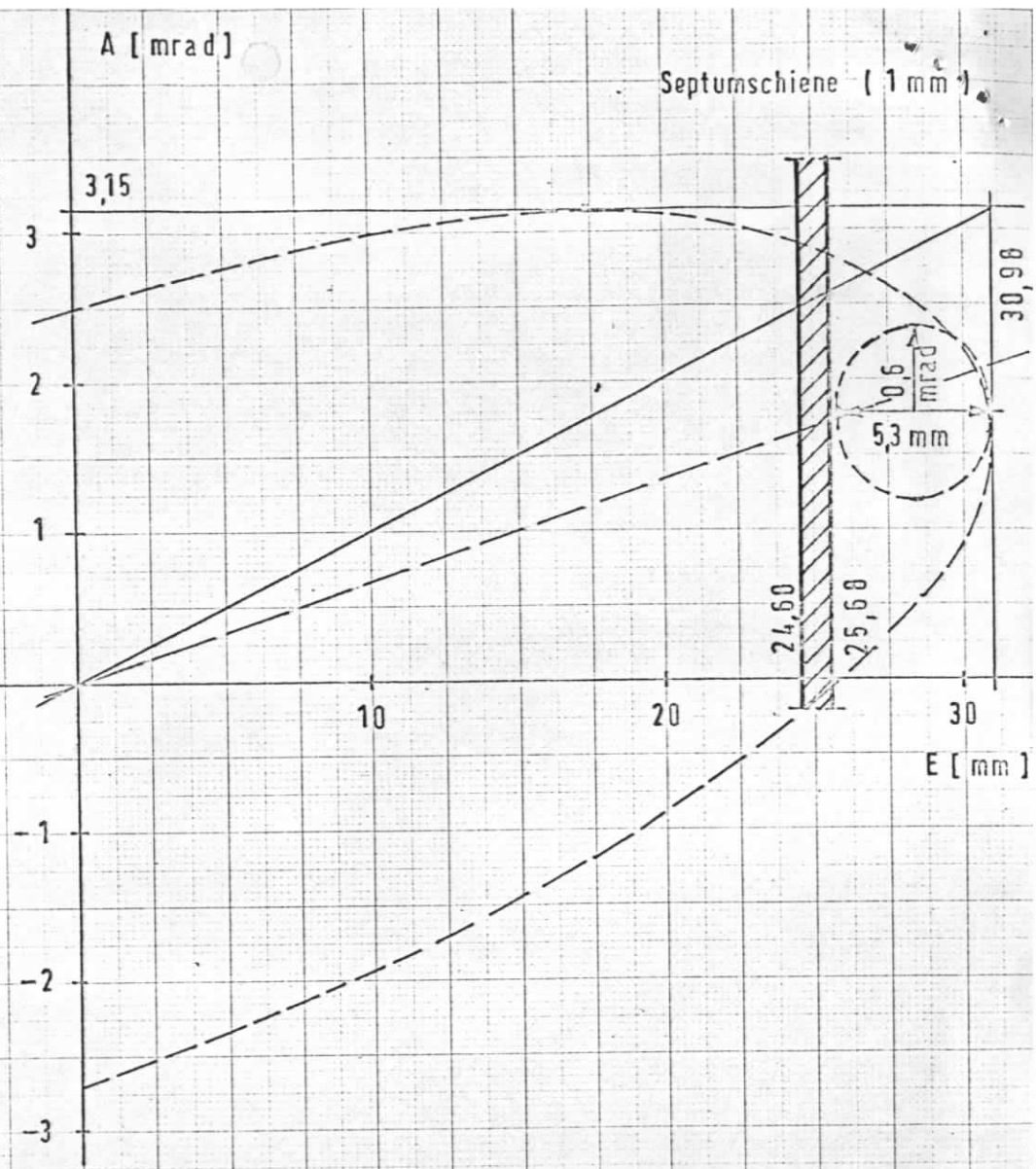
Die Entwicklung dieses gepulsten Septummagneten scheint möglich zu sein. Schwierigkeiten könnten sich durch eine zu hohe Streuung des Impulsübertragers ergeben, da dieser nicht durch Parallelschaltung von Thyristoren ersetzbar ist. Von der Parallelschaltung schneller Thyristoren raten alle Hersteller ab. Es sollte daher möglichst bald mit der Entwicklung eines koaxialen Impulstransformators begonnen werden.

Für eine Injektion bis zu 5 GeV muß der gepulste Septummagnet um 6 - 8 cm länger gemacht werden, was durch eine entsprechende Verkürzung der nachfolgenden DM-Kammer machbar erscheint (unter Verzicht auf das dort befindliche Plattenpaar zur Ionenabsaugung).





Figur 1



Figur 2

X