

Interner Bericht

DESY H3/4

Februar 1970

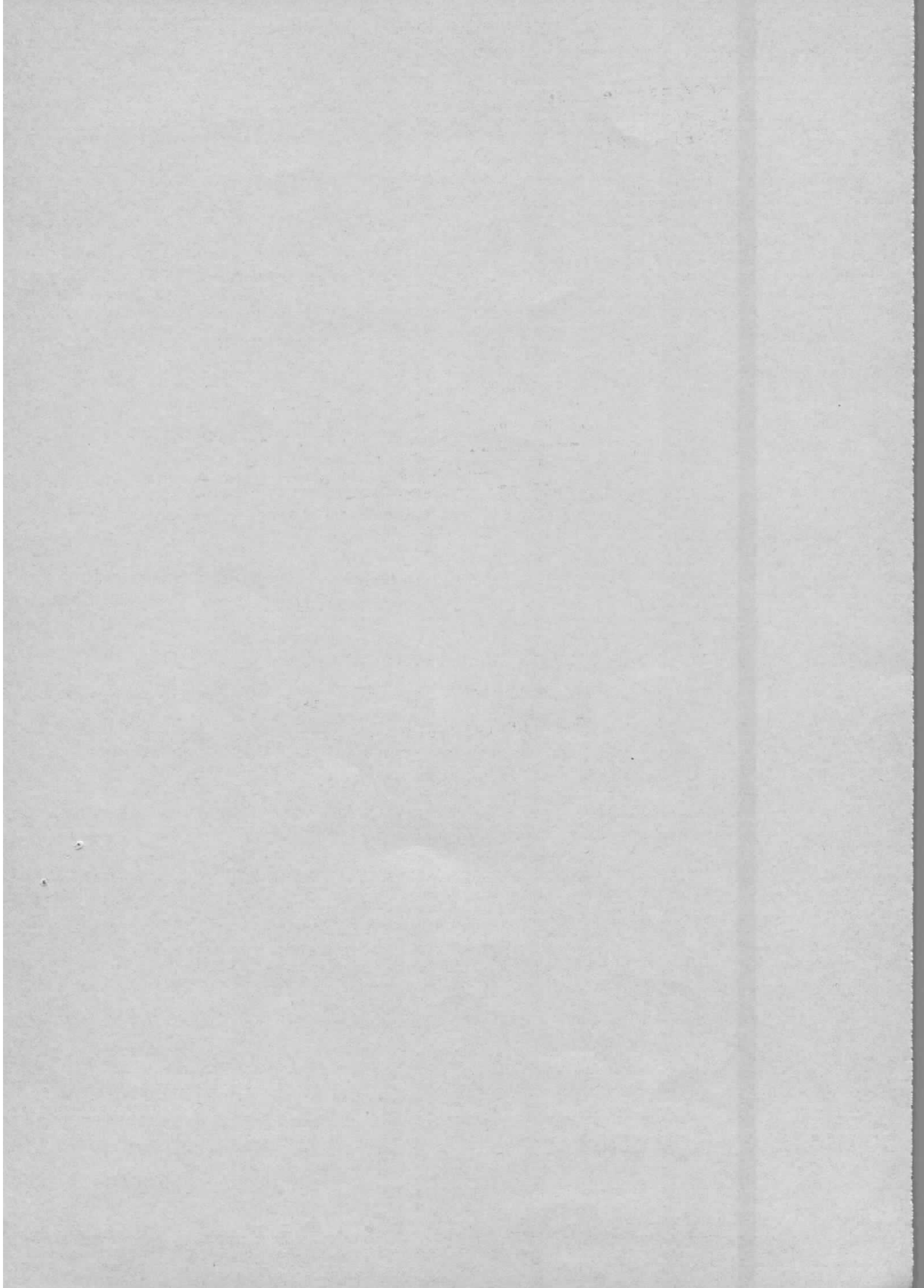
DESY-Bibliothek
27. MAI 1970

GEPULSTE MAGNETE FÜR DIE INJEKTION
IM SYNCHROTRON MIT LINAC II UND FÜR
DIE SCHNELLE EJEKTION

von

H.Gerke, J.Hameister, F.Harms,

H.-J.Hölzel, J.Rümmler

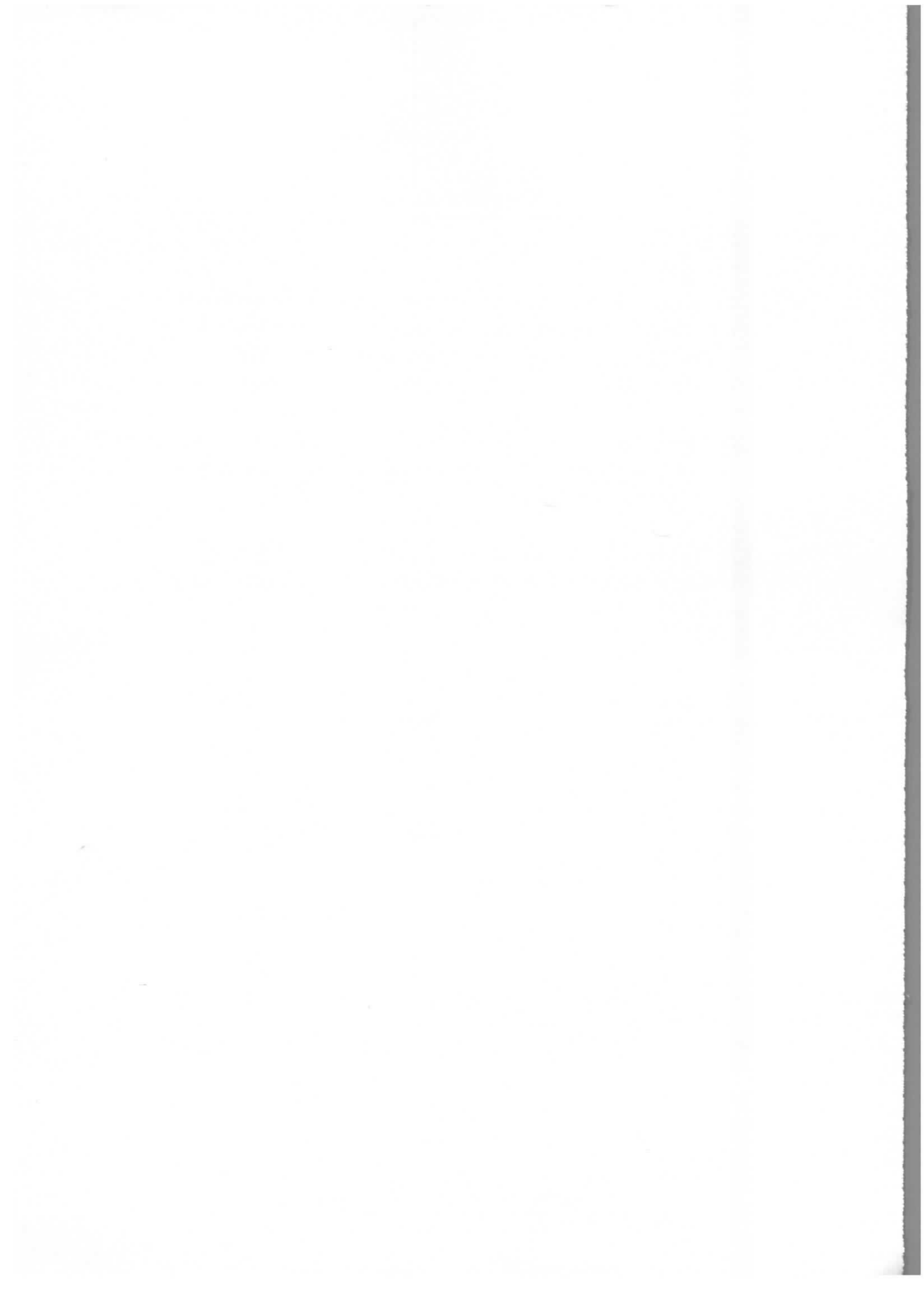


Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden gepulste Magnete und Geräte beschrieben, die für die Injektion von Linac II ins Synchrotron und für die schnelle Ejektion aus dem Synchrotron benötigt werden.

Es wird das Entwicklungskonzept beschrieben, ebenso wie die Auslegung der Geräte und die konstruktive Gestaltung der Magnete.

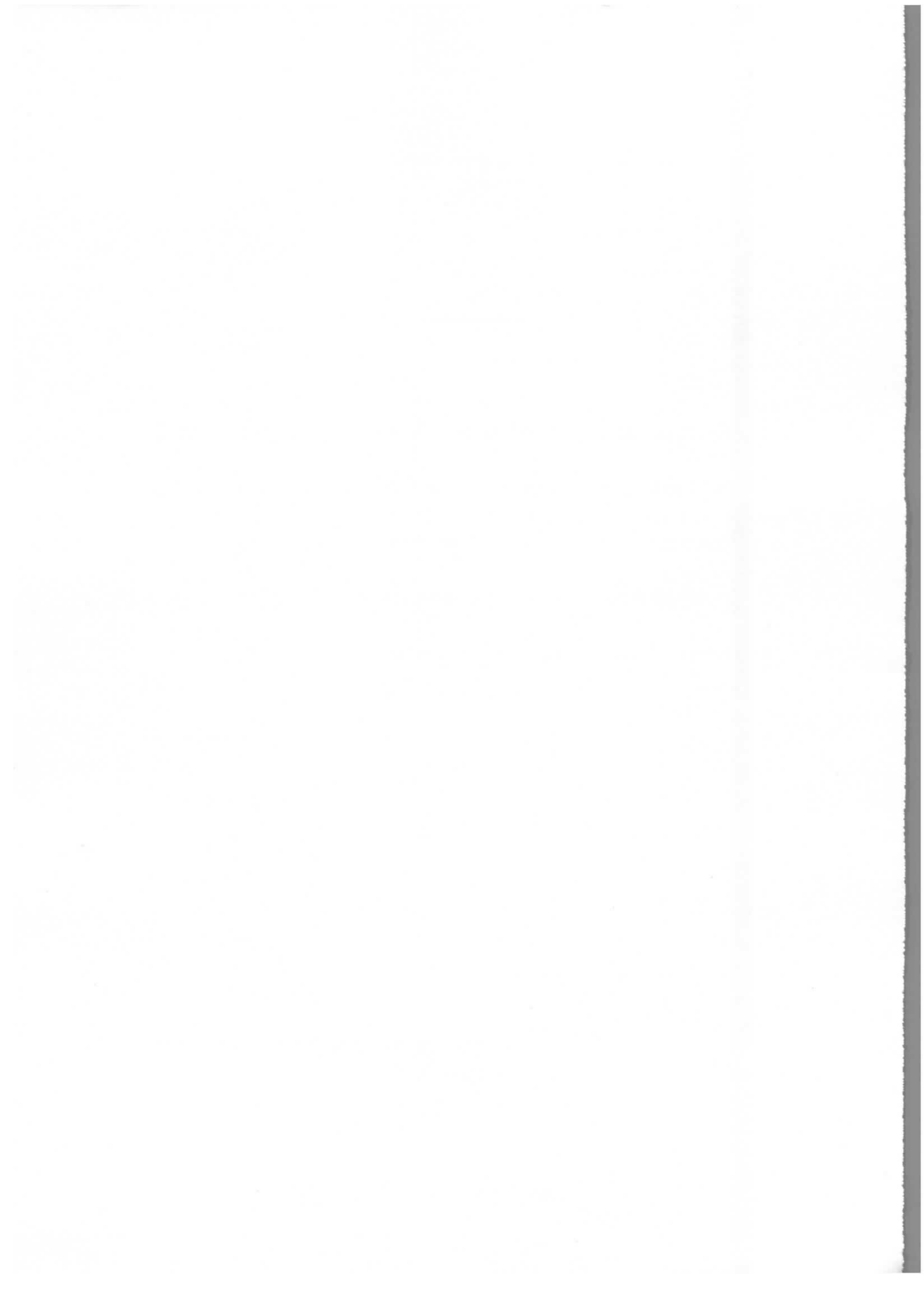
Im letzten Teil wird über die Meßergebnisse berichtet und ein Überblick über die Fertigungssituation gegeben.



I n h a l t

Seite

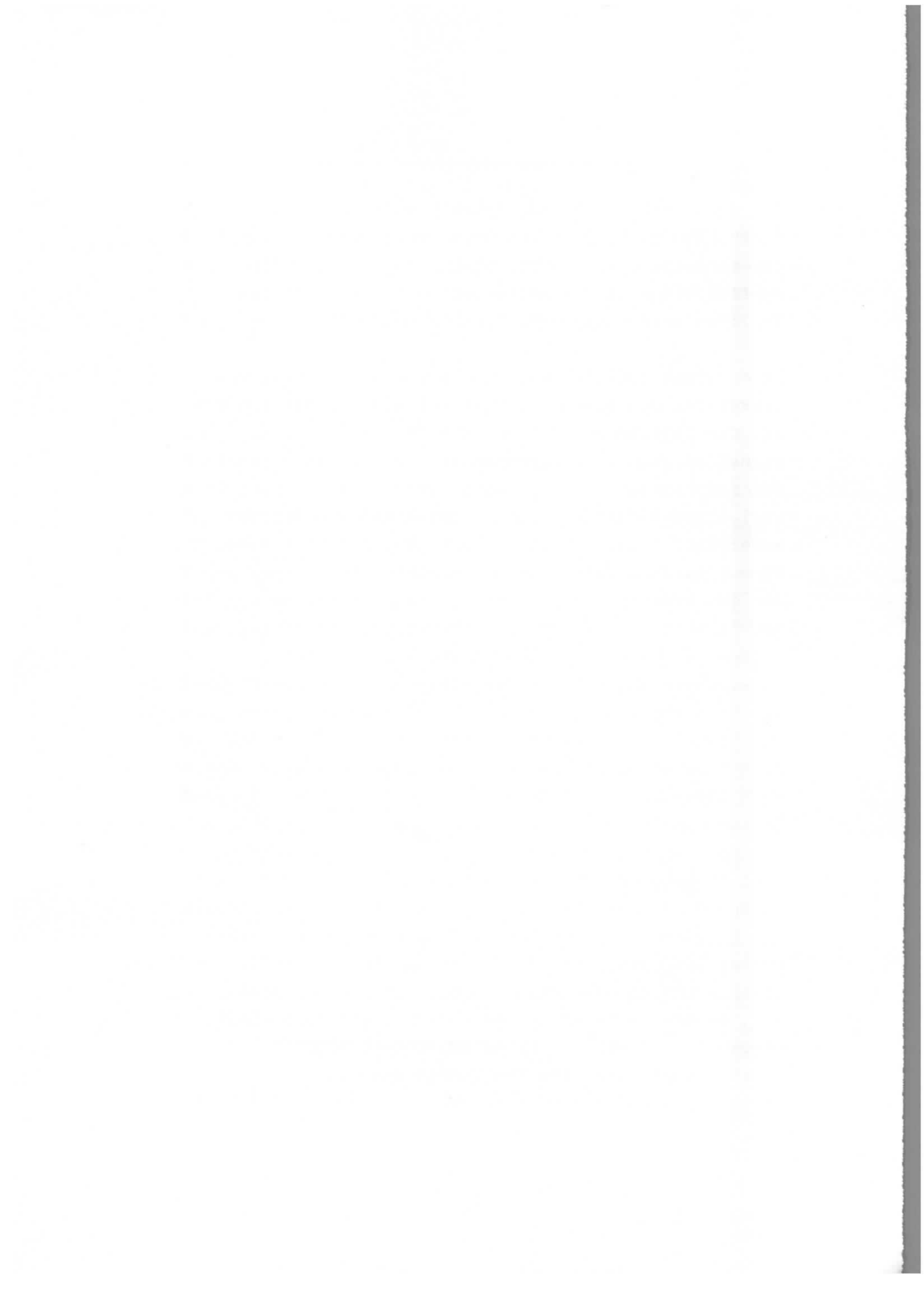
Das Injektions-/Ejektions-System	1
Auslegung der Magnete und der Pulsgeräte	2
Konstruktiver Aufbau der Magnete	13
Meßergebnisse an den Prototypen	15
Fertigstellung und Einbautermine	18



Das Injektions- Ejektions-System

Für den Einschub der im Linac II vorbeschleunigten Elektronen und Positronen ins Synchrotron und für die schnelle Ejektion der im Synchrotron auf die Speicherring-Injektionsenergie hochbeschleunigten Teilchen werden gepulste Magnete benötigt.

Da es nicht möglich ist, den erforderlichen Ablenkwinkel bei den gegebenen Teilchenenergien von 320 MeV für die Injektion und 2 GeV für die Ejektion mit schnellen gepulsten Magneten in einem geraden Stück des Synchrotrons zu erreichen, werden die Magnete in zwei einem D-Magneten benachbarten geraden Stücken angeordnet (siehe Abb.1). Der zu injizierende Teilchenstrahl durchläuft nacheinander einen Septummagneten, der den größten Teil der Ablenkung bewirkt und die Lage des Strahls zur Sollbahn im Synchrotron bestimmt, den D-Magneten, der die Ablenkung vergrößert und den Kickermagneten, mit dem der eingeschossene Strahl parallel zur Sollbahn ausgerichtet wird. Bei der schnellen Ejektion durchläuft der hochbeschleunigte Strahl zuerst den Kickermagneten, in dem er so weit abgelenkt wird, daß er nach Durchlaufen des D-Magneten im Gap des nachfolgenden Septummagneten weiter abgelenkt und so möglichst verlustlos aus dem Synchrotron ejiziert wird. In beiden Fällen sind zwei Magnete (Kicker und Septum) unabhängig voneinander entsprechend der jeweiligen Teilchenenergie einzustellen. Ein ähnliches, aus Kicker- und Septummagneten bestehendes System wurde auch bei CERN zur Ejektion des 20 GeV Protonenstrahls aus dem Protonen-Synchrotron entwickelt (1); (2); (3). Da das Protonen-Synchrotron nur mit sehr niedriger Wiederholungsfrequenz arbeitet, ist es möglich, zum Ejektionszeitpunkt den Septummagneten mechanisch an den Strahl heranzufahren und mit sehr kleinem Kickerwinkel



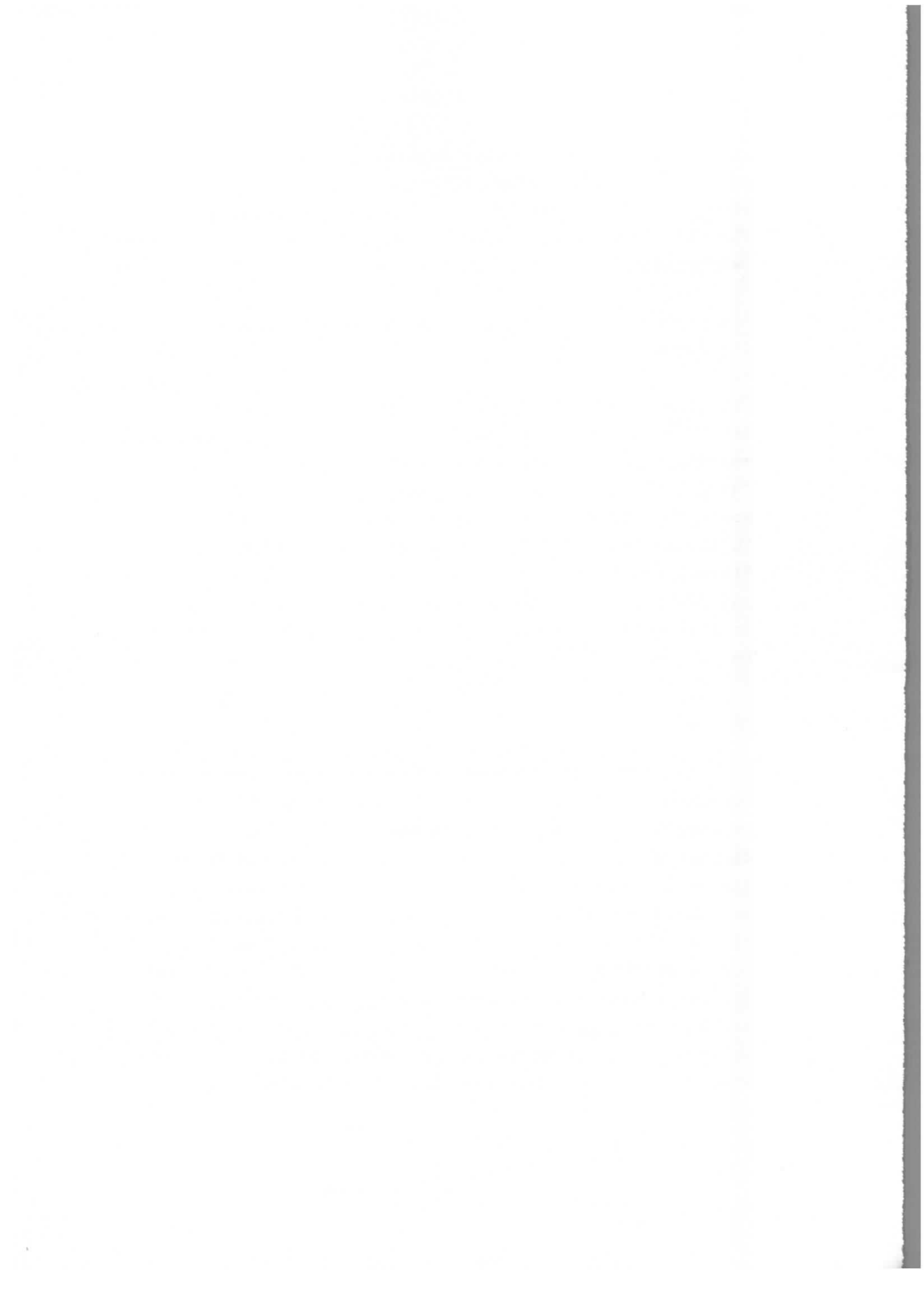
zu ejizieren. Bei gleicher Magnetfeldstärke wird damit die Ejektion eines höherenergetischen Strahls erreicht. Die Magnete und das Pulserzeugungssystem für die CERN-Ejektion sind in (4); (5); (6) beschrieben.

Eine erste Abschätzung für das DESY-System wurde in (9) gegeben.

Um einen hohen Teilchenwirkungsgrad bei Injektion und Ejektion zu erreichen, ist für das Feld der Septummagnete eine mindestens einprozentige Stabilität und für das Kickerfeld eine Dachlinearität von $\pm 2\%$ sowie eine Flankensteilheit von ca. 100 ns für Injektion und < 200 ns für Ejektion erforderlich. Hieraus resultieren für die Auslegung der Pulsgeräte und deren Stabilisierung sowie für die konstruktive Gestaltung der Magnete diverse Bedingungen, auf die im folgenden eingegangen wird.

Auslegung der Magnete und der Pulsgeräte

Zwischen den Vakuumkammerflanschen steht in den geraden Stücken des Synchrotrons eine Länge von 175 cm für Einbauten zur Verfügung. In dieser Länge ist auch der Raumbedarf für zwei Entkopplungsbälge enthalten, so daß für die im Vakuumtank installierten Magneteinheiten eine effektive magnetische Länge von ca. 125 cm vorhanden ist. Die Apertur des Kickers soll entsprechend der Vakuumkammer 12 cm breit und 4,5 cm hoch sein. Der Mindestabstand zwischen Septummagnet und Sollbahn beträgt 5 cm. Die Abmessung der Septumapertur wurde entsprechend dem einzuschießenden Positronenstrahl mit



5,5 cm Breite und 3,5 cm Höhe festgelegt. Die Strahlen 29 und 46 tangieren das Synchrotron unter 8° , der Strahl 43 unter 32° .

Aus diesen Festlegungen ergeben sich für die einzelnen Magnete folgende Ablenkwinkel (8):

a) Rechter Injektionsweg (Strahl 43)

Septumablenkwinkel	$30,68^\circ \hat{=}$	535 mrad
Kickerablenkwinkel	$0,657^\circ \hat{=}$	11,5 mrad

b) Linker Injektionsweg (Strahl 46)

Septumablenkwinkel	$6,625^\circ \hat{=}$	114 mrad
Kickerablenkwinkel	$0,657^\circ \hat{=}$	11,5 mrad

c) Ejektionsweg Strahl 46

Kickerwinkel	$0,566^\circ \hat{=}$	9,7 mrad
Septumwinkel	$6,9^\circ \hat{=}$	120 mrad

d) Ejektionsweg Strahl 29

Kickerablenkwinkel	$0,566^\circ \hat{=}$	9,7 mrad
Septumablenkwinkel	$6,9^\circ \hat{=}$	120 mrad

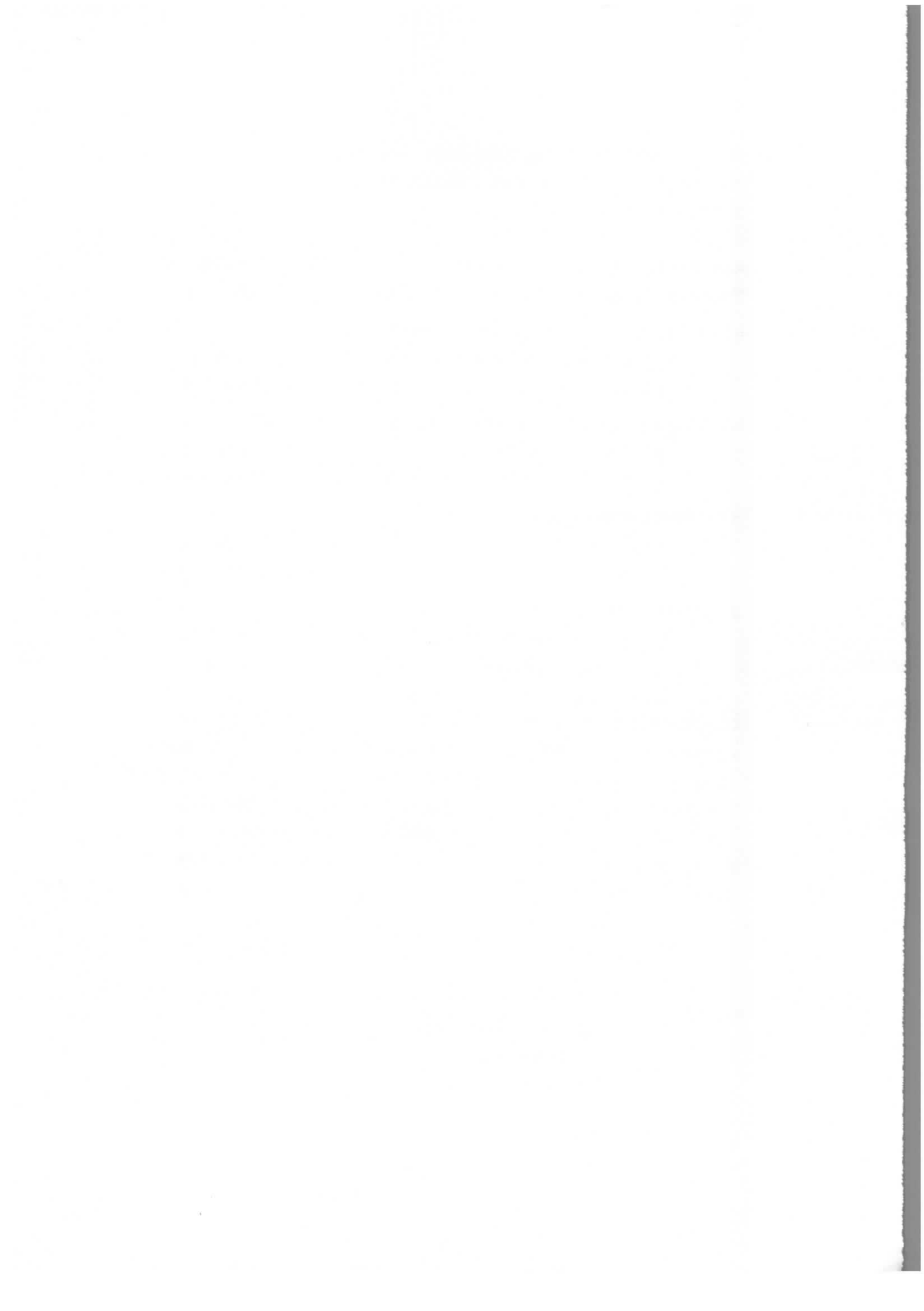
Die Ejektion kann mit einem kleineren Kickerwinkel vorgenommen werden, da die Abmessungen des ejizierten Strahls erheblich geringer sind als die des injizierten Positronenstrahls. Da die Lage des injizierten und des ejizierten Strahls zum Synchrotron gleich sein soll, muß dann jedoch die Ablenkung des Septummagneten etwas stärker sein.

$$\text{Nach der Gleichung } BL = \frac{E(\text{GeV}) \cdot \phi(\text{rad})}{3 \cdot 10^{-2}} \quad (\text{k}\Gamma\text{m})$$

werden folgende Ablenkwinkelstärken in den Magneten benötigt:

aa) Rechter Injektionsweg bei $E = 320 \text{ MeV}$

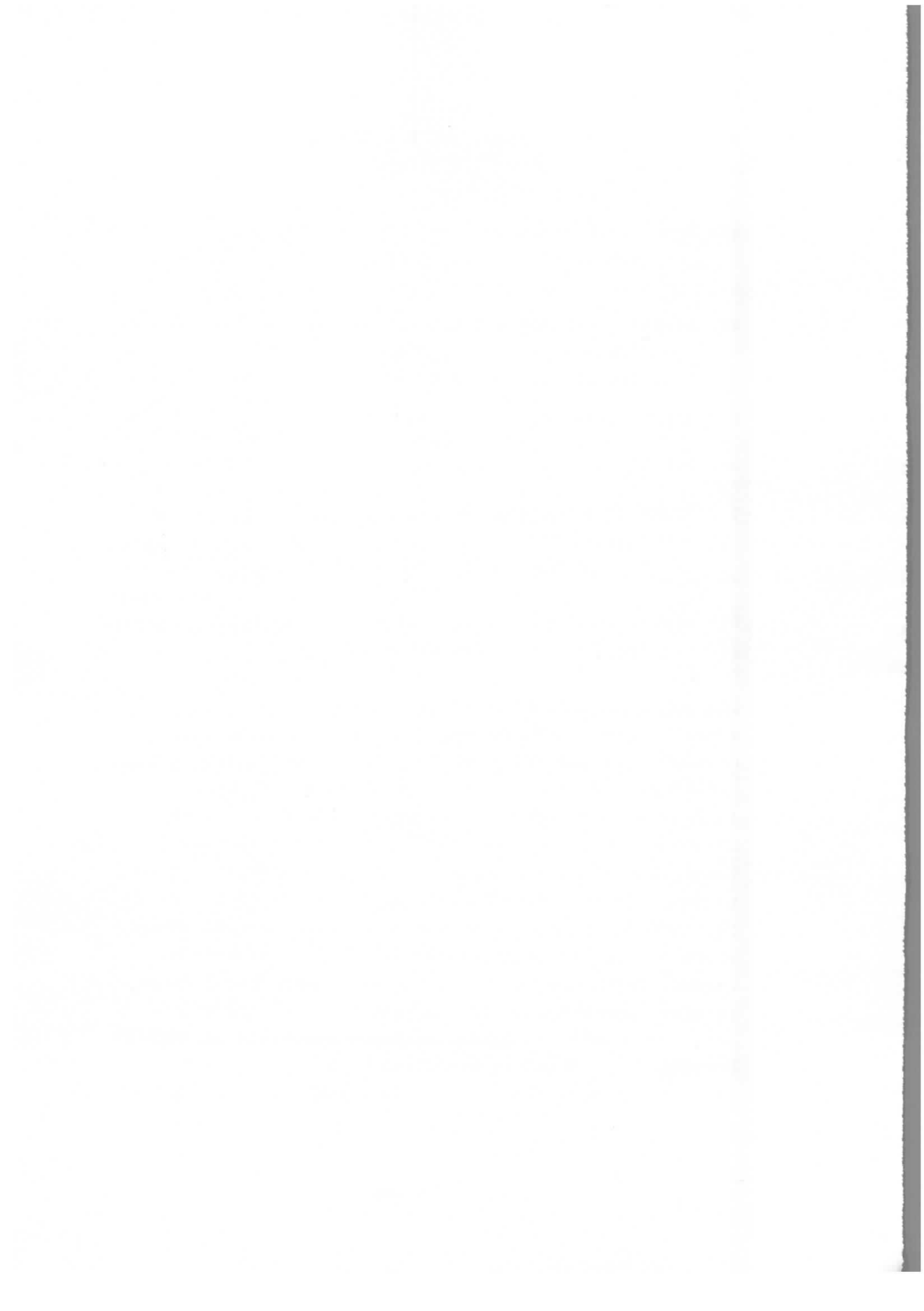
Septumfeld	5,75 k Γm
Kickerfeld	123 Γm



ab) Linker Injektionsweg bei E = 320 MeV		
Septumfeld	1,22	kΓm
Kickerfeld	123	Γm
ba) Rechter Injektionsweg bei E = 350 MeV		
Septumfeld	6,25	kΓm
Kickerfeld	135	Γm
bb) Linker Injektionsweg bei E = 350 MeV		
Septumfeld	1,32	kΓm
Kickerfeld	135	Γm
c) Ejektionsweg Strahl 46 bei E = 2 GeV		
Kickerfeld	650	Γm
Septumfeld	8	kΓm
d) Ejektionsweg Strahl 29 bei E = 2 GeV		
Kickerfeld	650	Γm
Septumfeld	8	kΓm

Die wichtigen Werte der Injektions- und Ejektionswege sind in der Tabelle I zusammengefaßt.

Die Septummagnete bestehen aus 50 mm dicken lammellierten Blechpaketen, die auf einer Konsole montiert sind und in deren Gap das wassergekühlte Leitersystem isoliert verspannt ist. Da die Magnete im Vakuumsystem des Synchrotrons installiert werden, müssen die 0,5 mm starken Bleche mit einem vakuumtauglichen und strahlungsfesten Araldit verklebt werden, der auch gute thermische und elektrisch isolierende Eigenschaften haben muß. Das Herstellungsverfahren dieser Magnetblöcke ist in (7) beschrieben worden. Durch die strahlseitige Ausbildung der Blöcke zu einem magnetischen Schirm (Abb.2a) wird das auf den eingeschossenen Strahl wirkende Streufeld auf einige Promill des Septumfeldes reduziert. Bei der gegebenen Apertur hat der Magnet eine Induktivität von ca. 2,2 μ H/m.



Da das Feld des Septummagneten den im Beschleuniger umlaufenden Strahl nur unwesentlich beeinflusst, kann die Pulslänge im Gegensatz zum Kickermagneten lang gegen die Umlaufzeit der Teilchen sein. Prinzipiell könnte der Magnet auch gleichstromerregt sein, jedoch wäre dann bei den hier erforderlichen Feldstärken die Kühlung des Septumleiters nicht mehr zu beherrschen.

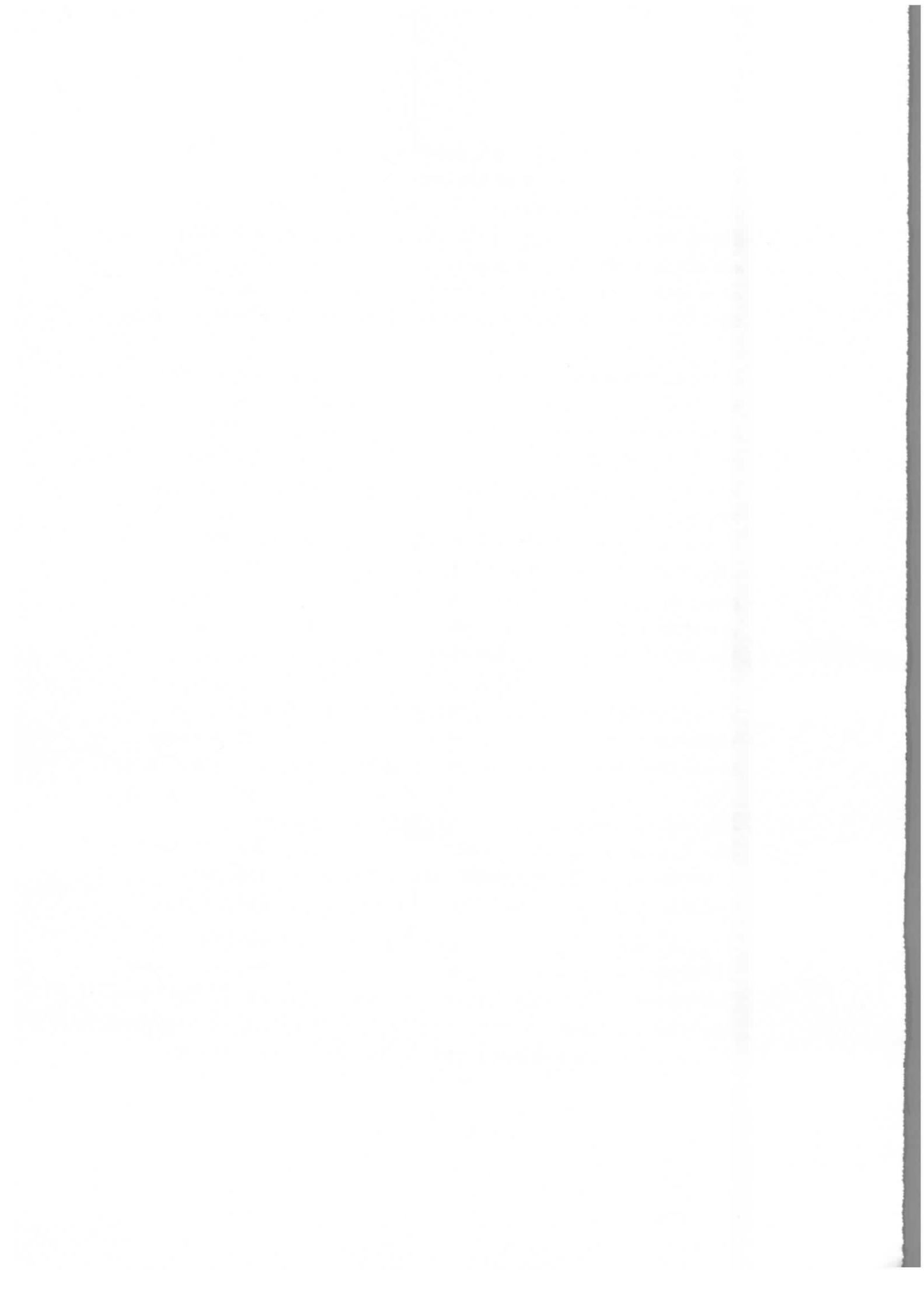
Die Septummagnete werden mit sinusförmigen Strompulsen von ca. 1,7 ms Länge erregt. Der Magnet ist Teil eines Schwingkreises. Abb. 2b zeigt die prinzipielle Schaltung der Pulsanordnung, Abb. 2c den Verlauf von Magnetstrom und Spannung. Die gewählte Schwingfrequenz von 300 Hz ist ein Kompromiß. Bei niedrigerer Frequenz würden die Verluste im Kupferleiter höher sein, bei höherer Frequenz wären die Verluste in den nur indirekt gekühlten Blechpaketen größer und die Schwingkreisspannung würde höher werden, als es die für die Anordnung benötigten gesteuerten Gleichrichter (Thyristoren) zulassen.

Um möglichst wenig parallel geschaltete Thyristoren verwenden zu müssen, wird der Septummagnet über einen Transformator ($\ddot{u} = 5:0$) an den Schwingkreis angeschlossen.

Die Pulserzeugung geschieht folgendermaßen:

Das Netzteil U_{-} wird gemäß einem eingegebenen Sollwert hochgeregelt (Genauigkeit ca. 5%); der Schwingkreis-kondensator C_1 ist auf die Spannung U_{soll} aufgeladen.

Zum Zeitpunkt T_1 (0,8 ms vor dem Injektions- bzw. Ejektionszeitpunkt T_1) wird der Thyristor Ty_1 getriggert. Der Kreis C_1 und L_M schwingt an. Zum Zeitpunkt T_1 ist dann die Stromänderung und damit die Feldänderung im Magneten vernachlässigbar klein. Bei T_2 ist der Kondensator C_1

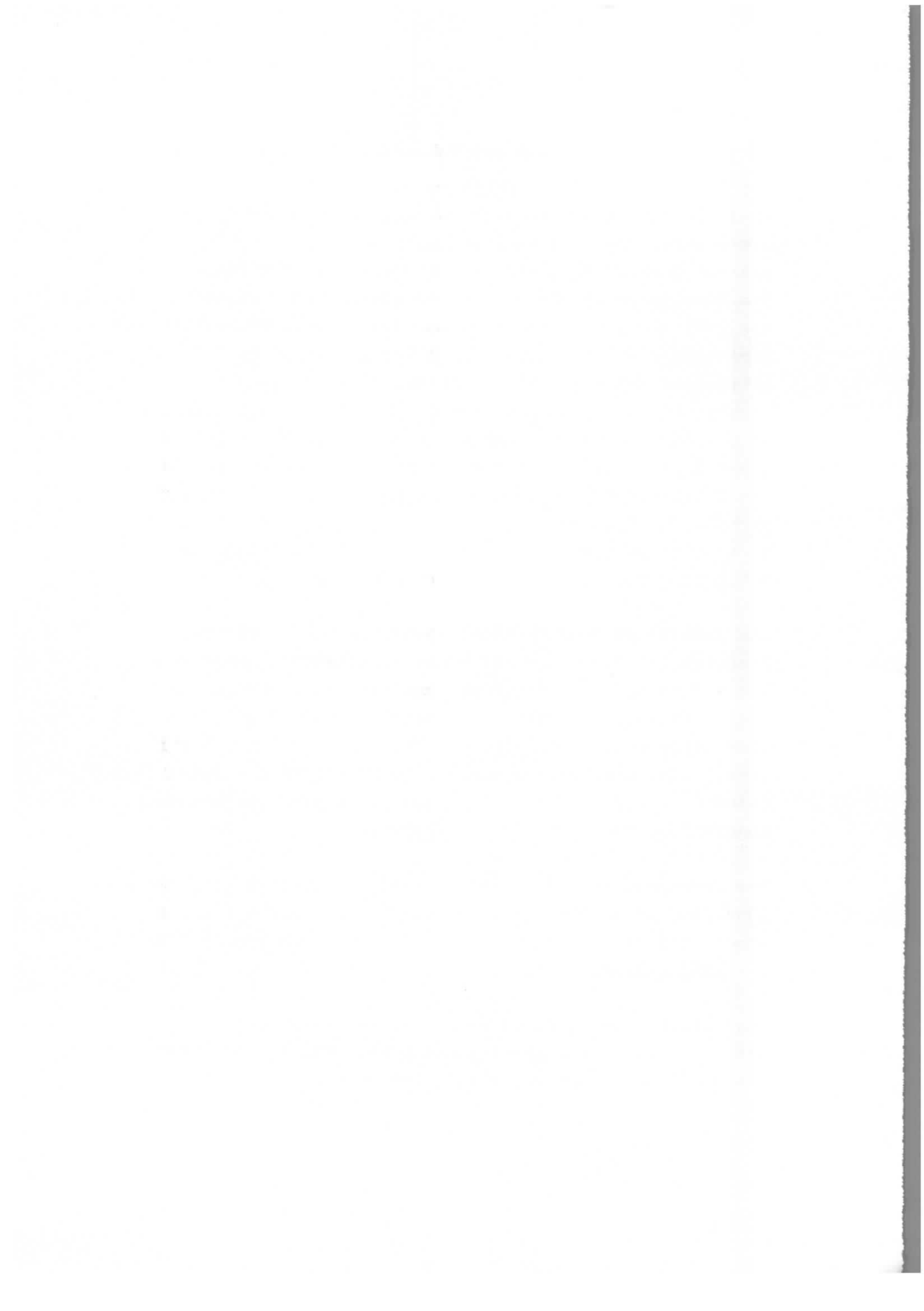


ungeladen. Es wird dann bei T_3 der Hilfskondensator C_3 mit Ty_L über den Trafo entladen, damit die durch die Kreisverluste hervorgerufenen Spannungszeitflächenunterschiede den Transformator nicht sättigen; anschließend wird C_1 mittels Ty_2 wieder umgeladen. Die Energie im Schwingkreiskondensator ist jetzt um die Kreisverluste (vorzugsweise Verluste des Septumleiters) geringer. Zum Zeitpunkt T_5 wird der Thyristor Ty_3 getriggert und das Netzteil liefert Energie über die Drossel L_Q in den Kondensator C_1 . Dabei wird die Spannung an C_1 gemessen und mit dem vorgewählten Sollwert über einen Komparator verglichen, der bei Spannungsgleichheit den Thyristor Ty_4 triggert. Dadurch bricht die Spannung am Ende der Drossel L_Q zusammen, Ty_3 löscht und die noch in L_Q gespeicherte Energie schwingt über C_2 und D_1 ins Netzteil zurück .

Die Septummagnete von Strahl 29 und 46 müssen für die Ejektion bei 2 GeV und bei einer magnetischen Länge von von 115 cm auf 7k Γ erregt werden. Für die Gap-Höhe von 3,5 cm bedeutet das einen Spitzenstrom von 20 kA. Bei einem Widerstand des Septumleiters von 0,25 m Ω und einer Pulswiederholfrequenz von 50 Hz müssen aus dem Leiter ca. 8,5 kW Verlustleistung durch die Wasserkühlung abgeführt werden.

Der Septummagnet von Strahl 43 wird bei einer magnetischen Länge von 95 cm für Injektion bei 350 MeV auf 6,6 k Γ erregt und benötigt damit einen Spitzenstrom von 18,5 kA. Die abzuführende Verlustleistung beträgt 5,7 kW.

Über die Anordnung der Komponenten im Pulser und im Netzteil sowie über die Auslegung der Steuer- und Regelkreise wird an Hand von detaillierten Schaltbildern in



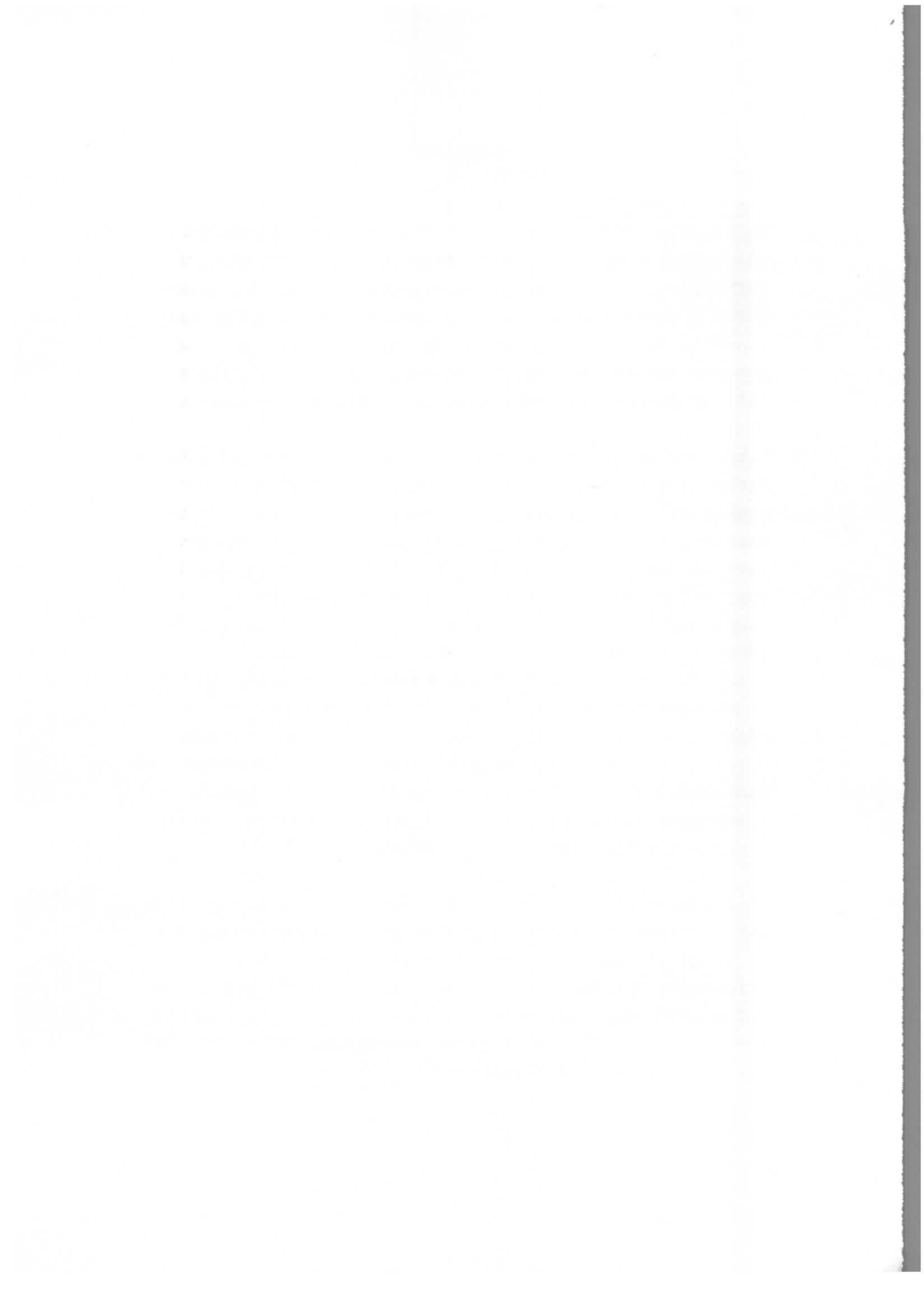
einer separaten Service-Anleitung ausführlich berichtet werden.

Die Kickermagnete

Da es nicht möglich ist, die erforderlichen Ejektionsfeldstärken der Kicker mit einer induktivitätsarmen Luftspule zu realisieren, werden sie als Ferrit-C-Joch-Magnete ausgebildet (Abb.3a). Die Erregung erfolgt über einen Leiter (Abb.7), der Strom wird über das Magnetgehäuse zurückgeführt. Zur Homogenisierung des Feldes ist der Magnet mit einem Wirbelstromschild versehen.

Diese aus Ferritplatten und einfachen Leitern aufgebauten Kickermagnete haben gegenüber bisher bekannten Konstruktionen den Vorteil kleiner Abmessungen, geringer Herstellungskosten und guter Vakuumeigenschaften, da die Oberflächen sehr klein gehalten und nur metallische oder keramische Werkstoffe verwendet werden. Die zur Kompensation der Eigeninduktivität erforderlichen Komponenten werden außerhalb des Vakuums installiert. Damit die erforderliche Flankensteilheit und die Dachlinearität des Feldimpulses erreicht wird, muß das gesamte System möglichst impedanztreu aufgebaut werden. Die Grenzfrequenz von Baugruppen mit Tiefpaßcharakteristik muß oberhalb der Frequenz liegen, die zur Erzielung der Flankensteilheit nötig ist; dies gilt besonders für den kapazitiv kompensierten Magneten selbst.

Um handelsübliche Komponenten verwenden zu können, wurde das Kickersystem für eine maximale Betriebsspannung von 30 kV ausgelegt. Damit ergibt sich für die Ejektionsfeldstärke von 650 G bei einer magnetischen Länge von 1,2 m und einer Pulsspannung von 15 kV am Magneten eine Systemimpedanz von ca. 6,5 Ω . Bei der gegebenen Apertur hat der Magnet eine Eigeninduktivität von 3 μ H/m. Die



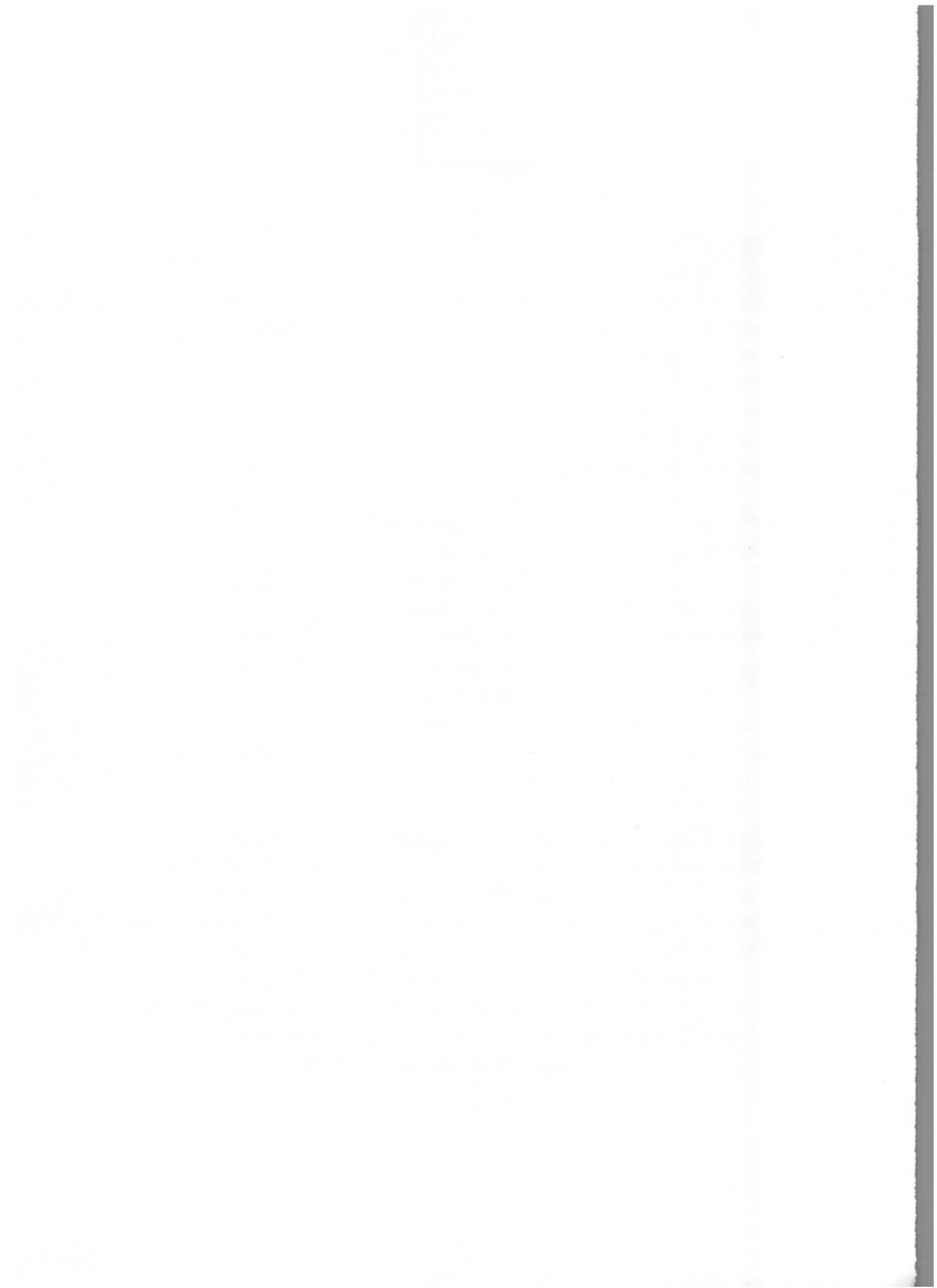
Die Impulsflanken hätten damit eine Steilheit von:

$$\tau = \frac{\pi}{2} \sqrt{L \cdot C} = \frac{\pi}{2} \sqrt{3,6 \cdot 10^{-6} \cdot 8 \cdot 10^{-8}} = 750 \text{ ns}$$

Da die Anstiegszeit der Ejektionskickerpulse kleiner als 200 ns sein soll, wurden 0,4 m lange Magnet-einheiten entwickelt, die entweder für eine System-Impedanz von 12,5 Ω (für Injektion mit einer Anstiegszeit von ca. 90 ns) oder für eine Impedanz von 6,25 Ω (für Ejektion mit einer Anstiegszeit von ca. 180 ns) kapazitiv kompensiert werden.

Für Strahl 29 und 46 sind drei dieser Einheiten in einem Tank installiert, von denen zwei für Ejektion (6,25 Ω) und eine für Injektion (12,5 Ω) kompensiert sind. Für Strahl 43 wird eine Injektionseinheit verwendet. Jede Einheit wird mit einer eigenen Pulsanordnung betrieben. Die Injektionseinheit bringt die für 350 MeV benötigte Injektionsfeldstärke von 135 Γ m auf. Mit einer Injektions- und zwei Ejektionseinheiten zusammen wird die für 2 GeV erforderliche Ejektionsfeldstärke von 650 Γ m erreicht.

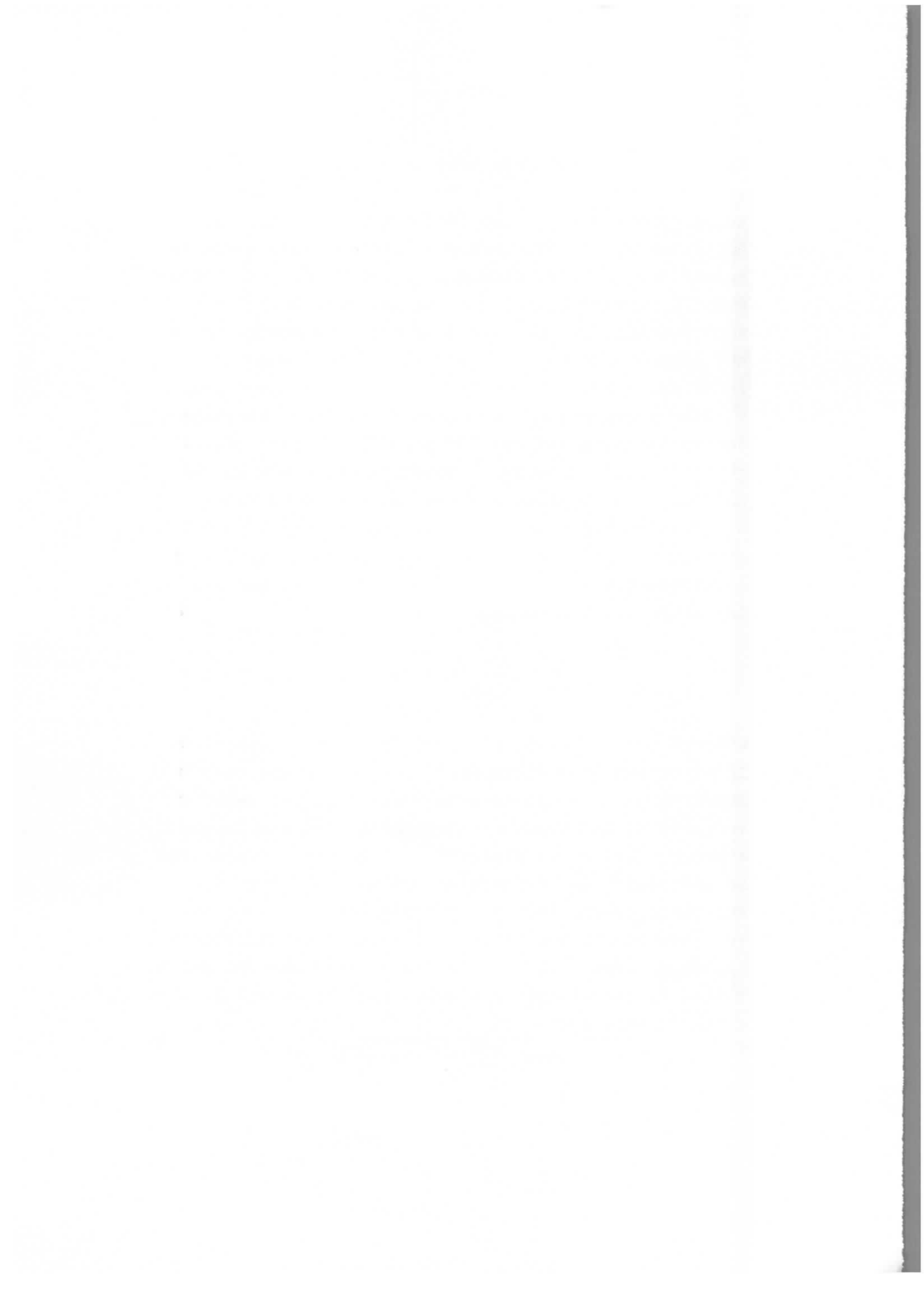
Der Kickermagnet wird erregt, indem ein auf die Betriebsspannung aufgeladenes "Pulsformendes Netzwerk" (P F N) mit einem elektronischen Schalter über den Magneten entladen wird. Abb.3c zeigt die Prinzipschaltung der Kicker-Pulsanordnung für die schnelle Ejektion. Als pulsformendes Netzwerk werden 8 parallel geschaltete 50 Ω Koaxial-Kabel der Type RG 218/U verwendet, die für die Pulslänge von 1 μ s bei einem Laufzeitfaktor von 0,66c 100 m lang sein müssen. Die Verwendung dieser



Kabel gewährleistet ein sehr homogenes betriebs-sicheres Netzwerk, das gegenüber einer Leitung aus konzentrierten Bauteilen (Induktivitäten und Kapazitäten) sehr viel preiswerter ist. Als elektronischer Schalter wird das Thyatron HY 5 der Firma E G + G verwendet, mit dem bei maximal 35 kV 5000 A Pulsstrom geschaltet werden kann. Diese Röhre hat gegenüber anderen Thyatrons als echte Triode (ohne Schirmgitter) den Vorteil sehr geringer Kapazitäten gegen Masse. Das Netzwerk wird vom Netzteil U_2 , dessen Spannung auf ca. $2/3$ der PFN-Spannung eingestellt wird, über den Drosseltransformator L_Q und die Diode D innerhalb von ca. 5 ms aufgeladen. Die Resonanzaufladung beginnt, nachdem das Netzwerk mittels Thyatron schnell entladen wurde. Die Aufladezeit wird durch die Induktivität L_Q und die Kapazität des Netzwerkes bestimmt:

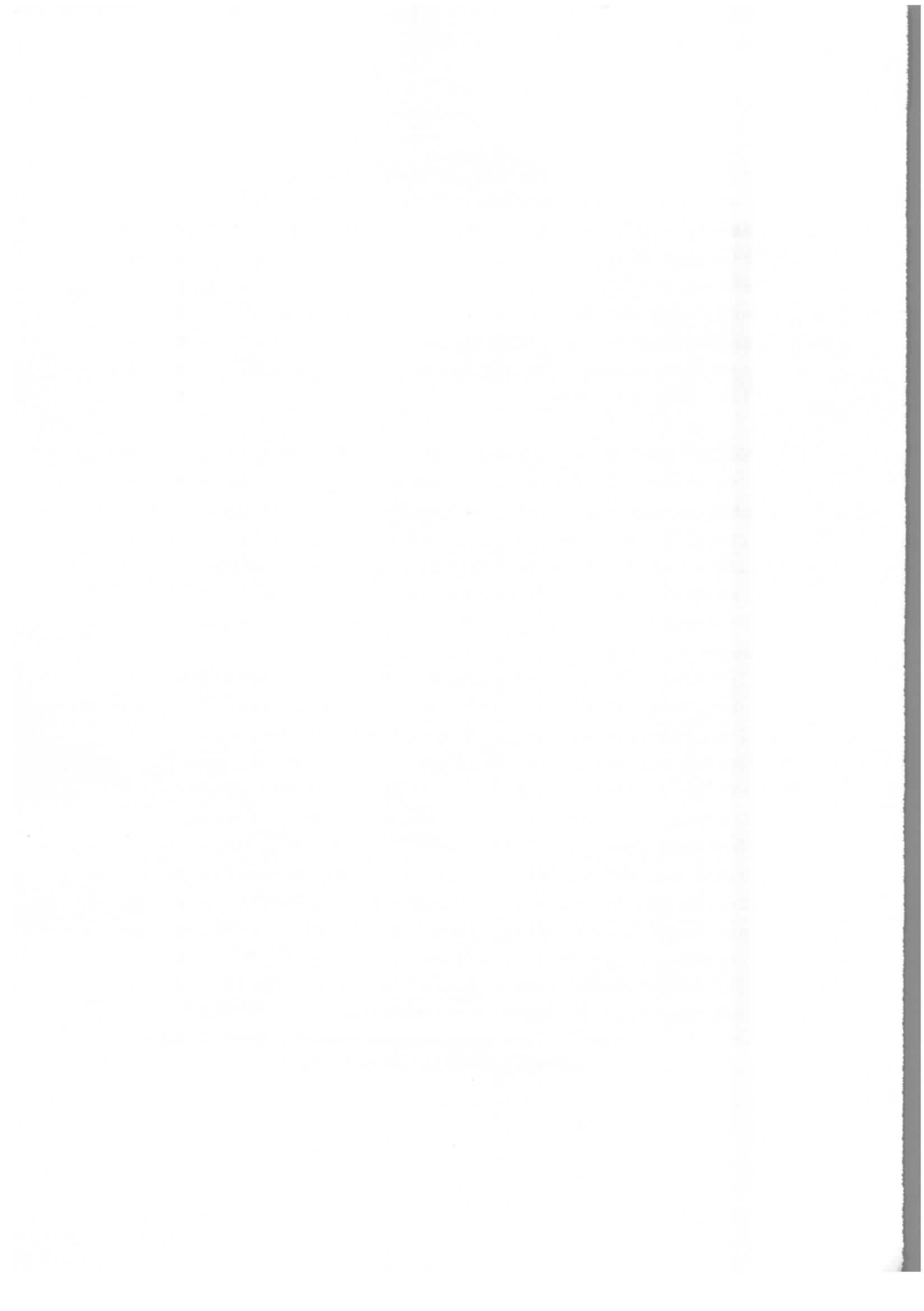
$$\frac{T}{2} = \pi \sqrt{L_Q C_{PFN}} \cdot$$

Während der Aufladung wird die Spannung zwischen der Induktivität L_Q und der Diode D gemessen und über einen Komparator mit einem vorgewählten Sollwert verglichen. Bei Spannungsgleichheit wird ein Impuls erzeugt, der den Thyristor Ty 1 triggert, wodurch die Sekundärseite der Transformator-drossel L_Q über C_1 kurzgeschlossen wird und die Spannung vor der Diode D zusammenbricht. Das Netzwerk ist dann auf die richtige Spannung aufgeladen und die Restenergie der Drossel L_Q fließt in die Kapazität C_1 . Bis zum nächsten Puls wird diese Energie durch Triggerung des Thyristors Ty 2 im Kreis C_1, L_E, R_E , vernichtet. Durch diesen



"de-Q-ing"-Kreis wird die Betriebsspannung des Netzwerkes sehr genau stabilisiert. Prinzipiell könnte statt des Drossel-Transformators auch eine einfache Induktivität verwendet werden. Jedoch müßten dann bei 30 kV Betriebsspannung zwischen L_Q und D für den de-Q-ing-Kreis zwei Thyratrons installiert werden, die weniger betriebssicher als Thyristoren sind und begrenzte Lebensdauer (ca. 2000 h) haben.

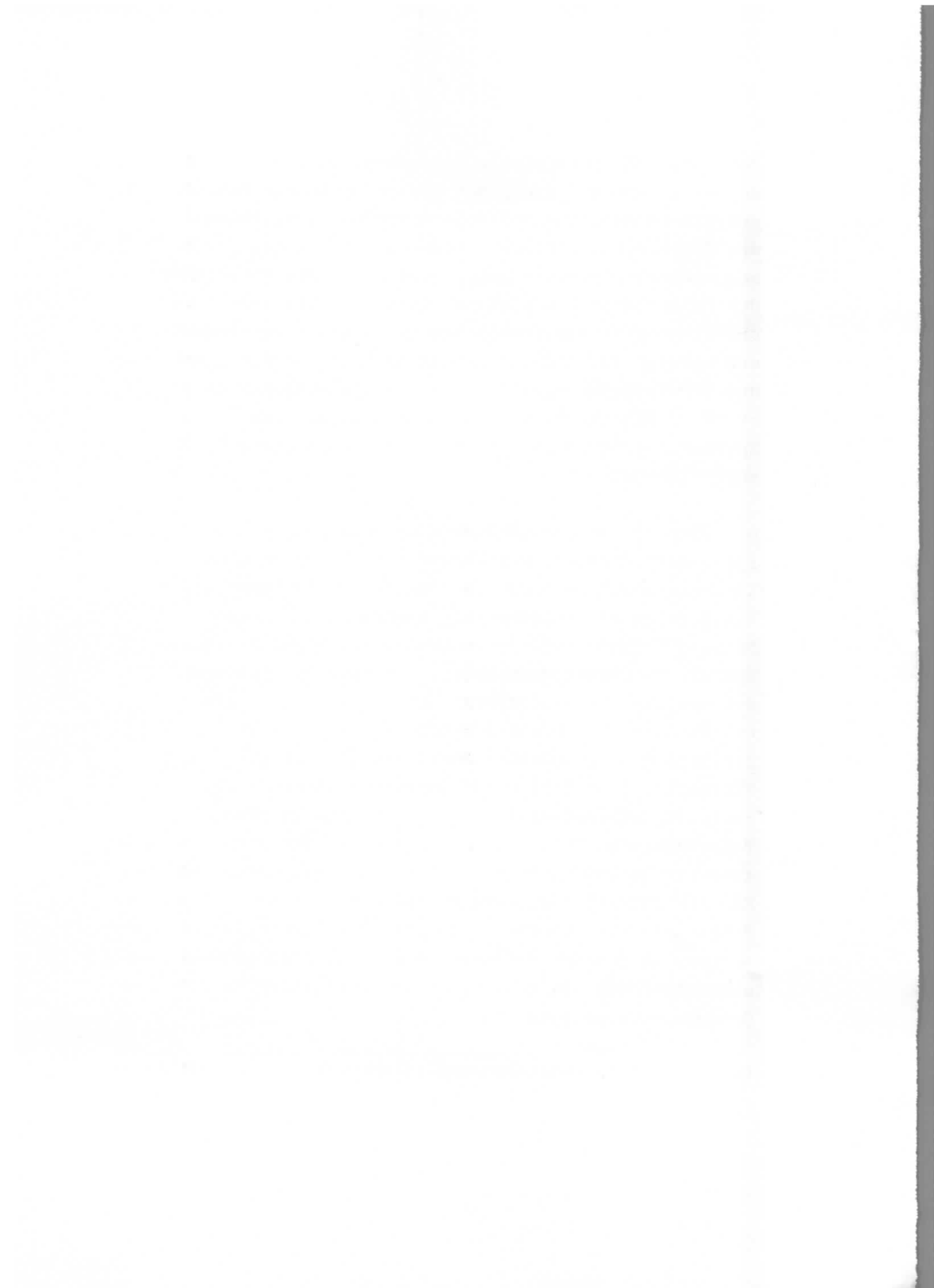
Weiter oben wurde bereits darauf hingewiesen, daß das System möglichst impedanztreu aufgebaut werden muß, um die erforderlichen Impulsflanken und Dachlinearitäten erzeugen zu können. Das System ist daher mit einem koaxialen Leistungsabsorber abgeschlossen, dessen Widerstand der Netzwerkimpedanz entspricht. Der mit C_2 und C_3 kompensierte Kicker magnet L_K selbst stellt jedoch oberhalb seiner Grenzfrequenz eine erhebliche Störung der Anordnung dar. Die im Netzwerk erzeugten hochfrequenten Impulsanteile werden am Magneten reflektiert, durchlaufen die Leitung bis zum Netzteil und werden dort wieder reflektiert. Nach $1\mu s$ kommt diese reflektierte Energie zum Magneten zurück und wird als Verformung der Rückflanke des Feldpulses sichtbar. Abb. 3d zeigt den prinzipiellen Strom und Spannungsverlauf. Da für die schnelle Ejektion nur die Vorderflanke des Feldpulses benötigt wird, ist die Verformung der Rückflanke unkritisch. Anders ist es jedoch beim Injektionskicker, bei dem die Pulsrückflanke die Einschußlänge im Synchrotron bestimmt. Die verformte Rückflanke ist ca. 200 ns lang, so daß der Injektionswirkungsgrad nur 80% betragen würde. Die in Abb.3e



dargestellte prinzipielle Pulsanordnung für den Injektionskicker zeigt, daß die reflektierte Pulsenergie am Netzteil absorbiert werden kann, indem das Thyatron 2 mit einer Verzögerung von ca. 500 ns gegenüber Thyatron 1 getriggert wird. Die Rückflanke des Feldpulses wird dann nur durch die Tiefpaßcharakteristik des kompensierten Magneten bestimmt und beträgt ca. 100 ns. Ein ca. 5%iges Überschwingen der Vorderflanke wird durch den Kompensationswiderstand R_K beseitigt. Den zeitlichen Strom- und Spannungsverlauf der Injektionskickeranordnung zeigt Abb.3f.

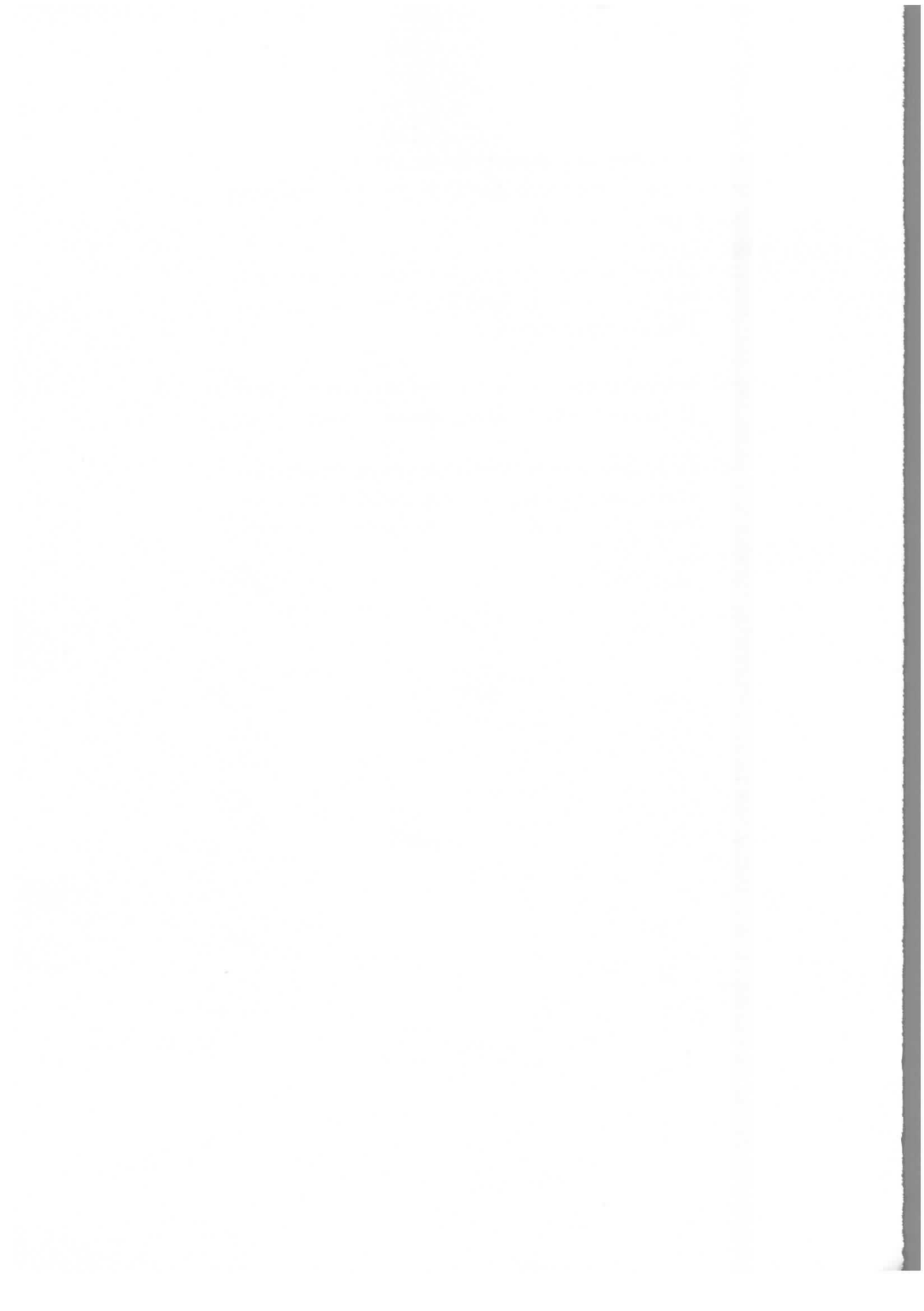
Die Komponenten der Kicker-Pulsanordnung sind in 19" - Halbschränke installiert. Zur Erregung einer Kickermagneteinheit werden 4 Halbschränke benötigt. Abb.4 zeigt die Anordnung im Prüffeld. Im linken Schrank befinden sich die Steuer- und Regeleinschübe und das Hochspannungsnetzteil, während im mittleren Schrank der de-Q-ing-Kreis installiert ist. Diese beiden Schränke werden zusammen mit dem PFN (auf Kabeltrommeln gewickelte Koaxialkabel - rechte Bildseite -) im Keller des Synchrotrontunnels aufgestellt, während der Doppelhalbschrank mit dem Thyatron, dem koaxialen Polumschalter und dem Absorber neben dem Magneten im Ring angeordnet wird. Für die Injektionskickermagneteinheit muß im Ringkeller ein weiterer Halbschrank aufgestellt werden, in dem das Thyatron 2 mit dem Abschlußwiderstand für die Absorption der reflektierten Energie untergebracht ist.

Der Aufbau der Pulsanordnung in mehreren Halbschränken



hat gegenüber der Konstruktion eines großen, gemeinsamen Schrankes für alle Komponenten eine Reihe von Vorteilen:

- a) Leicht zu transportieren und flexibel in der Aufstellung, insbesondere bei engen Platzverhältnissen,
- b) bei Störungen können einzelne Halbschränke in kurzer Zeit ausgewechselt werden,
- c) es können lagermäßig vorhandene Schränke verwendet werden, wodurch Konstruktionskapazität und Kosten gespart werden.

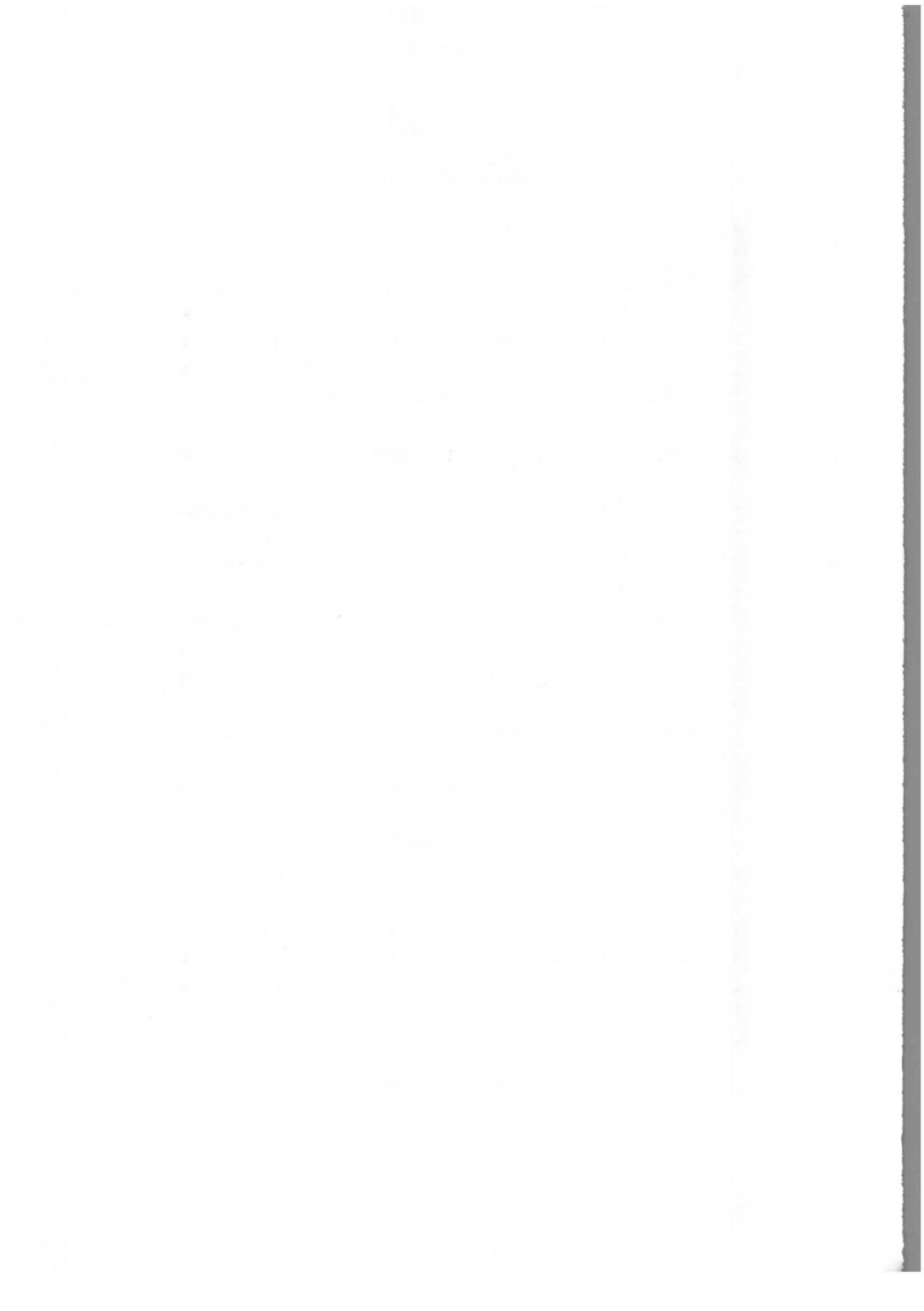


Der konstruktive Aufbau der Magnete

Bei der konstruktiven Gestaltung der Magnete war eine Vielzahl von Randbedingungen zu berücksichtigen. Eine besondere Schwierigkeit war, daß die Magnete im Vakuumsystem des Synchrotrons bei ca. 10^{-7} Torr eingesetzt werden müssen. Besonders für den aus geblechten Magnetblöcken bestehenden Septummagneten bedeutete dies eine Reihe von Vorversuchen.

Der Septummagnet der Strahlen 29 und 46 besteht aus 23 5 cm starken Magnetblöcken, die isoliert auf einer Konsole mittels Federelementen verspannt sind. Die Herstellung der Magnetblöcke ist in (7) beschrieben. Abb.5 zeigt den Querschnitt durch den Magneten. Als Leiter werden elektrolytisch hergestellte, mit Kühlwasserkanälen versehene Kupferschienen verwendet, die an den Enden mit Anschlußstücken verlötet und mittels isoliert angeordneter Spanndrähte gefedert in der Apertur in Position gehalten werden (Abb.5a). Die Vorspannung dieser Drähte muß sehr hoch sein, da die Leiter großen Belastungsschwankungen unterworfen sind und keinesfalls in Resonanz versetzt werden dürfen. Die Leiter werden durch eine glasfaserverstärkte Beschichtung mit dem vakuumfesten Araldit AT1 gegen die Magnetblöcke isoliert. Der montierte Magnet wird in einem Vakuumtank justierbar installiert (Abb.5b). Da für die Strahlen 29 und 46 gleiche, jedoch spiegelbildlich montierte Magnete benötigt werden, wurde die Konstruktion so ausgelegt, daß der Magnet auch um 180° zur Sollbahnachse gedreht montiert werden kann.

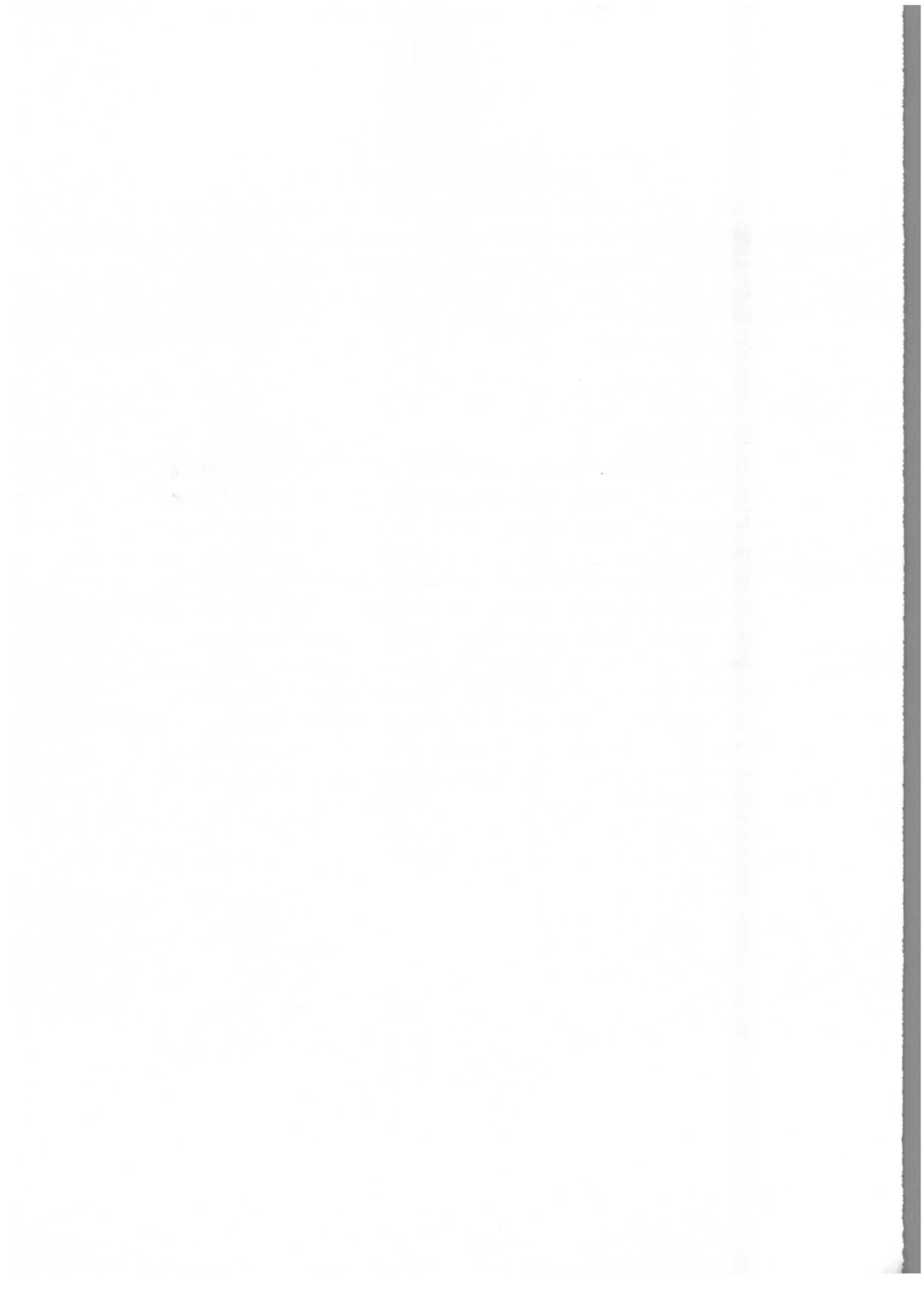
Die Strom- und Kühlwasseranschlüsse werden isoliert



und über Faltenbälge vom Tank entkoppelt nach außen geführt. Der Magnet wird nach dem Einbau zu den am Tank befindlichen Vermessungsmarken justiert, so daß nach Montage im Synchrotron eine genaue Magnetvermessung nach den äußeren Vermessungsmarken möglich ist. Abb. 6 zeigt den Prototyp eines Magnetabschnittes, an dem die Blockverspannung und die Leiterhaltung getestet wird.

Kickermagnet

Die Kickermagneteinheiten bestehen aus 25 mm starken, eng toleriert geschliffenen Ferritplatten (Ferroxcube 4 B2), die entsprechend Abb.7 zu einem C-Joch angeordnet werden. Das Paket wird mit Klammerblechen verspannt und isoliert im Gehäuse gehalten. Der Leiter besteht aus einer Kupferschiene, die außerhalb der Einheit in die Anschlußstücke übergeht. Die Kickereinheiten werden im Tank verschraubt. Über Keramikdurchführungen werden die Leiterenden mit den Kabelanschlußsteckern, in denen sich auch die Kompensationskondensatoren befinden, verbunden. Abb.8 zeigt einen aus 3 Kickereinheiten bestehenden Ejektionsmagneten. In Abb.9 ist eine Prototyp-Magneteinheit dargestellt.

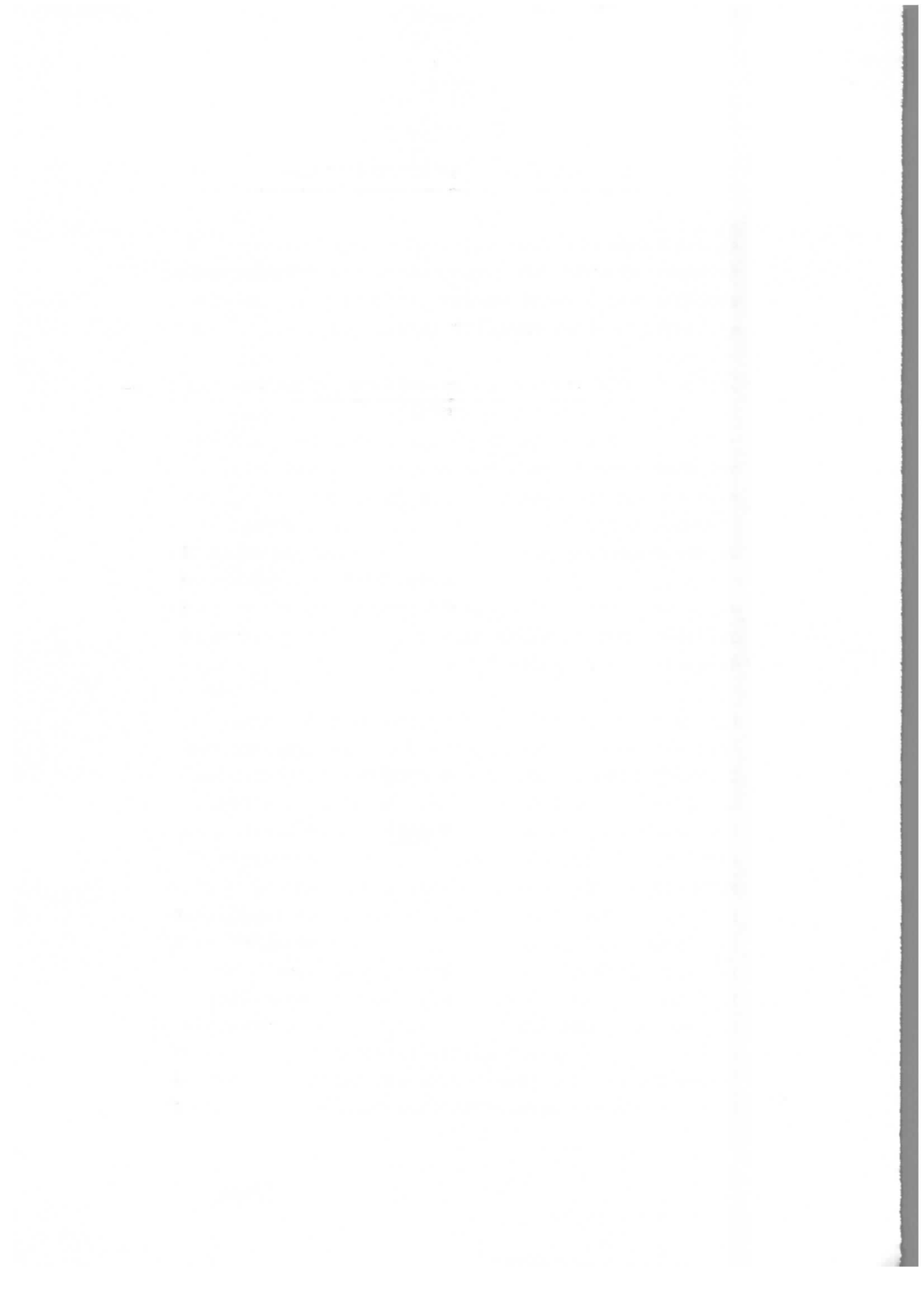


Meßergebnisse an den Prototypen

An den Prototypen der Pulsanordnungen und der Magnete wurden Strom-, Spannungs- und Feldmessungen vorgenommen. Daneben wurden die Geräte in Langzeitversuchen auf Zuverlässigkeit getestet.

Der erste Prototyp-Septummagnet wurde mit der in Abb.2b beschriebenen Thyristorpulsanordnung auf ca. 7 kA erregt. Es zeigte sich dabei, daß die bei diesem Magneten verwendete Block- und Leiterverspannung den dynamischen Belastungen bei voller Erregung auf 20 kA nicht gewachsen sein würde. Um den Magneten, der für die Injektion von Linac II nur auf 5 kA erregt werden muß, nicht zu gefährden, wurde auf eine weitere Erhöhung des Stromes verzichtet. Die Konstruktion wurde daraufhin wie in Abb.5 und 6 dargestellt, geändert.

Zur Messung des zeitlichen Stromverlaufs wurden im Septumpulser auf der Primär- und Sekundärseite des Impulstransformators Wandler eingesetzt. Außerdem wurde mit einer 130 cm langen und 10 mm breiten Meßsonde (10 Windungen) der zeitliche Feldverlauf gemessen. Es zeigte sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen sekundärseitigem Strom und Feld im Gap. Mit der gleichen Sonde wurde die magnetische Flußdichte außerhalb des Magneten gemessen. Sie ist auf Grund des verwendeten magnetischen Schirmes in 5 mm Abstand weniger als 1%o des Septumfeldes. Die Spannungsstabilisierung mit der "de-Q-ing-Schaltung" ist sehr wirksam. Die Amplitudenschwankung von Strompuls zu Strompuls betrug ca. 0,4%o. Abb.10a zeigt den oszillografierten Spannungs- und Stromverlauf

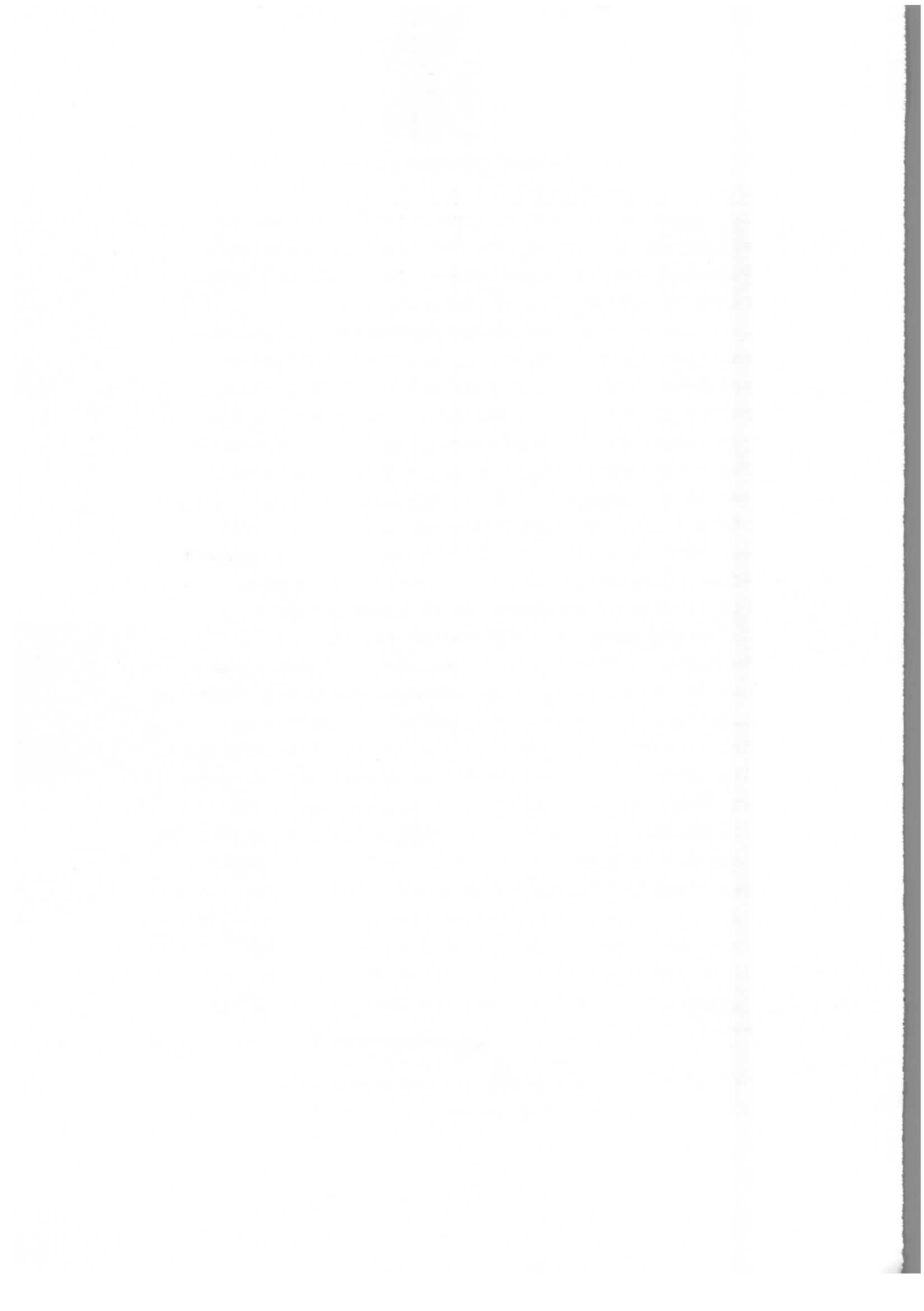


im Pulser, Abb.10b den Feldverlauf im Magneten.

Prototyp-Kicker-Magnet

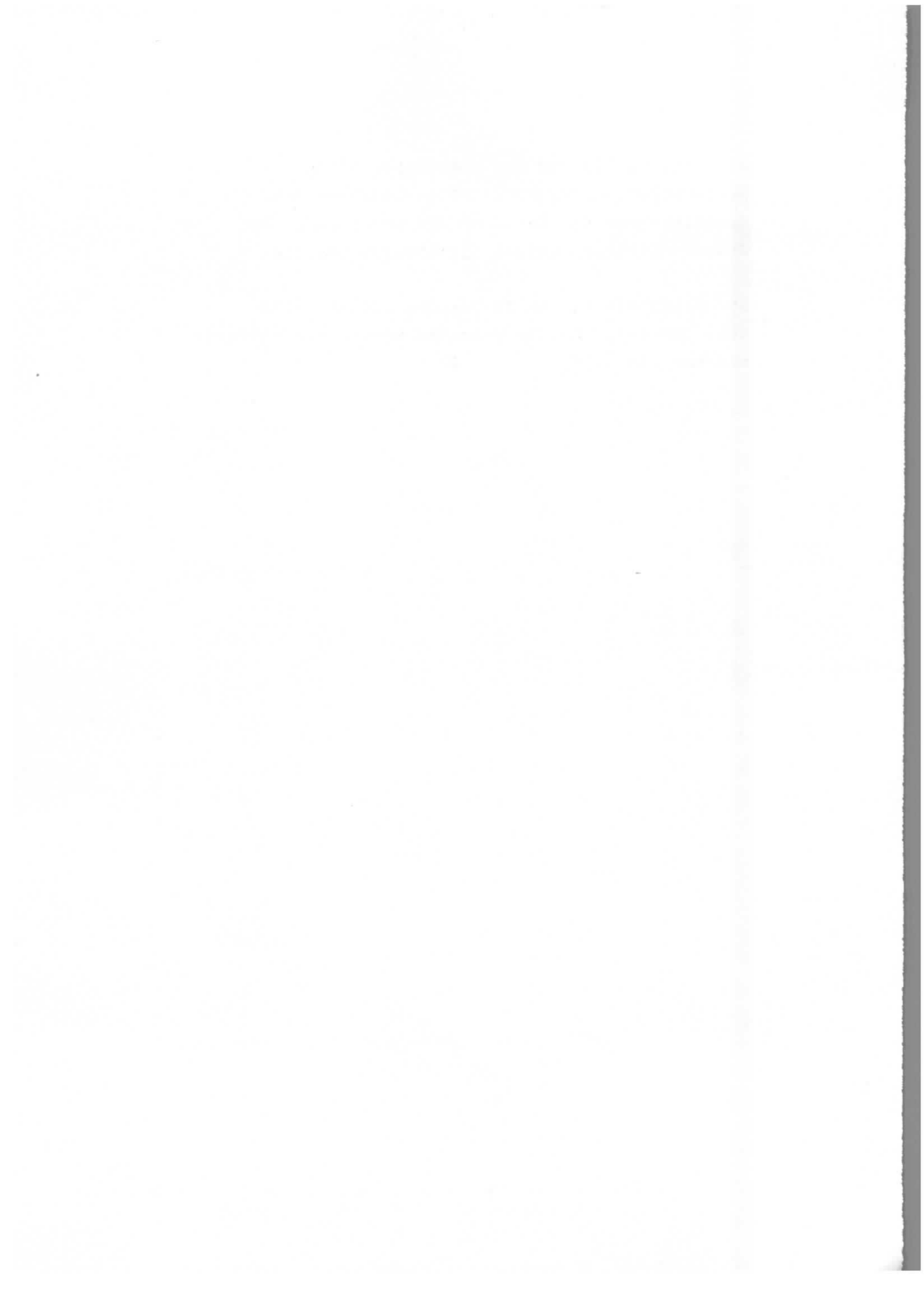
Messungen an einer Prototyp-Kickereinheit wurden sowohl mit der in Abb.3c beschriebenen Ejektions-Pulsanordnung als auch mit der in Abb.3e beschriebenen Injektions-Pulsanordnung durchgeführt. Dabei wurde die zweckmäßige Verteilung der Kompensationskondensatoren ermittelt. Die Amplitudenabweichung von Puls zu Puls war wie beim Septumpulser kleiner als 0,5%. Es zeigte sich, daß die gemessenen Pulsflanken sehr gut mit den berechneten Werten übereinstimmen. Im Magneten und zwischen Magnet und Absorber (hinter der Kompensation) wurden Stromwandler zur Ermittlung des zeitlichen Stromverlaufes installiert. Der Feldverlauf wurde mit einer 50 cm langen und 5 mm breiten Meßsonde (12 Windungen) gemessen. Es wurde eine sehr gute Übereinstimmung von Feldverlauf und Stromverlauf des im Magneten installierten Wandlers festgestellt. Bei der Feldmessung ergab sich auf Grund der niedrigen Signale die Schwierigkeit, daß die Störungen auf den Erdleitungen sich der Pulsform überlagerten. Diese Störungen konnten jedoch bei entsprechender Kompensation am Meßaufbau weitgehend beseitigt werden. Da im eingebauten Zustand des Magneten weder die Feldmeßsonde noch der im Magneten eingebaute Wandler zur Signalgewinnung zur Verfügung steht, muß die Pulsform an dem zwischen Magnet und Absorber installierten Wandler abgenommen werden. Im Oszillogramm der Abb.11g ist die durch die Kompensation des Magneten hervorgerufene Verzerrung des Strompulses gegenüber dem Feldpuls zu sehen.

Das Oszillogramm der Abb.11a zeigt den zeitlichen Spannungsverlauf am pulsformenden Netzwerk, während



die Abb.11b bis 11d den zeitlichen Strom- und Feldverlauf der Ejektionskicker wiedergeben. Oszillogramme des Feld- und Stromverlaufs der Injektionskicker zeigen die Abb.11e bis 11g.

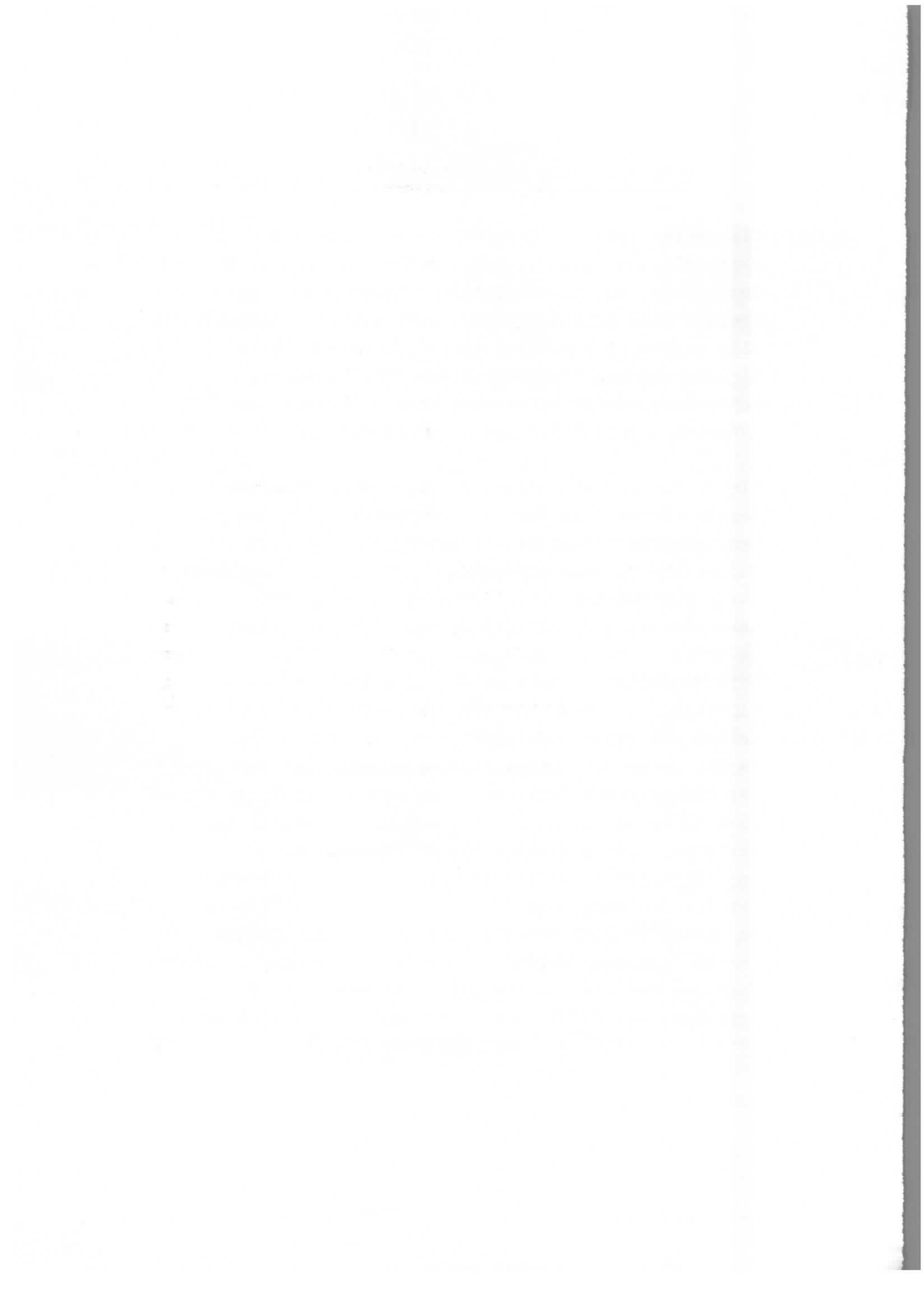
Die Feldabweichungen im Gap des Kickers sind über die ganze Breite gemessen worden und betragen weniger als 0,5%.



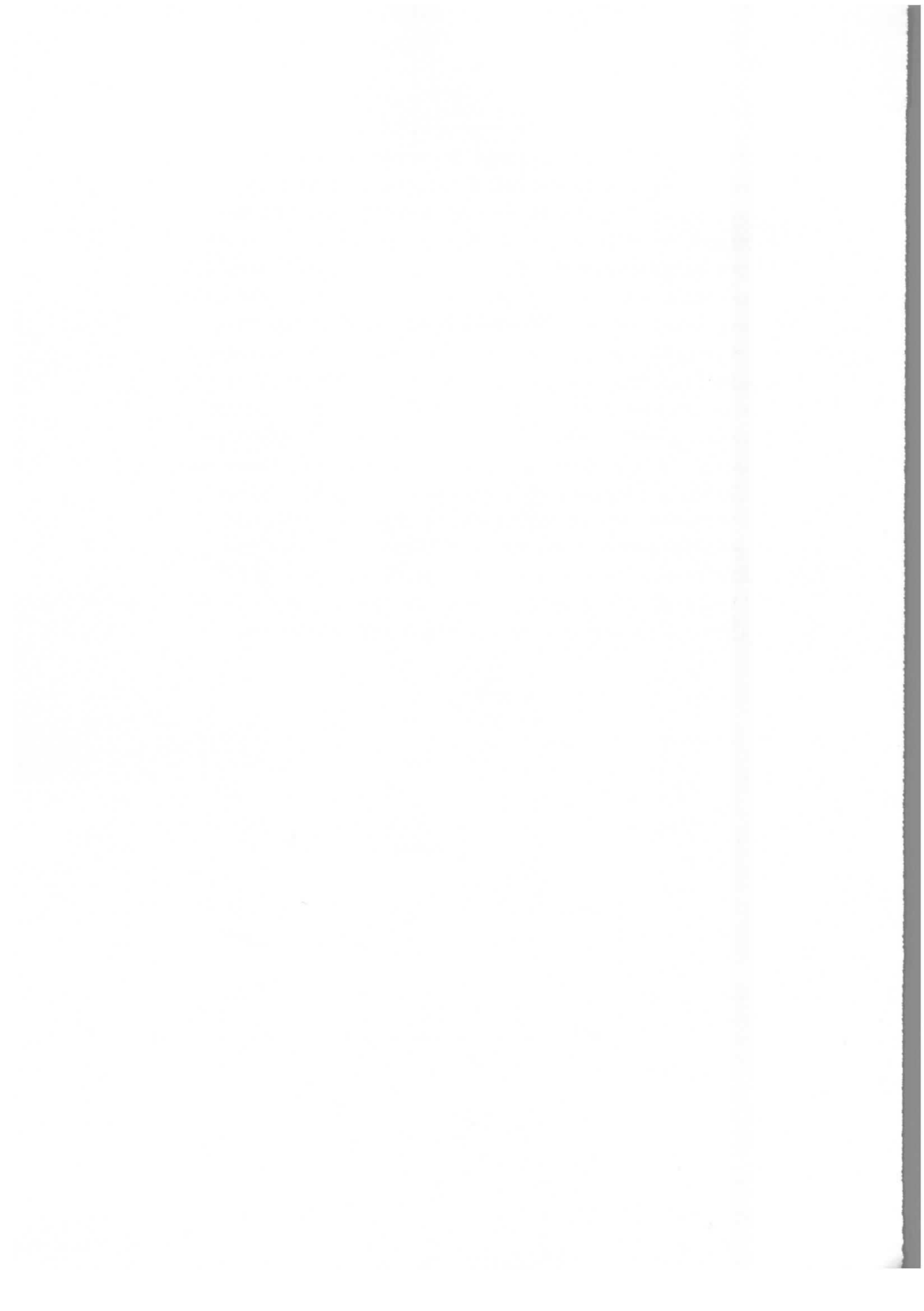
Fertigstellung und Einbautermin

Ein großer Teil der Entwicklungsarbeiten ist abgeschlossen. Die meisten Komponenten wie Stecker, Umschalter, koaxiale Thyratrongehäuse und Stromwandler sind entwickelt und erprobt. Die Pulsgeräte sind aufgebaut und teilweise erprobt (10). Eine Einrichtung zur Umschaltung der Kompensationskondensatoren der Kicker bei Umpolen des Feldes muß noch entwickelt werden.

Ein Prototyp-Septummagnet wurde vermessen und in der Montagezeit im Herbst 1969 im Strahl 46 des Synchrotrons eingebaut. Er wurde ca. 500 h bei Injektionsfeldstärke betrieben. Wie oben beschrieben, wurde zum Betrieb bei Ejektionsfeldstärke eine Umkonstruktion erforderlich, die voraussichtlich im April ds.Js. abgeschlossen sein wird. Die erforderlichen Magnetbleche sind inzwischen mit einer Lieferverzögerung von 8 Monaten eingetroffen, so daß mit einer Fertigstellung der Magnetblöcke im Mai gerechnet werden kann. Bei schneller Fertigung der mechanischen Teile kann der erste endgültige Magnet dann im September ds.Js. erprobt und eventuell in der diesjährigen Montagezeit gegen den z.Zt. installierten ausgetauscht werden. Die Konstruktion der 32° Septummagnete für den rechten Injektionsweg im Strahl 43 wird voraussichtlich im Mai beginnen und im September abgeschlossen sein. Der Einbau dieses Magneten und des Pulsers ist nicht vor Ende 1971 zu erwarten. Der Aufbau der Ejektionsstelle für Strahl 23 wird voraussichtlich erst 1972 möglich sein.

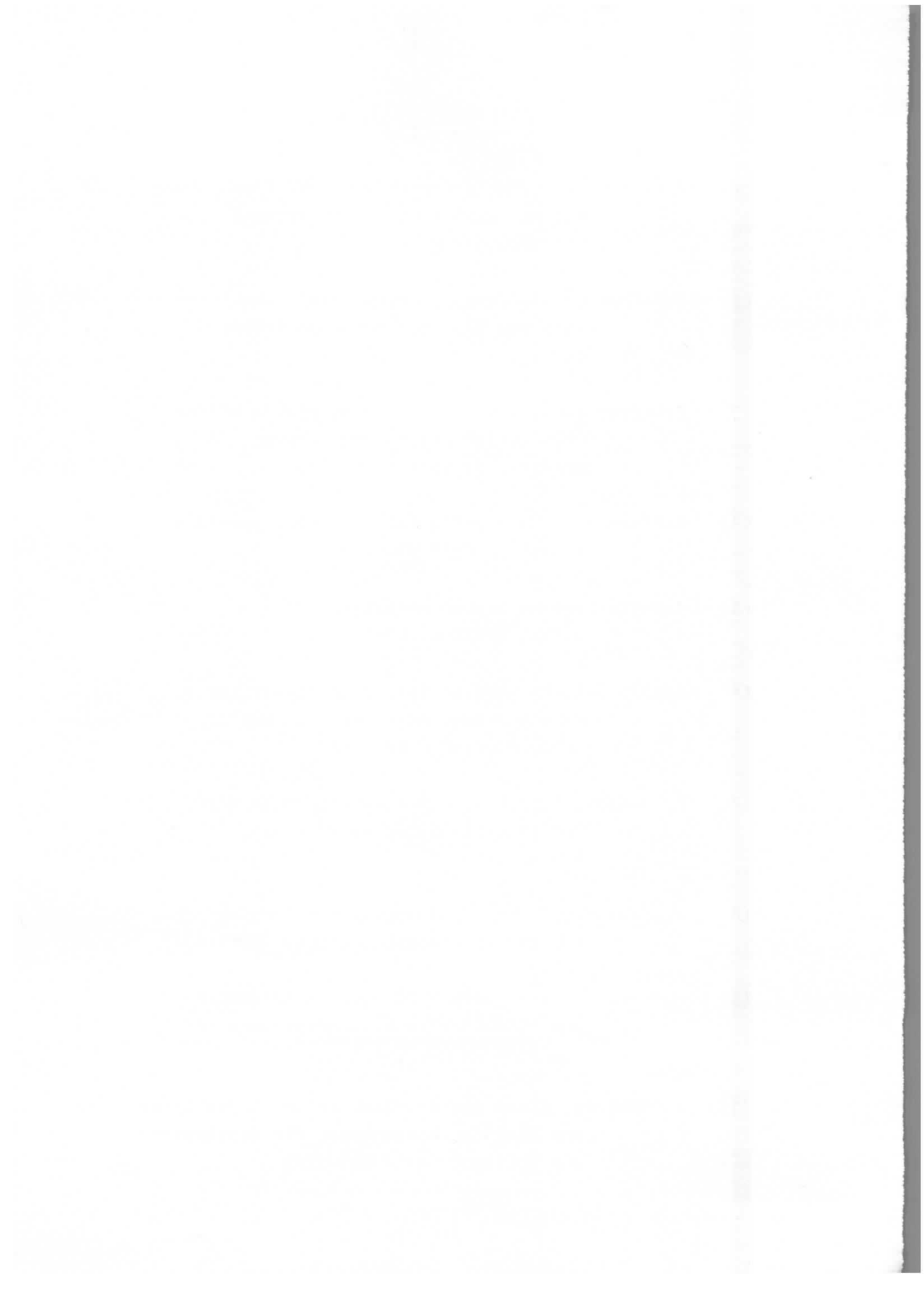


Für Injektion des Strahls 46 wurde in der Montagezeit 1969 ein ferritloser Injektionskicker im Synchrotron installiert und erprobt. Auch dieser Magnet wird in der diesjährigen Montagezeit gegen den endgültigen Ferritkicker ausgetauscht, wenn die benötigten Ferritplatten termingemäß im Juni ds.Js. geliefert werden. Die Konstruktionsarbeiten für diesen Kicker sind abgeschlossen und die Aufträge erteilt. Ein Tank für die Injektion des Strahls 43, wo nur eine Kickereinheit benötigt wird, muß noch konstruiert werden. Die erforderlichen Pulsgeräte werden z.Tl. schon gefertigt. Bei voller Belastung treten sporadisch (ca. einmal in 48 Std.) Selbstzündungen in den Pulsern auf, deren Ursache noch geklärt werden muß. Es wird angestrebt, daß die Kickermagnete und die zugehörigen Pulsgeräte für Strahl 43 im Jahre 1971 und für Strahl 29 im Jahre 1972 im Synchrotron installiert werden können.



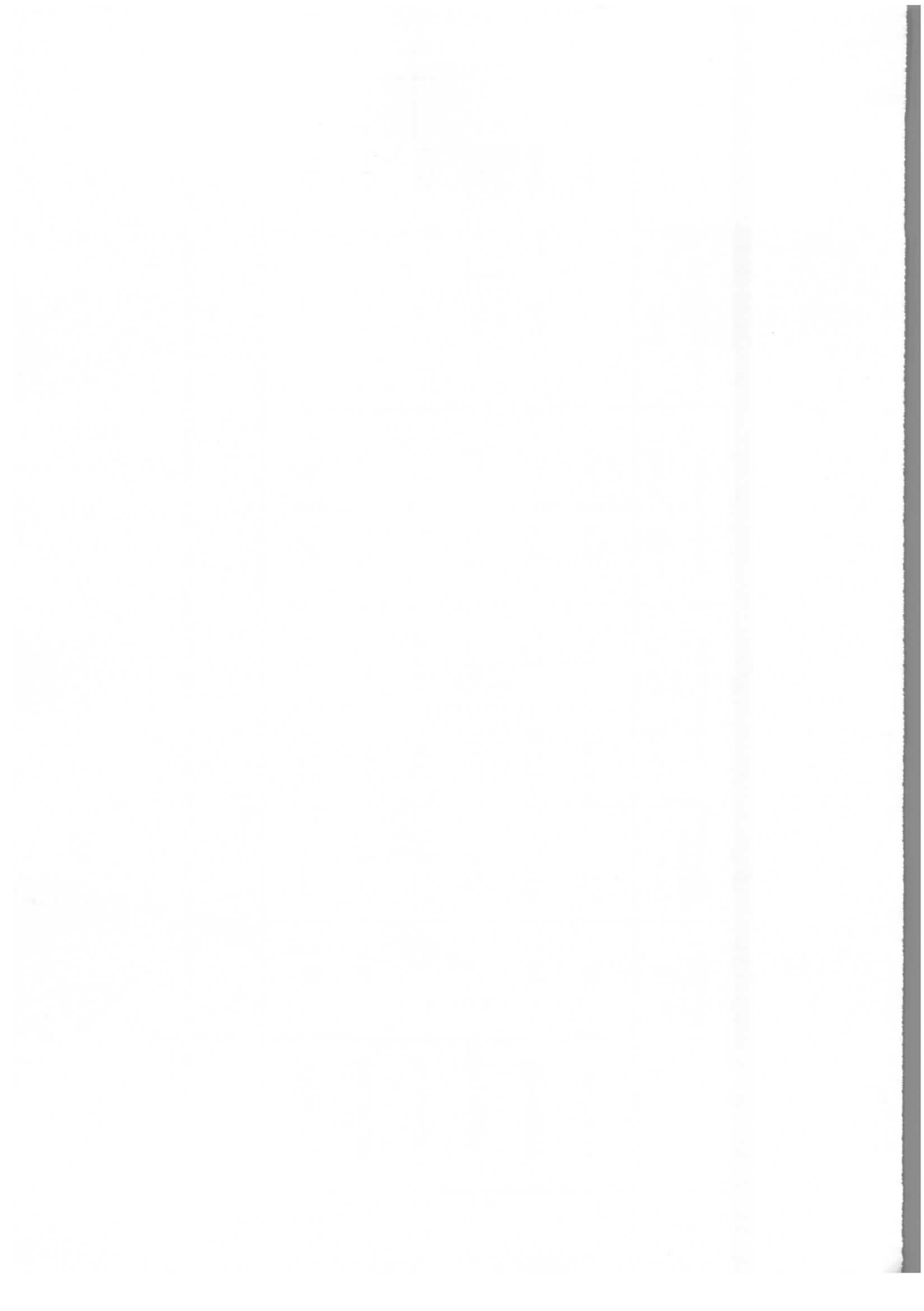
Literatur

- (1) G.Plass a.o., The extracted 25 GeV/c Proton Beam for the CERN Neutrino-Experiment
NPA/Int. 63-20
- (2) B.Kuiper and G.Plass, Operational experience with the CPS fast ejection system
CERN, NPA/Int. 65-26
- (3) B.Kuiper a.o., The fast ejection system of the CERN 25 GeV proton synchrotron
NPA/Int. 63-15
- (4) H.Fischer, Some reflections on full aperture kickers, CERN 63-24
- (5) Calculations on septum magnets
CERN, MPS/Int. 63-3
- (6) Septum magnets with 10 and 20 kV fields for slow and fast ejection from the CPS
CERN, MPS/Int. RF 65-12
- (7) H.Sandvoß, Herstellung der Magnetblöcke für den Injektions-Septum-Magneten,
DESY-H3/2
- (8) H.Wiedemann, Strahlführungssystem für den 300 MeV-Linearbeschleuniger DESY 68/3
- (9) H.Gerke, Überlegungen zum Bau von Inflektor- und "One-turn" - Ejektoranordnungen
DESY-H7
- (10) J.Rümmler, Stand der Arbeiten an den Injektions- und Ejektionskomponenten für Synchrotron und Speicherring DESY-H3/3



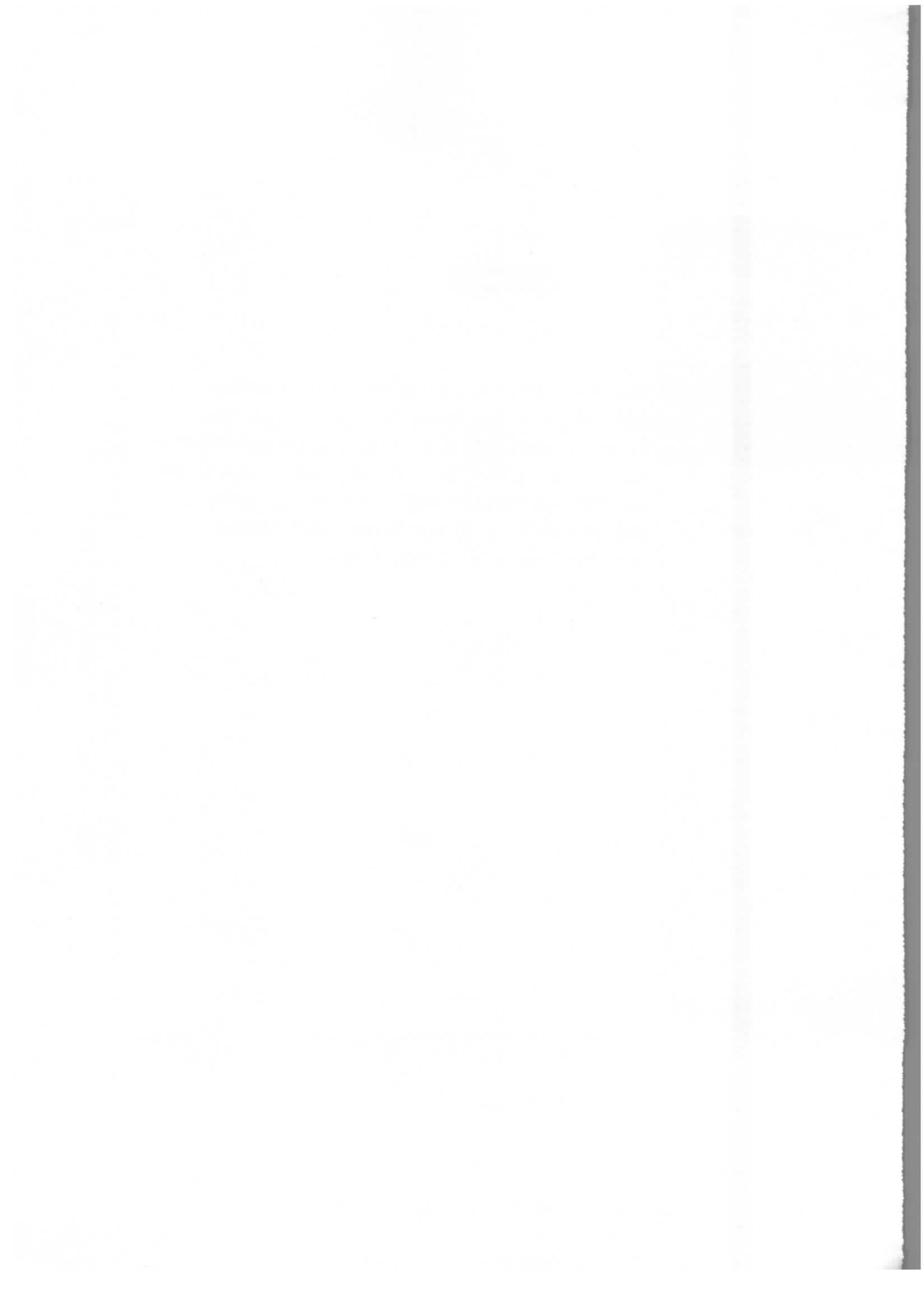
	Strahl	Teilchen Energie (GeV)	Kickerwinkel		Septumwinkel		Kickerfeld	Septumfeld
			(Grd)	(mrad)	(Grd)	(mrad)	(r _m)	(r _m)
Ejektion	29	2,0	0,566	9,7	6,9	120	650	8000
Ejektion	46	2,0	0,566	9,7	6,9	120	650	8000
Injektion	43	0,320	0,657	11,5	30,68	535	123	5750
Injektion	43	0,350	0,657	11,5	30,68	535	135	6250
Injektion	46	0,320	0,657	11,5	6,625	114	123	1220
Injektion	46	0,350	0,657	11,5	6,625	114	135	1320

Tabelle I Ablenkwinkel und Feldstärken der Magnete in den Injektions- und Ejektionswegen



Danksagung

Die konstruktive Gestaltung der Magnete und Geräte wurde im wesentlichen von den Herren Jäger, Adelt und Ganske durchgeführt. Wir danken ihnen für Diskussionen, Vorschläge und Verbesserungen und für die Begeisterung, mit der eine optimale technische Lösung der Probleme angestrebt wurde.



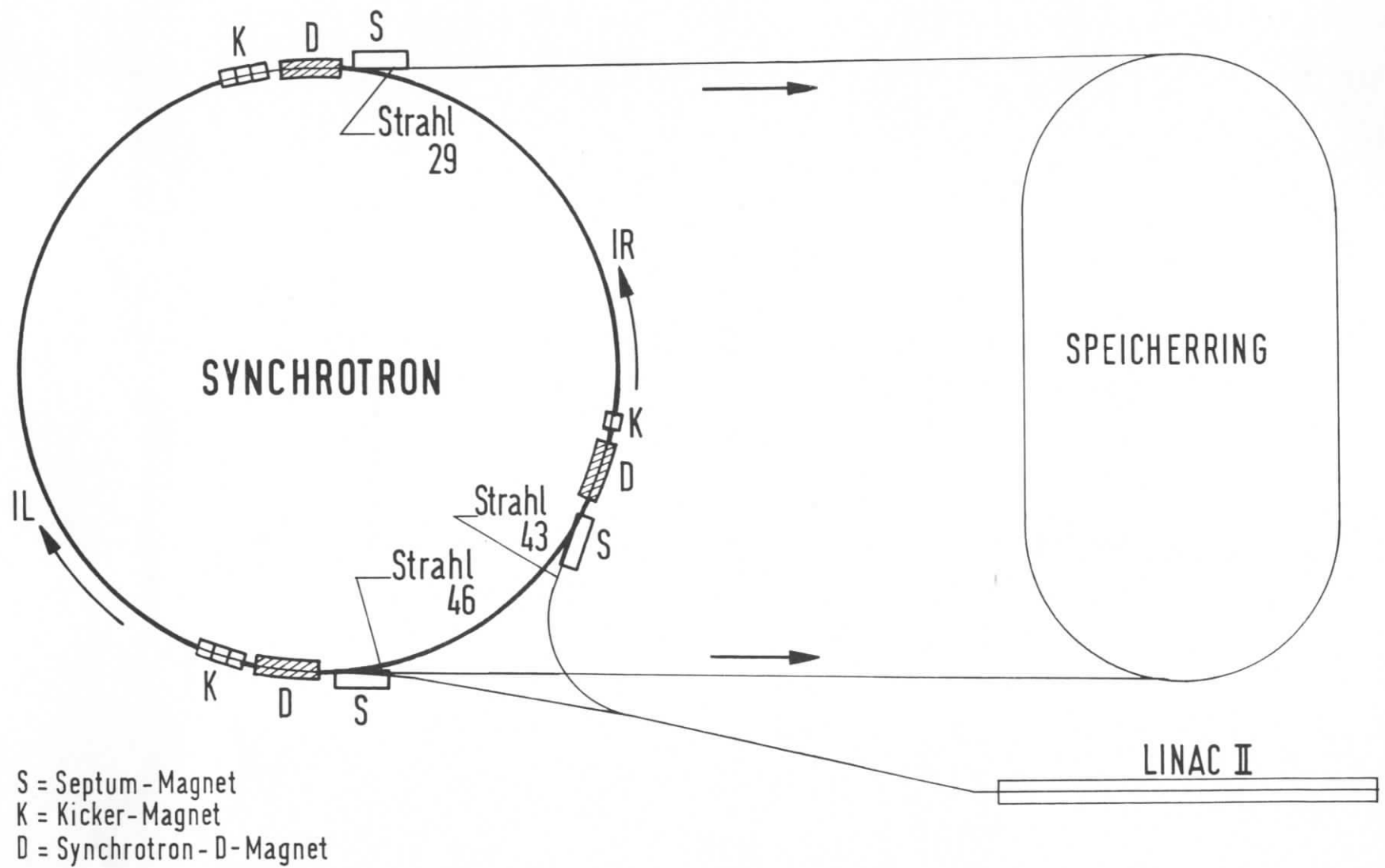
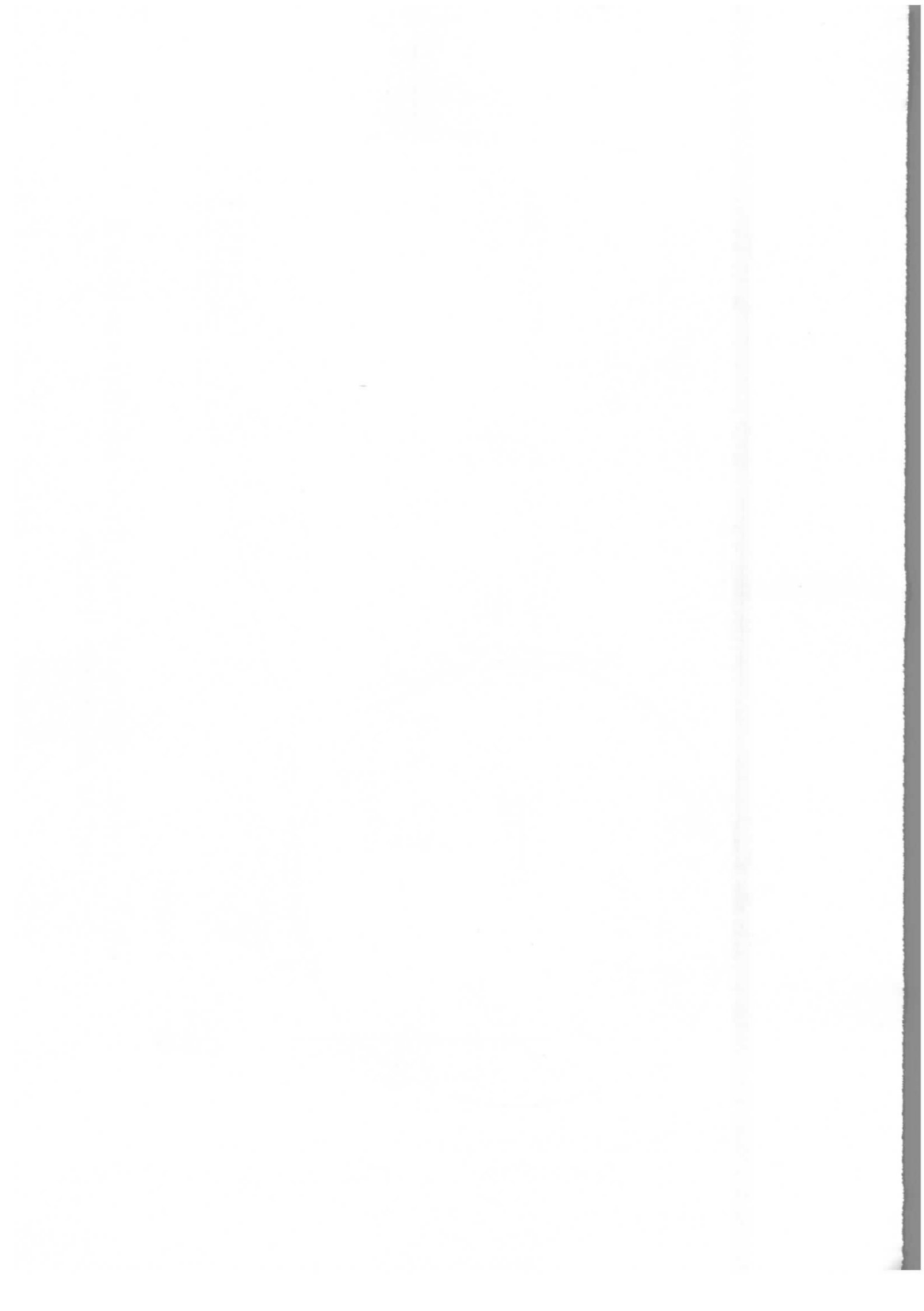


Abb.1 Kicker-u. Septum-Magnete für die Injektion von Linac II und für die schnelle Ejektion



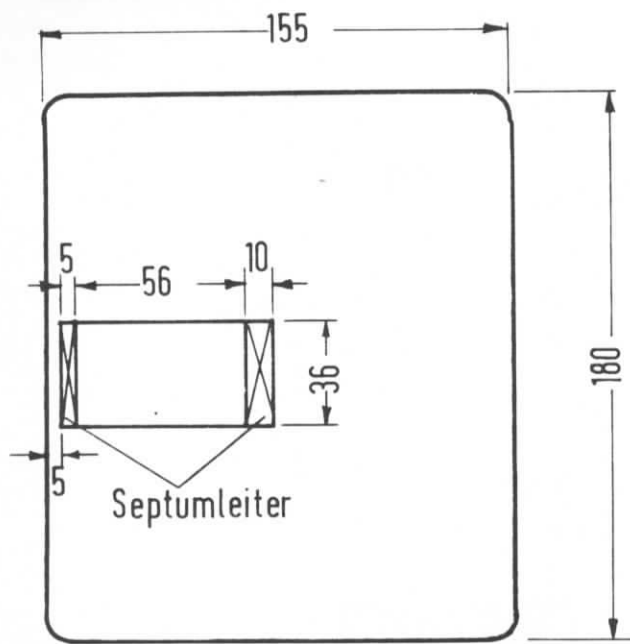


Abb. 2a - c

Abb. 2a Querschnitt durch den Septum-Magnet

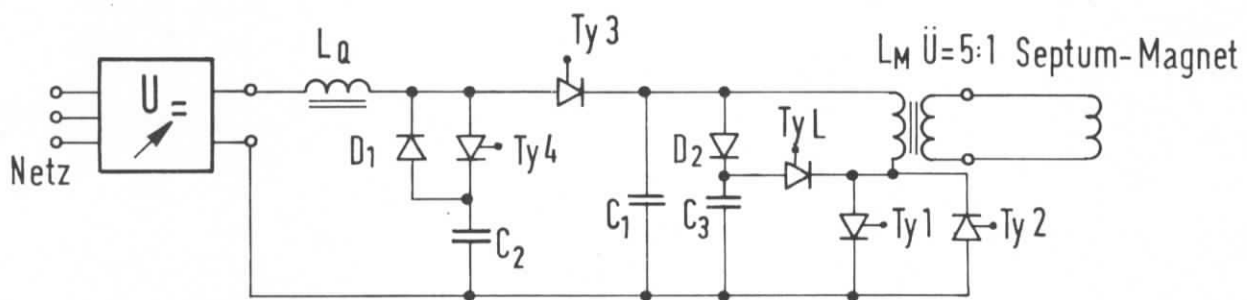


Abb. 2b Prinzipielle Schaltung der Septum-Pulsanordnung

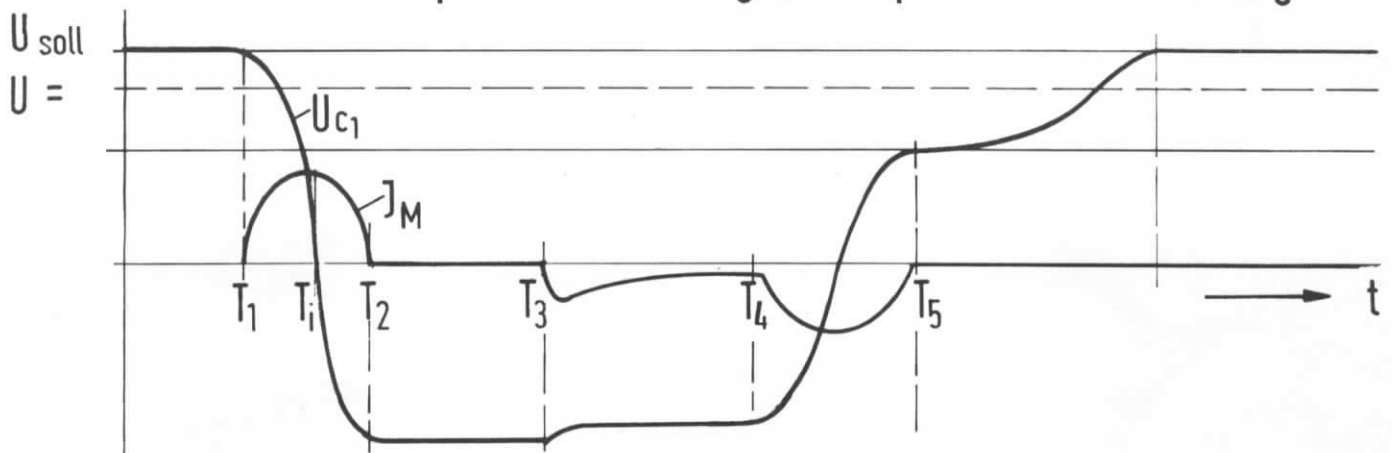
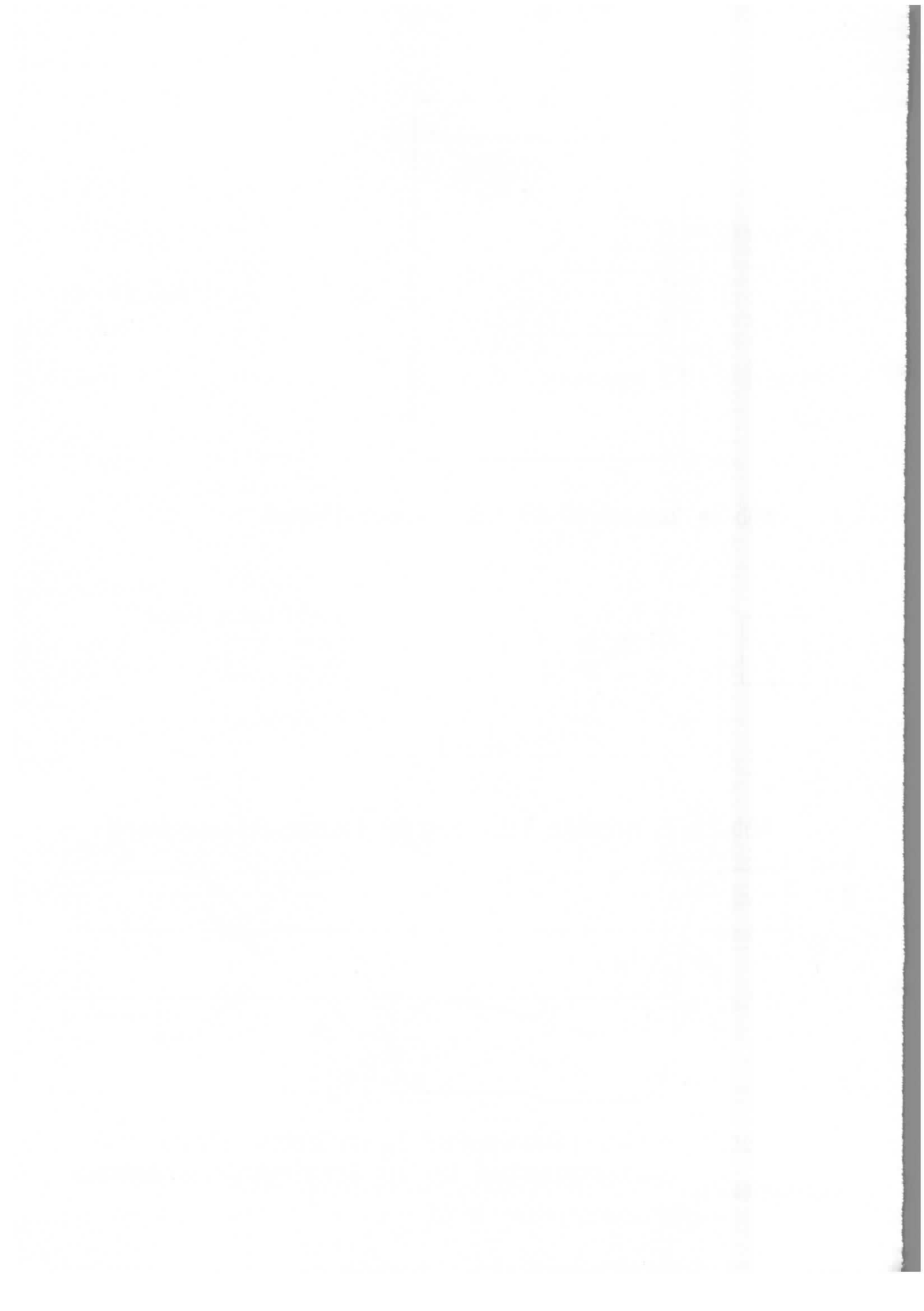


Abb. 2c Zeitlicher Stromverlauf J_M im Septum-Magnet und Spannungsverlauf U_{C1} am Schwingkreis-Kondensator



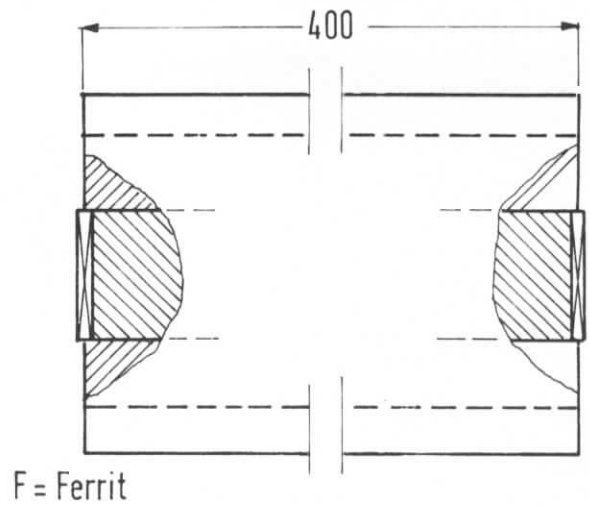
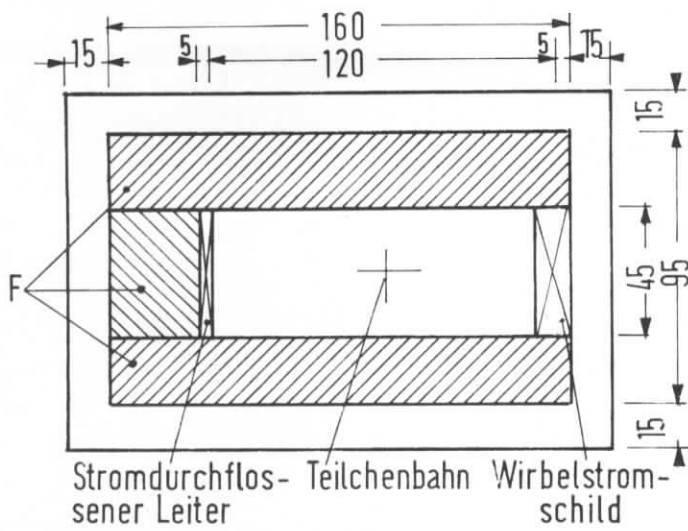


Abb. 3a Querschnitt durch Kicker-Magneten Abb.3b Kickermagnet, Seitenansicht

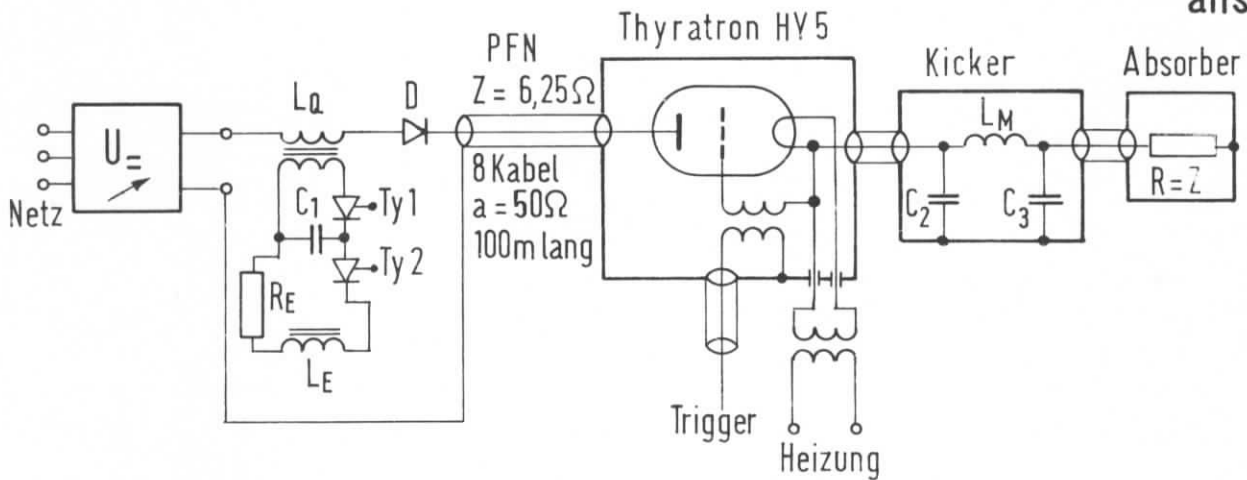


Abb. 3c Prinzipielle Schaltung der Kicker - Pulsanordnung für Ejektion

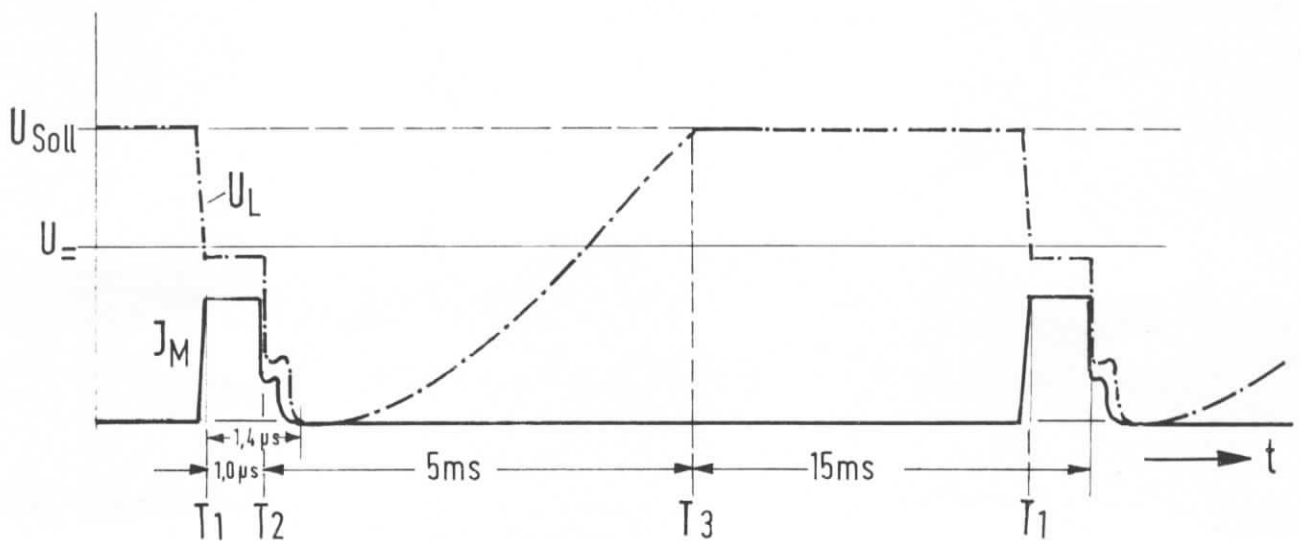
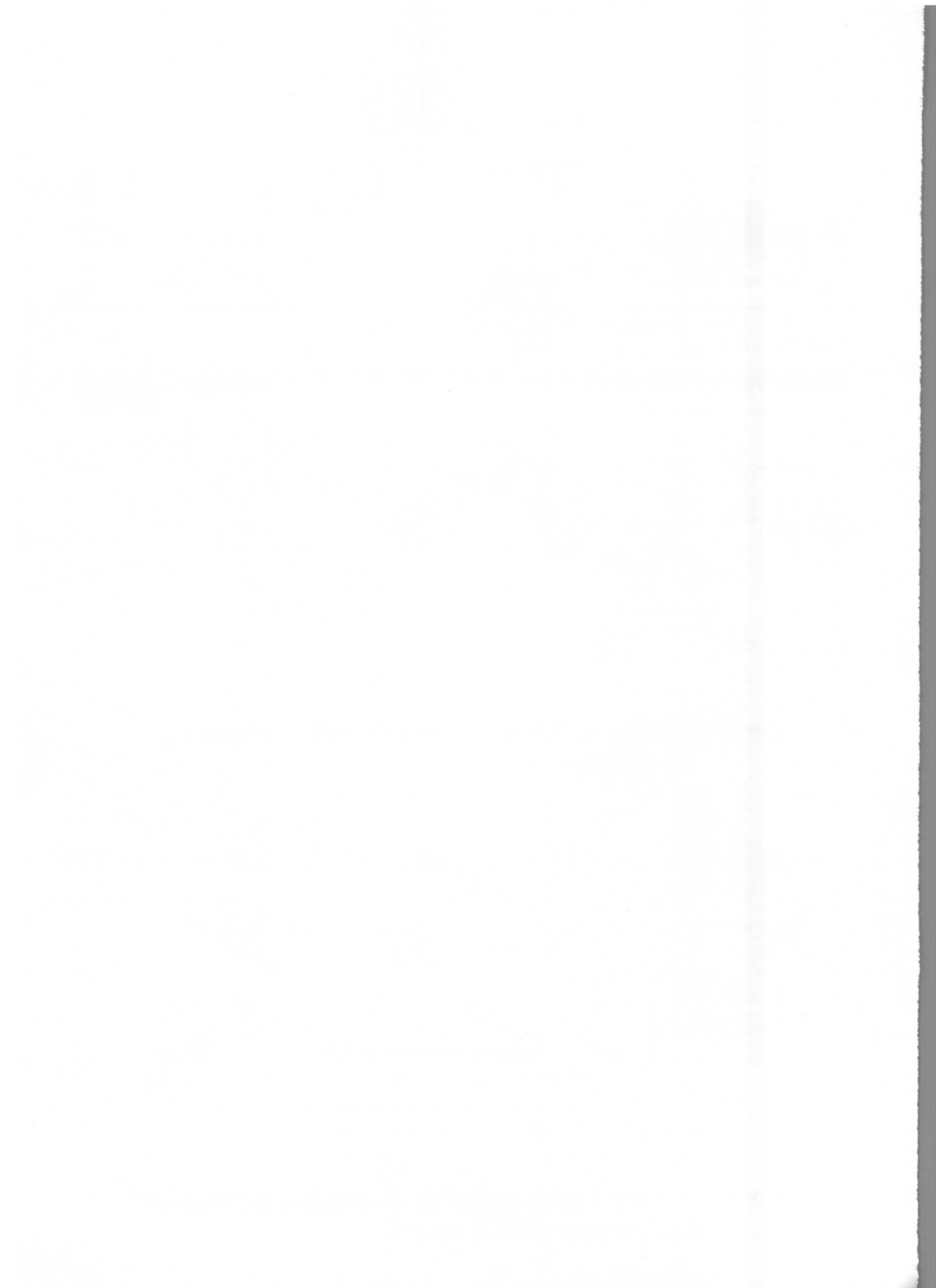


Abb.3d Zeitlicher Stromverlauf J_M im Kicker-Magneten und Spannungsverlauf U_L am PFN



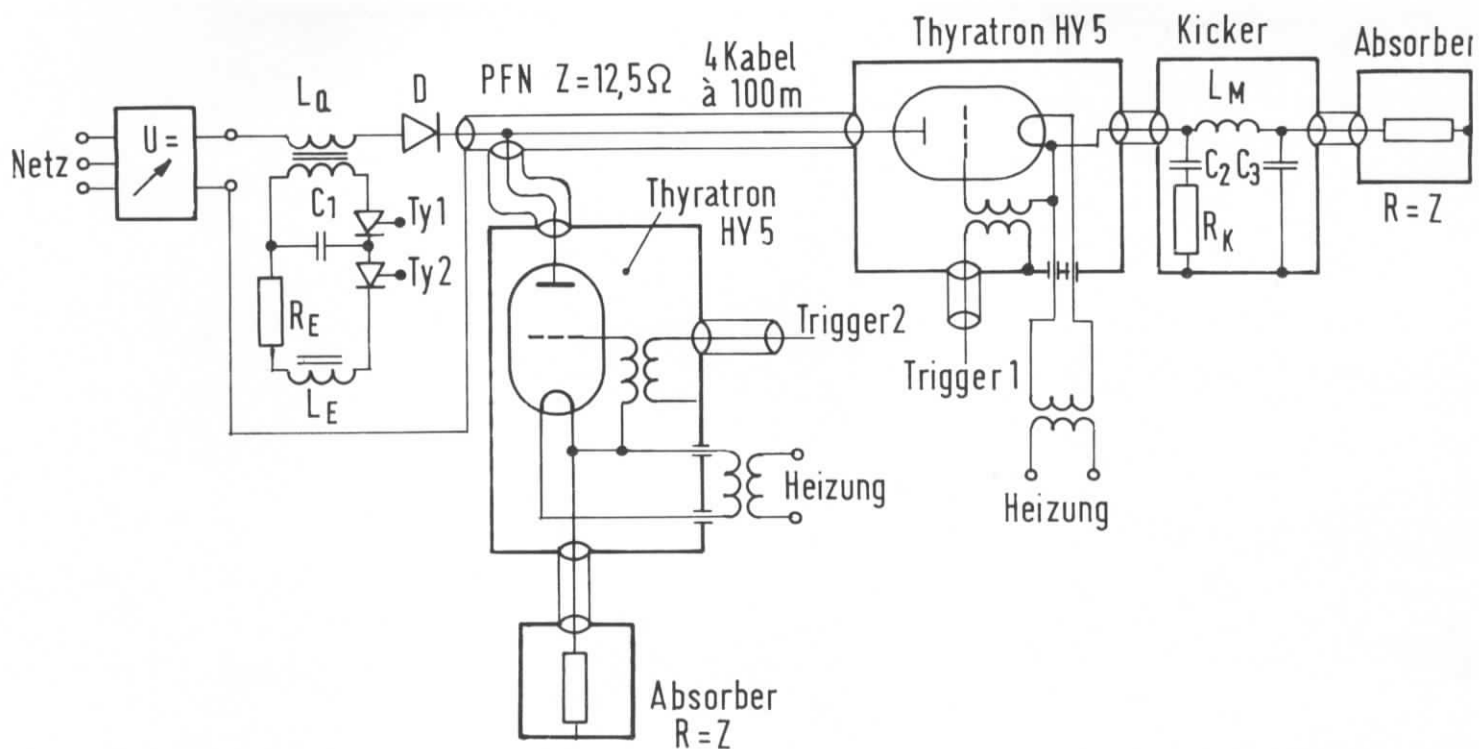


Abb. 3e Prinzipielle Schaltung der Kicker-Pulsanordnung für Injektion

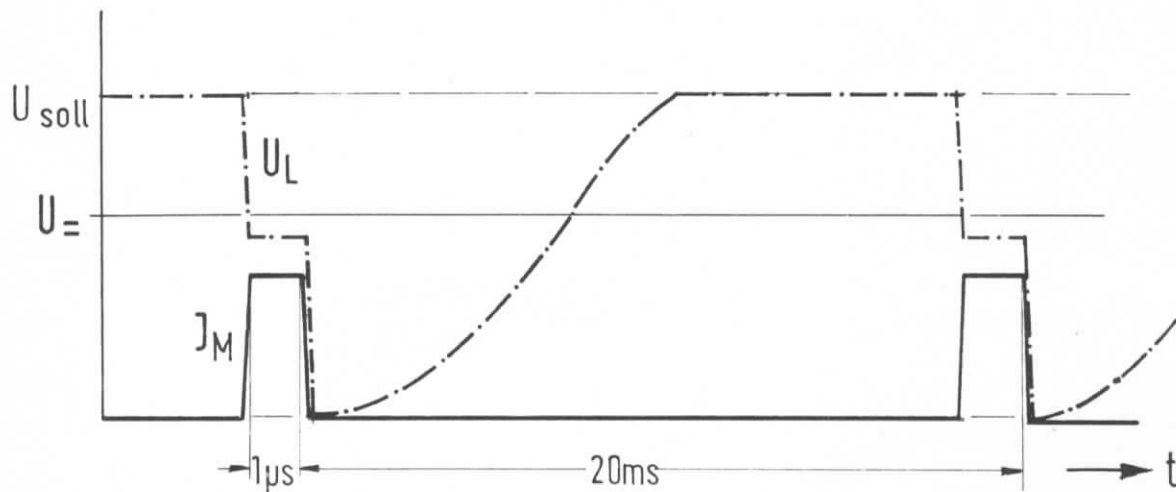
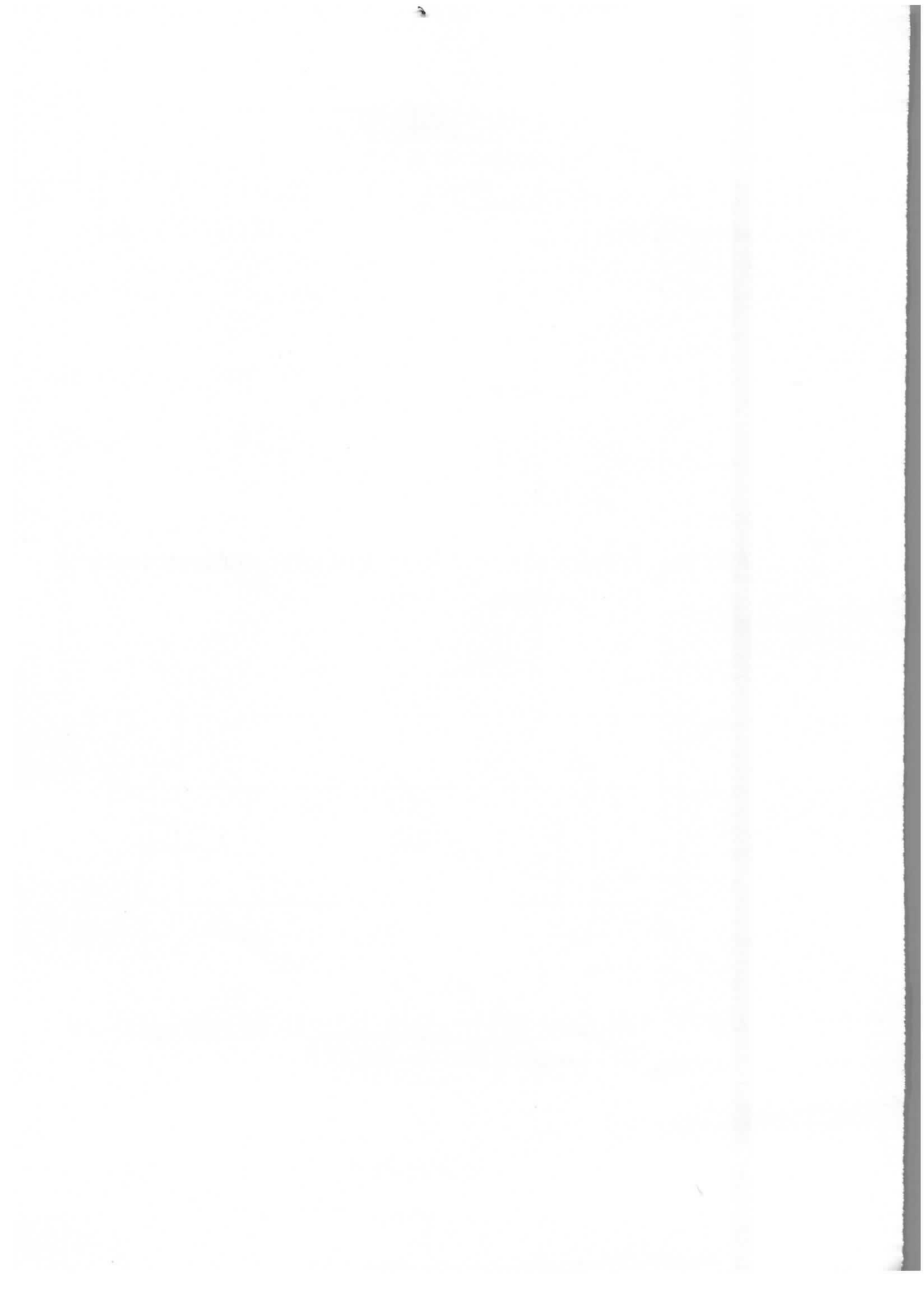


Abb. 3f Zeitlicher Stromverlauf J_M im Kickermagneten und Spannungsverlauf U_L am PFN

Abb. 3e-f



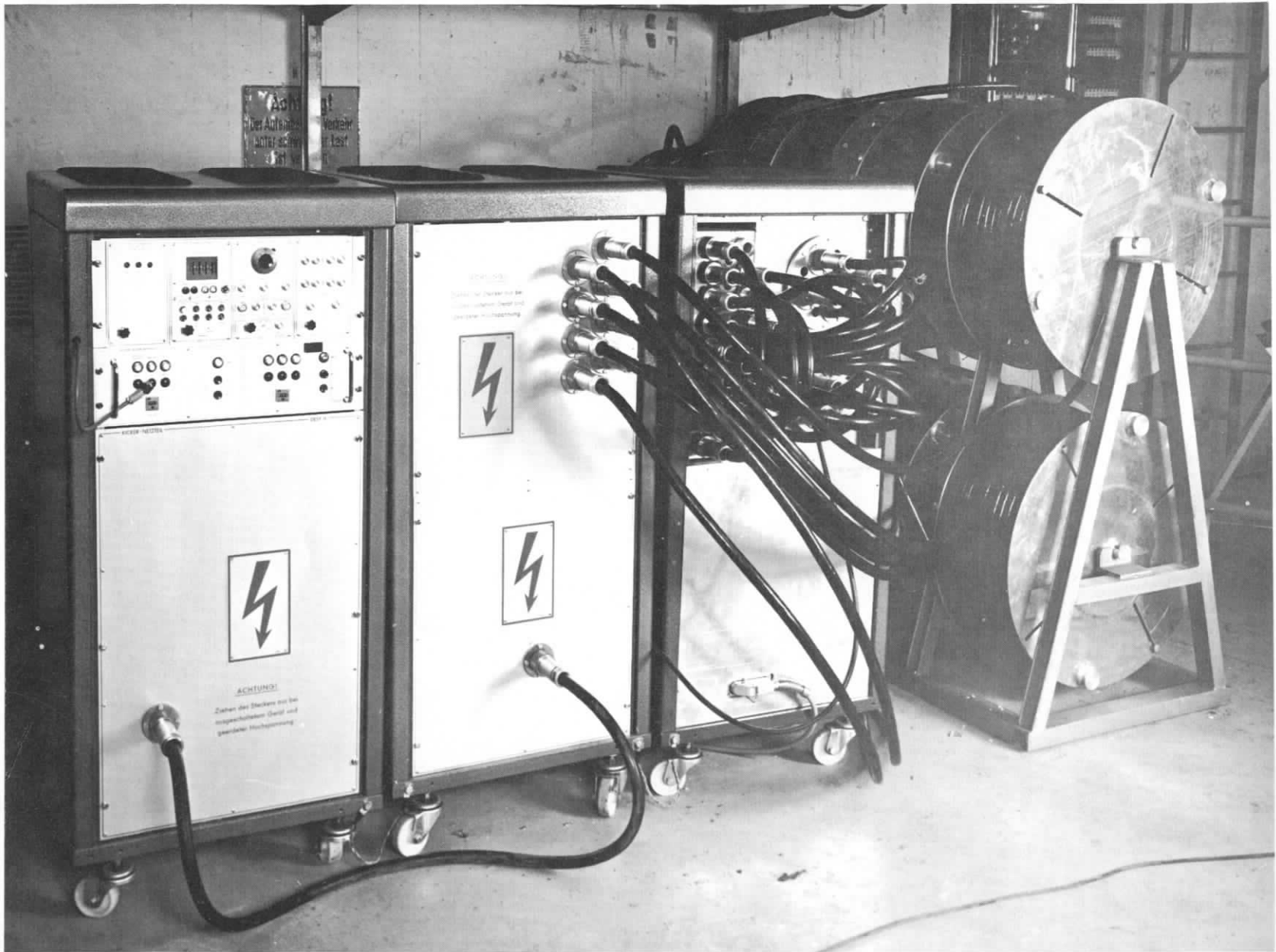
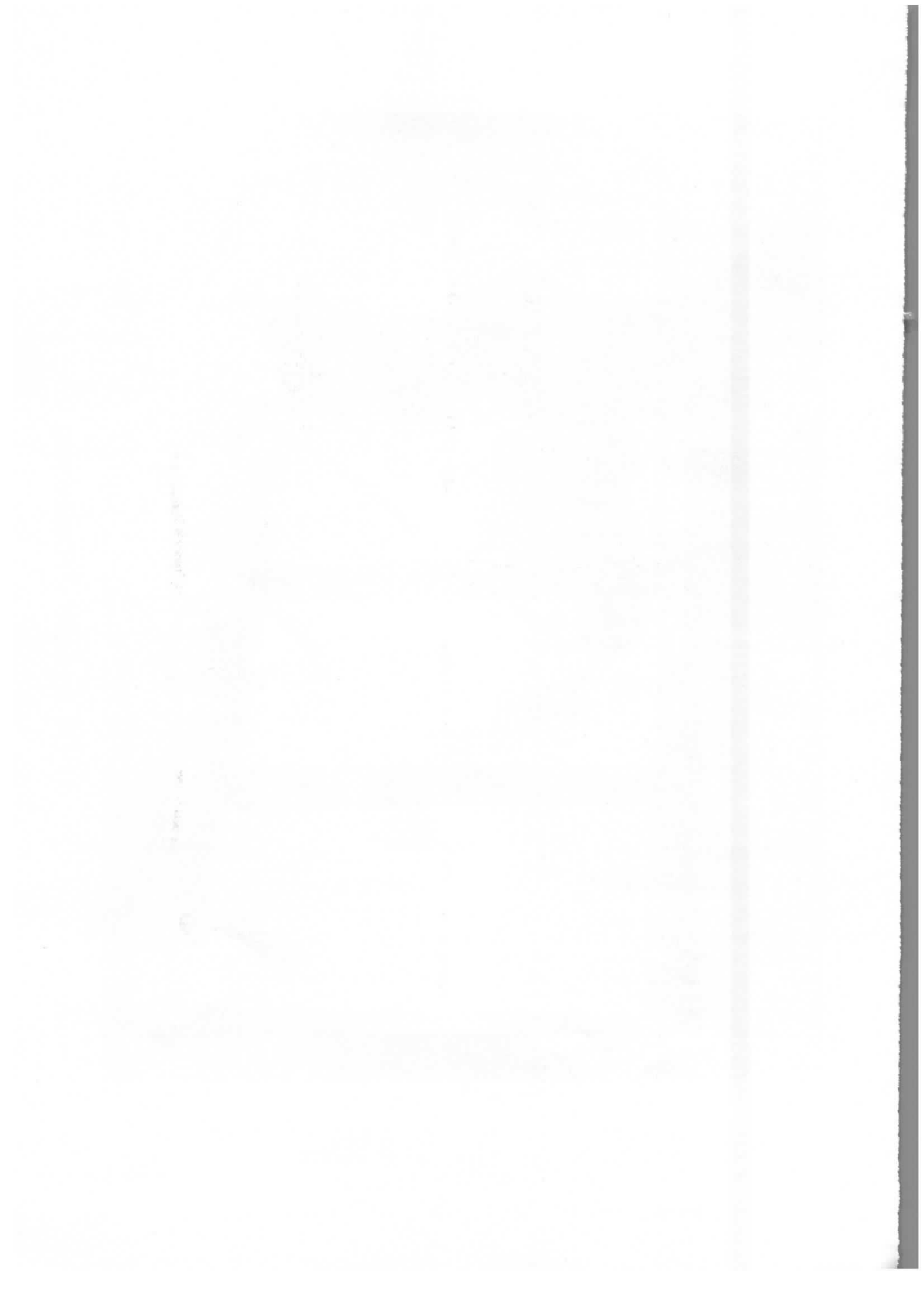
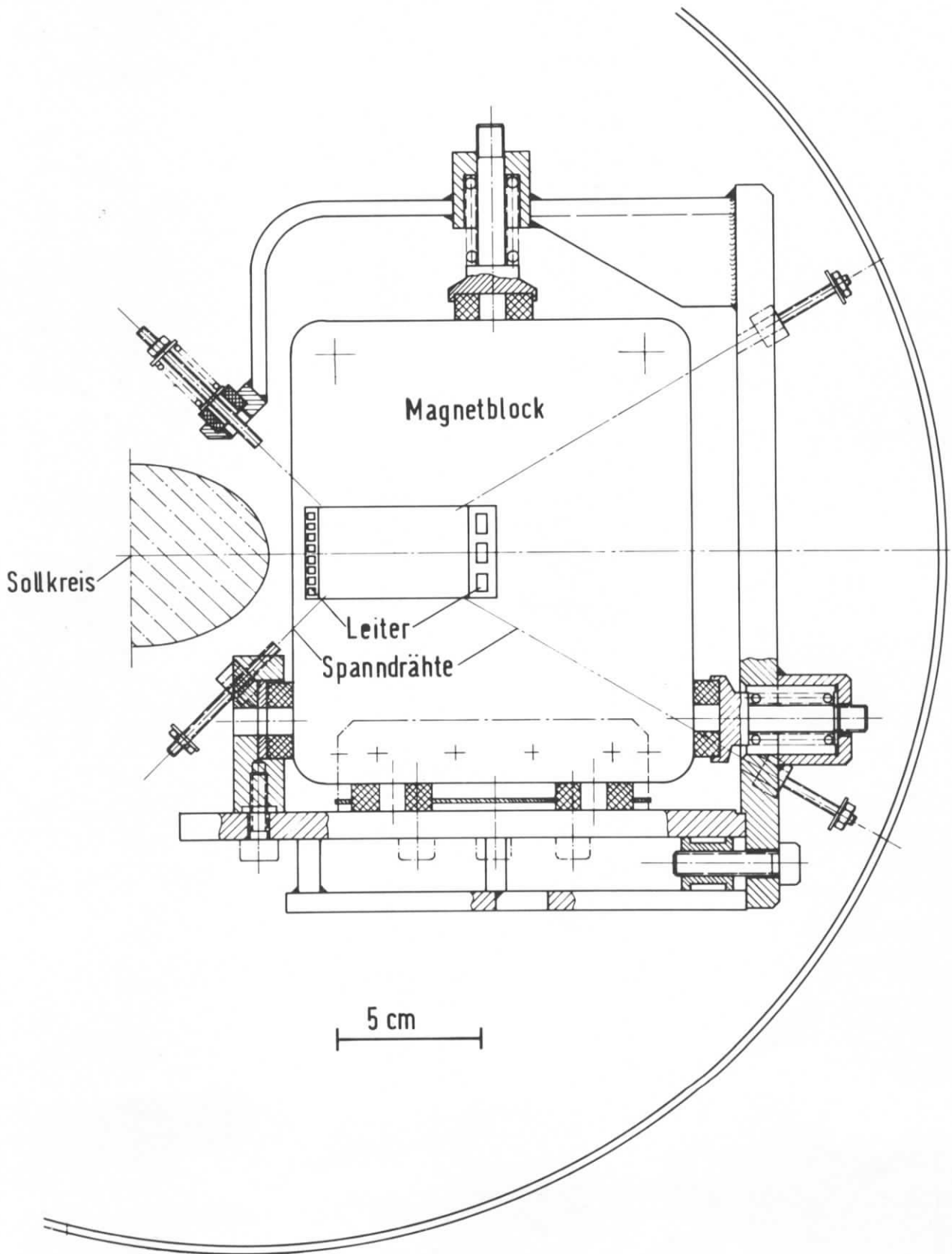


Abb. 4

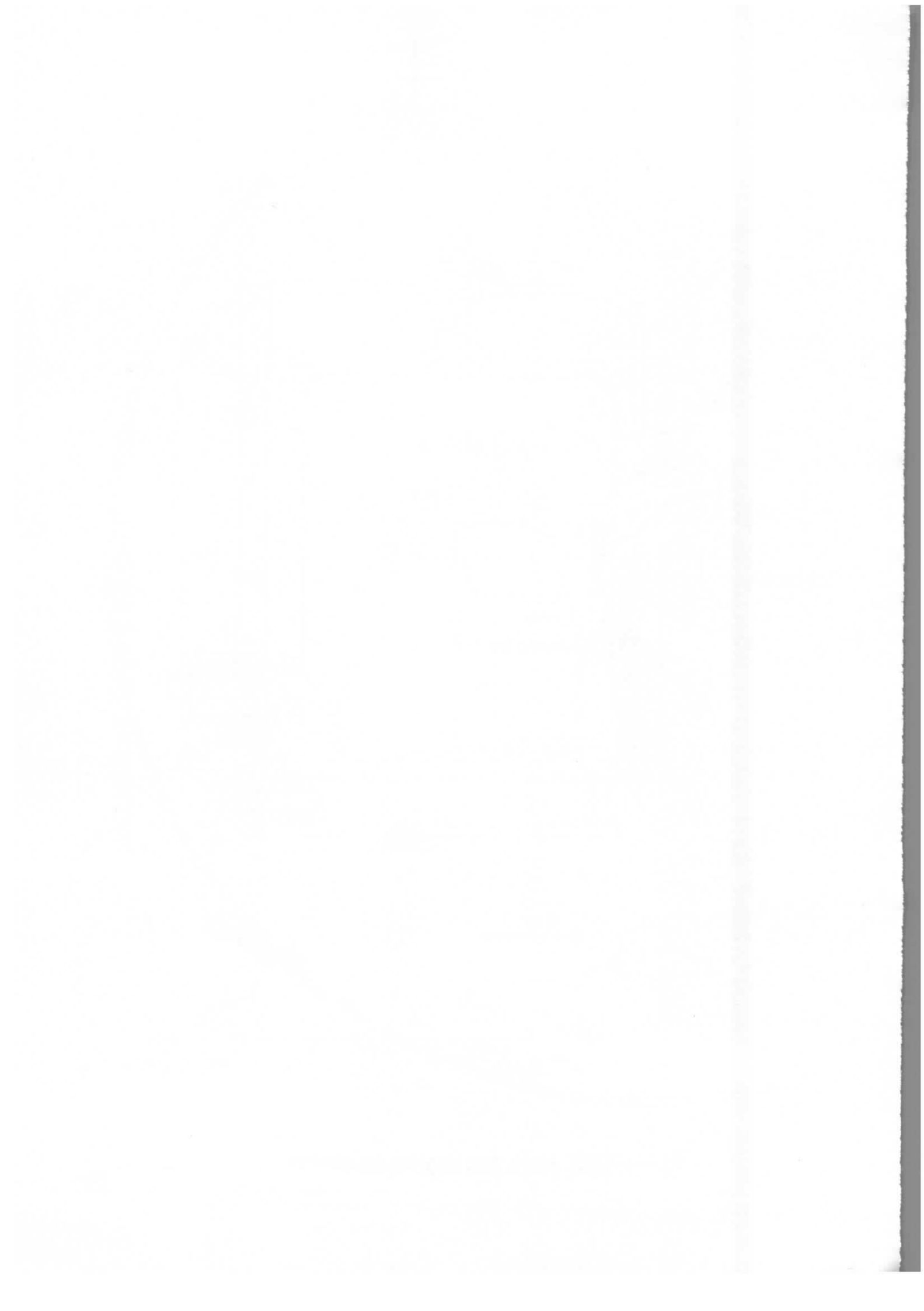
Aufbau der Kicker-Pulsanordnung

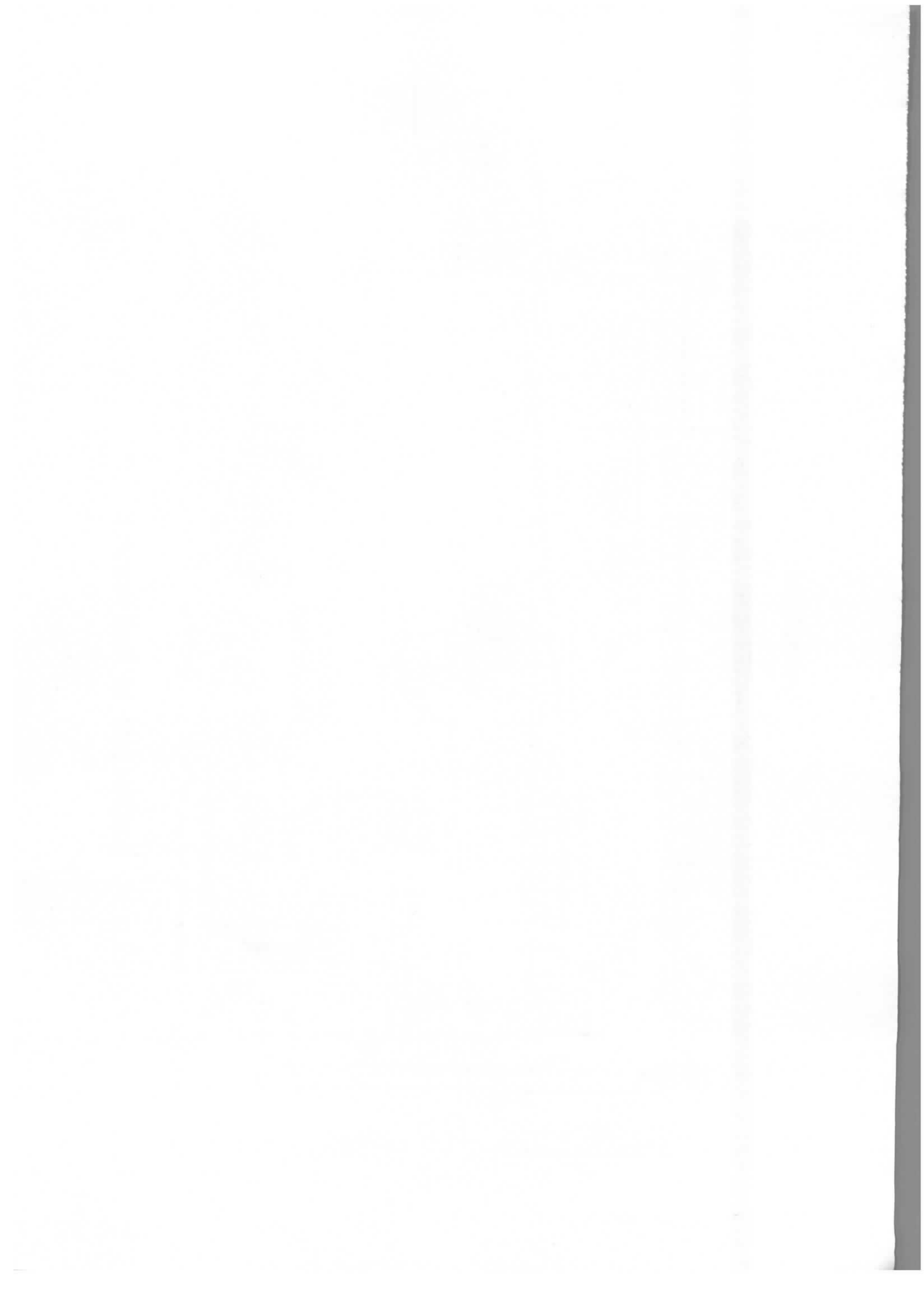


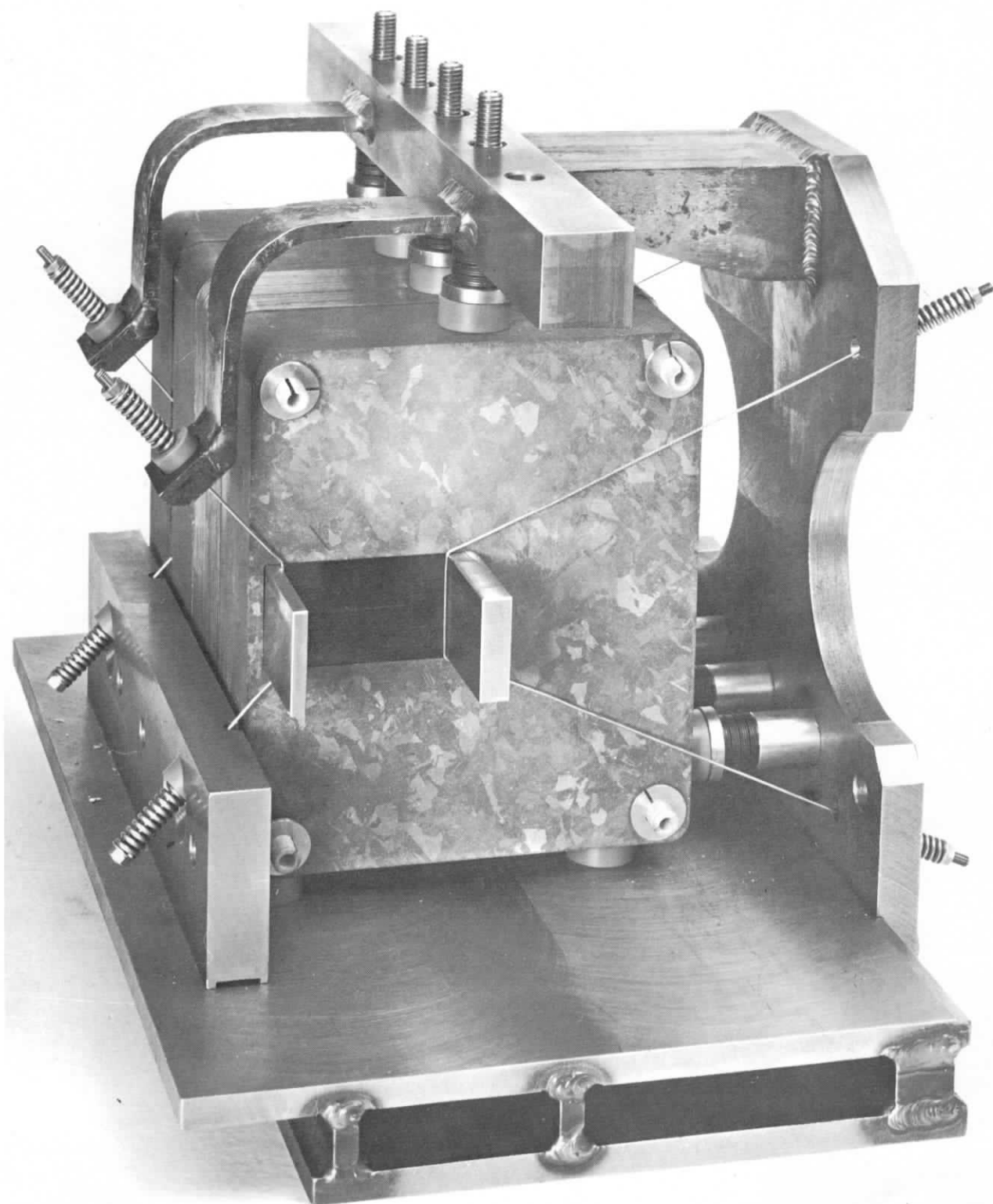


Querschnitt durch den Septummagneten

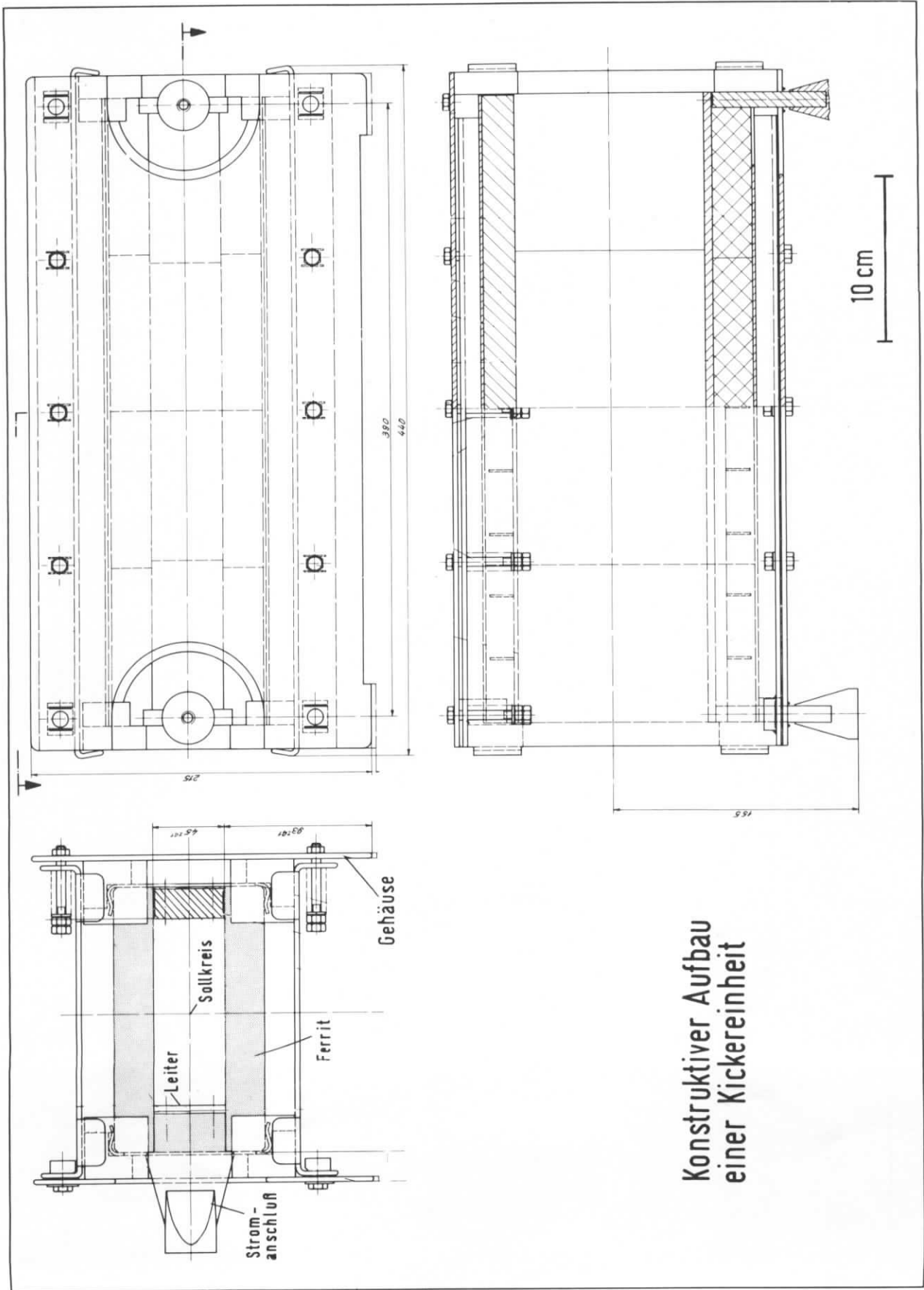
Abb. 5 a





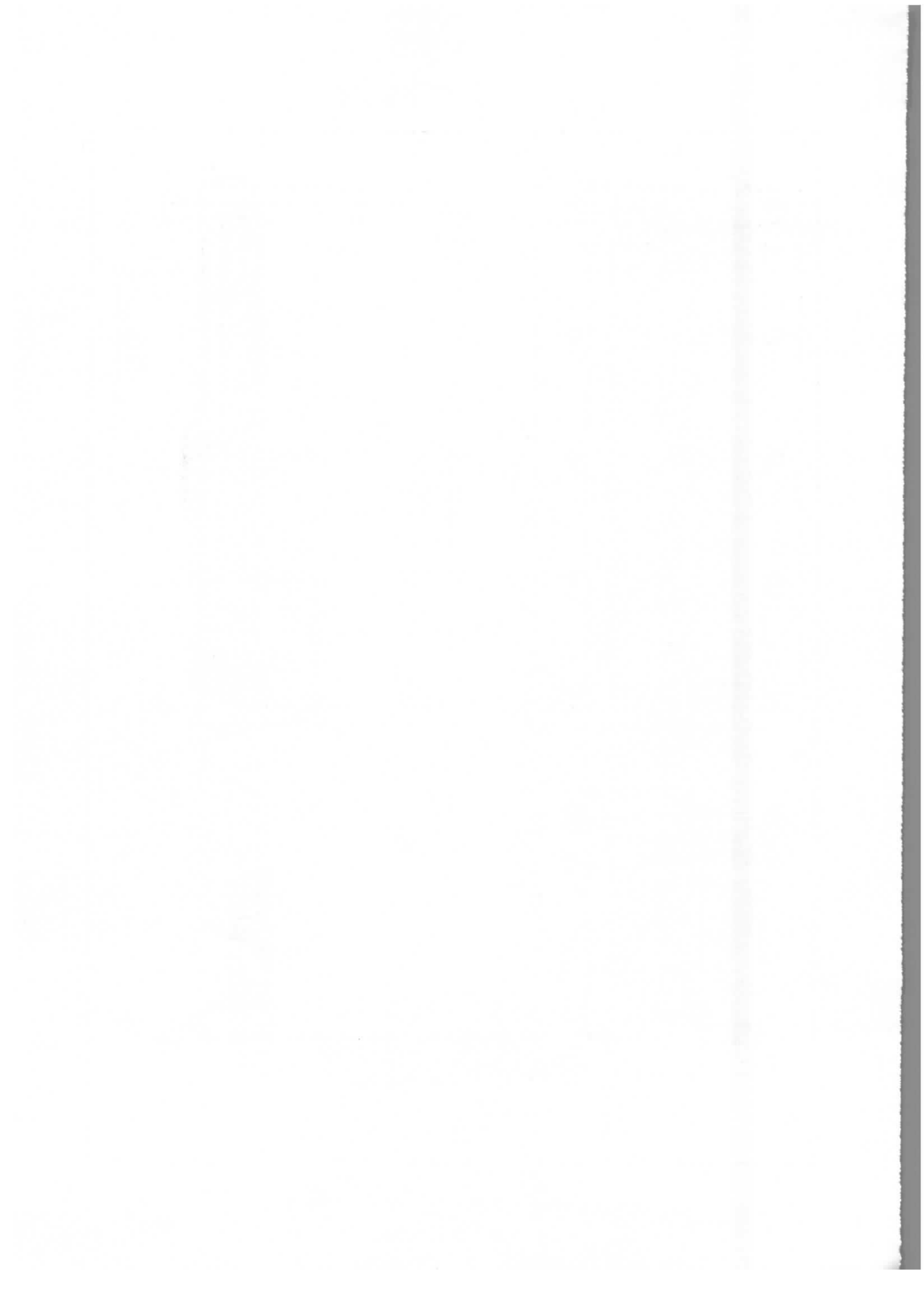


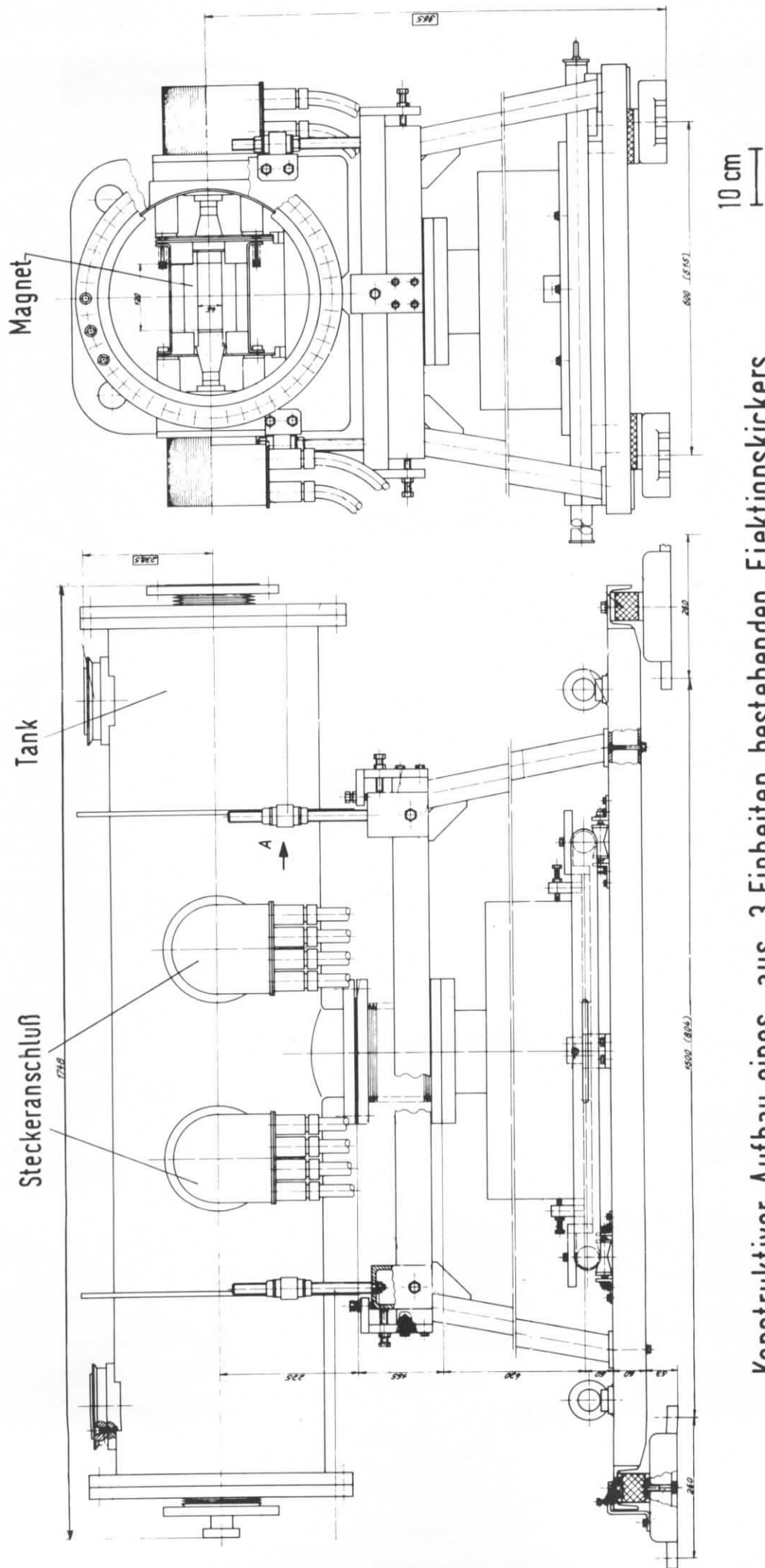
Prototyp eines Septummagnetabschnitts



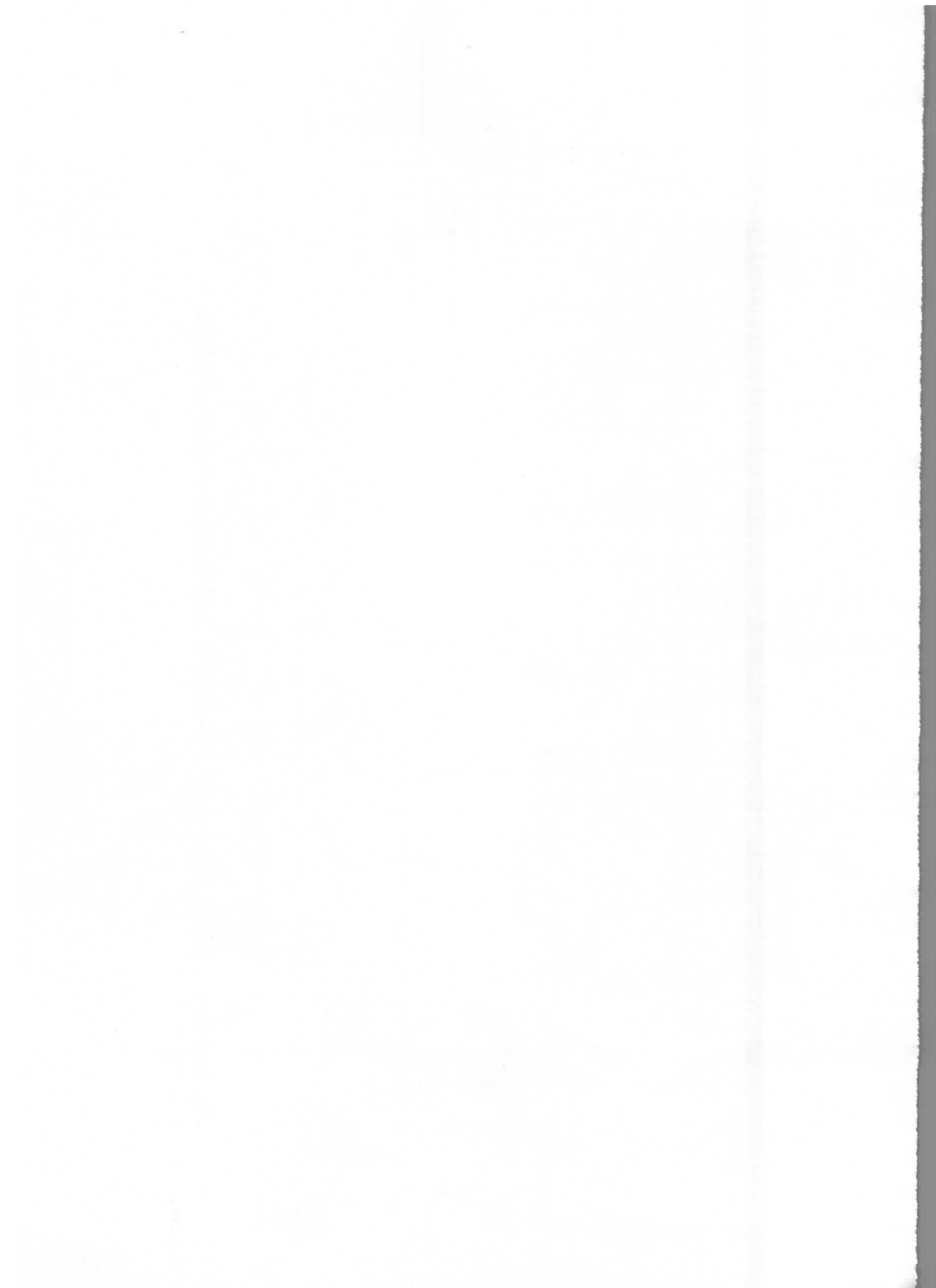
Konstruktiver Aufbau einer Kickereinheit

Abb.7





Konstruktiver Aufbau eines aus 3 Einheiten bestehenden Ejektionskickers



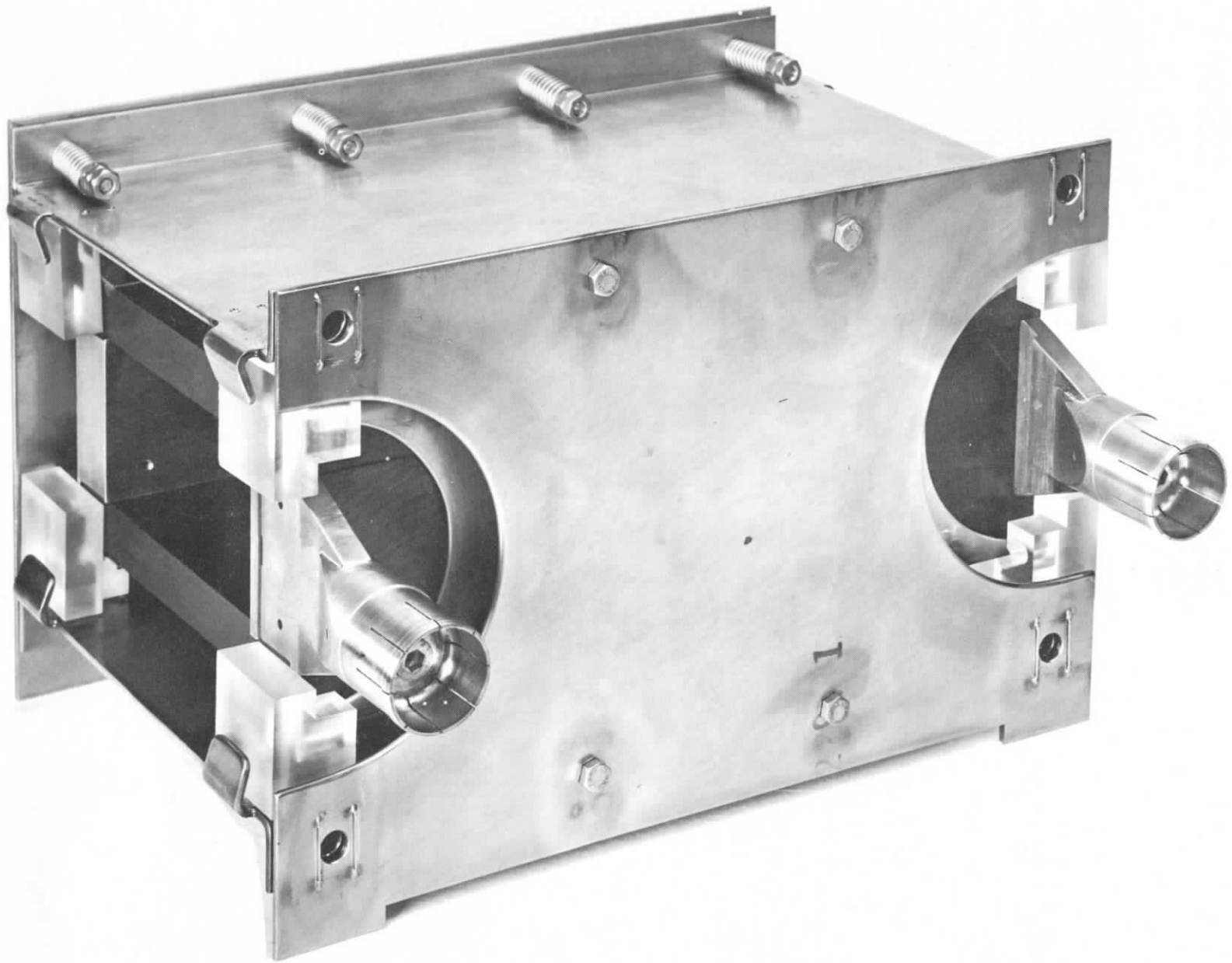
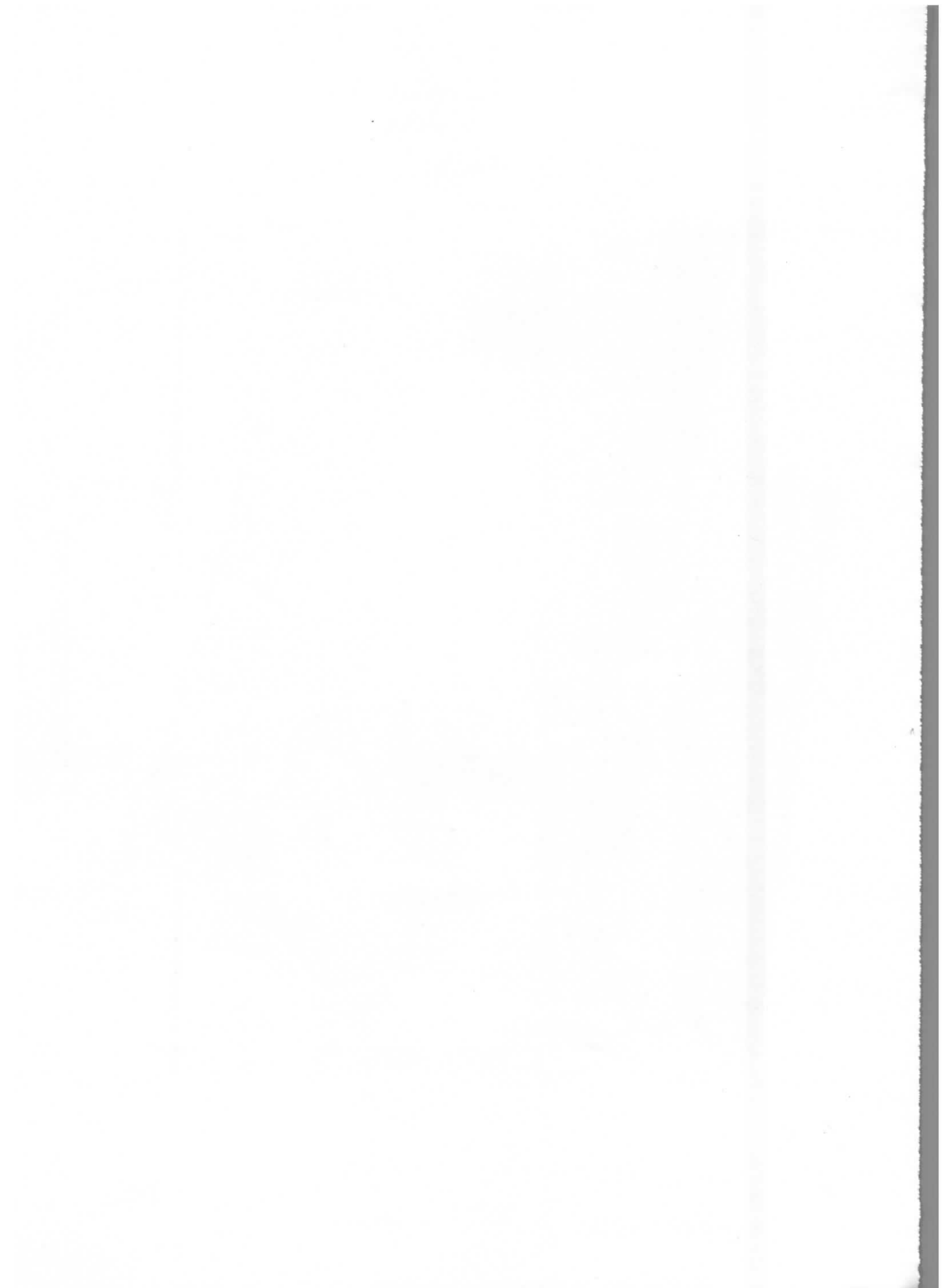
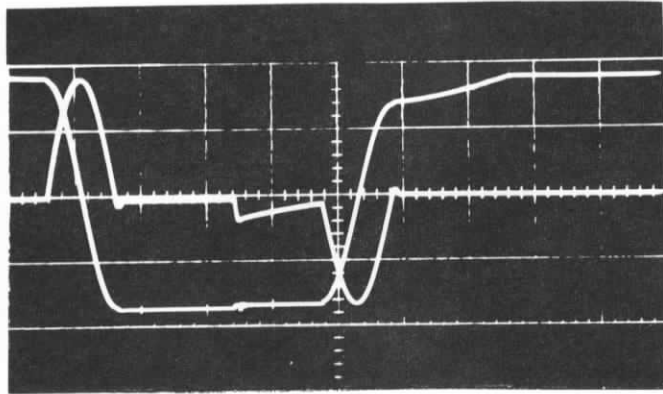


Abb.9

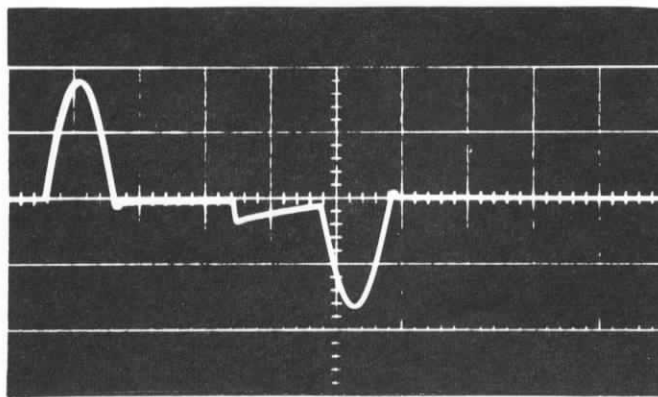
Prototyp einer Kickereinheit





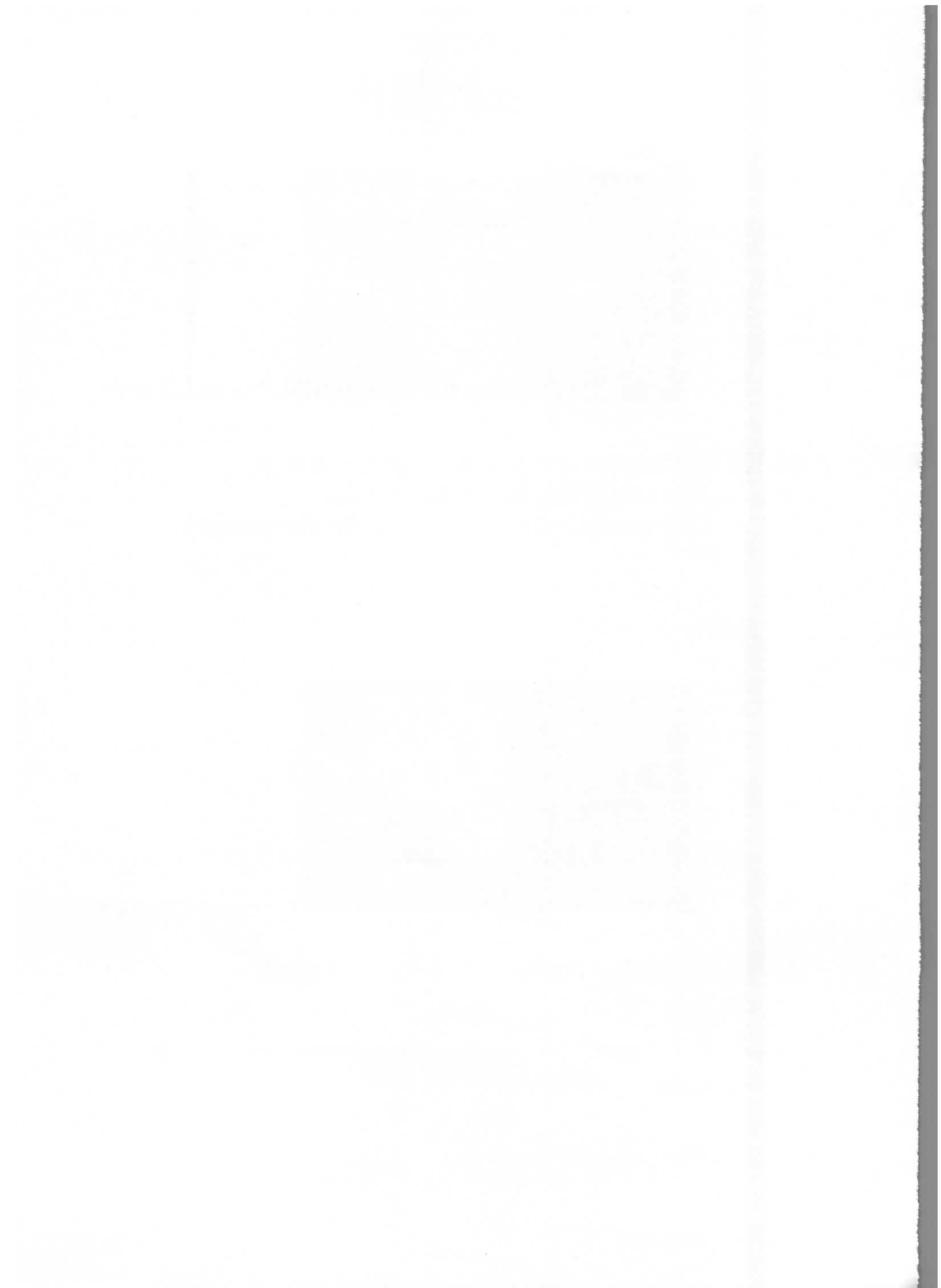
$x = 1,7 \text{ ms/cm}$

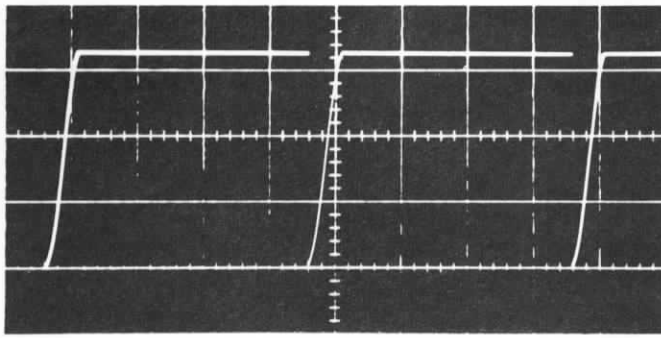
Abb. 10 a Primärseitiger zeitlicher Stromverlauf im Transformator des Septumpulsers und Spannungsverlauf am Schwingkreiskondensator



$x = 1,7 \text{ ms/cm}$

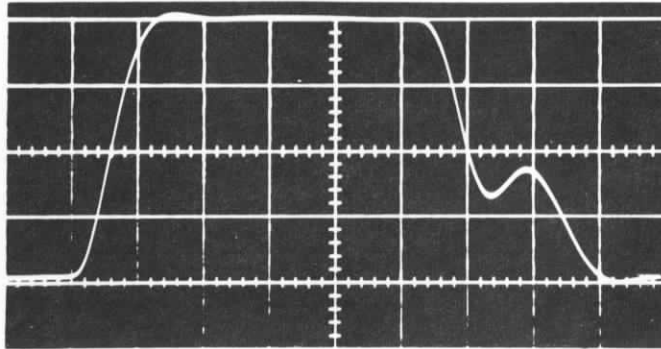
Abb. 10 b Zeitlicher Feldverlauf im Septummagneten





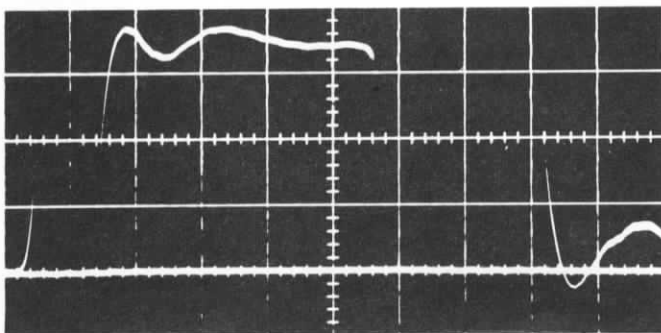
$x = 5 \text{ ms/cm}$

Abb.11a Zeitlicher Spannungsverlauf am PFN des Kickerpulsers



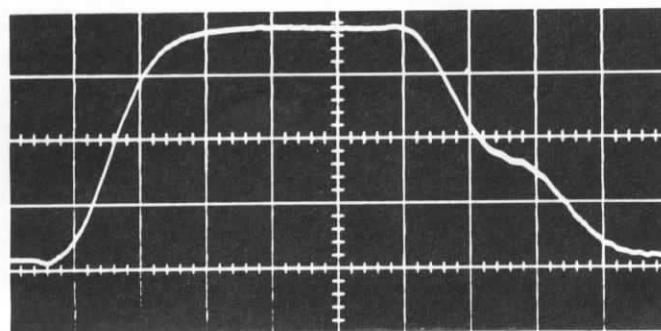
$x = 0,2 \mu\text{s/cm}$

Abb.11b Zeitlicher Feldverlauf im Ejektionskicker



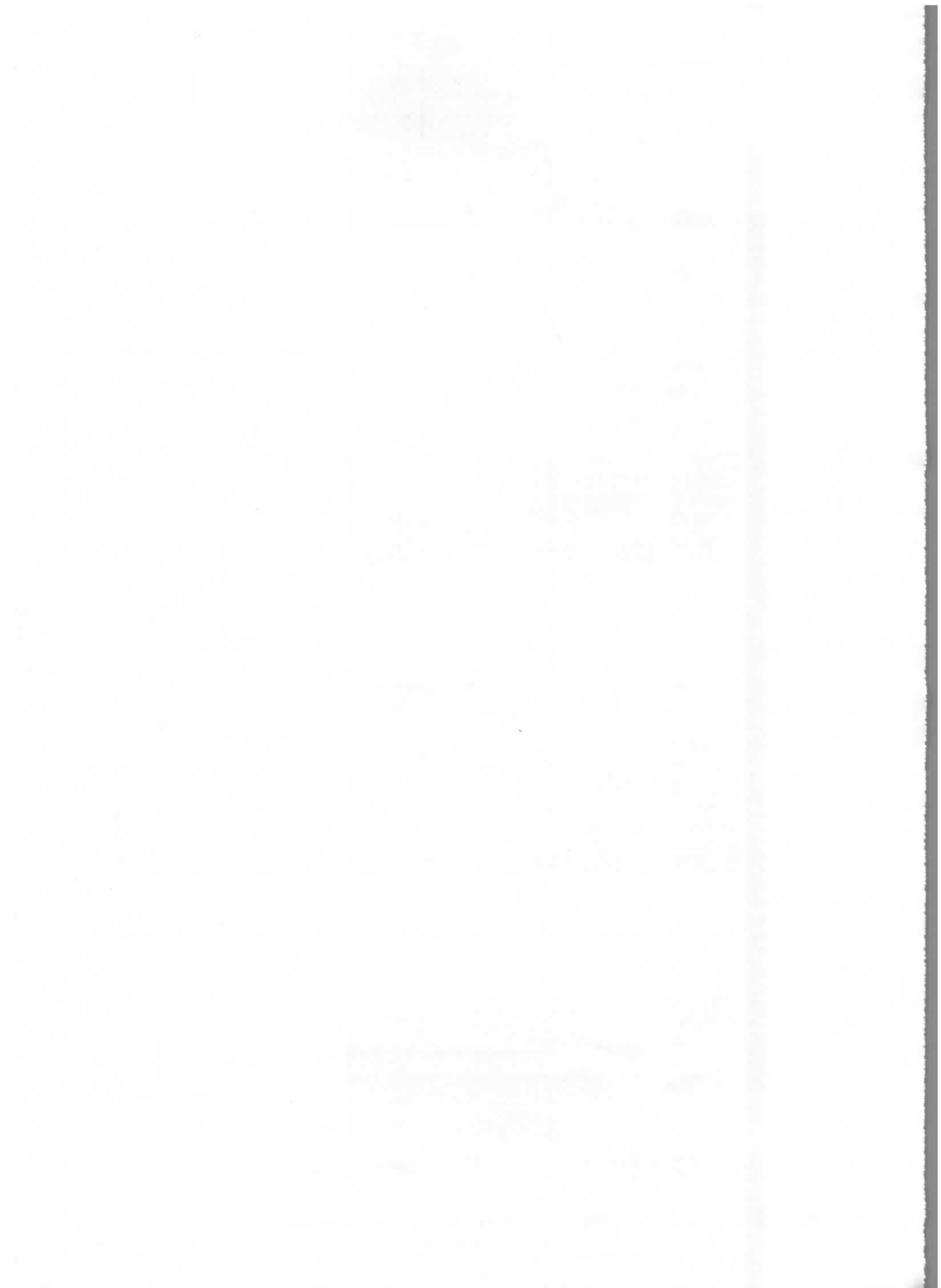
$x = 0,2 \mu\text{s/cm}$

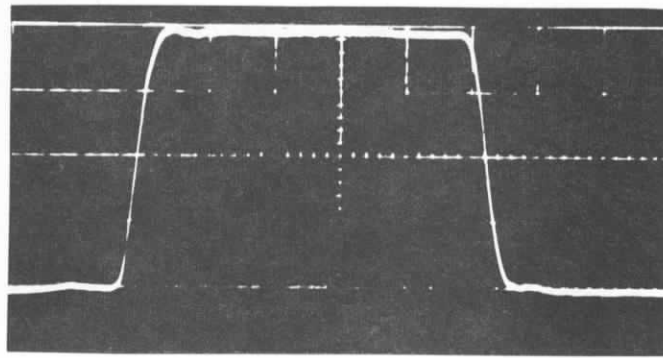
Abb.11c Zeitlicher Feldverlauf im Ejektionskicker, Amplitude auf 2,5% /cm gedehnt



$x = 0,2 \mu\text{s/cm}$

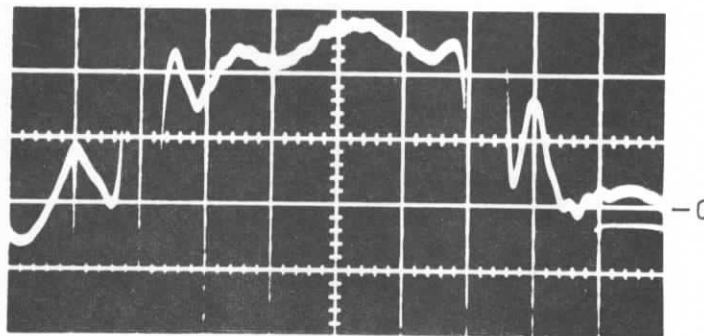
Abb.11d Zeitlicher Ejektionskickerstrom, zwischen Magnet und Absorber gemessen





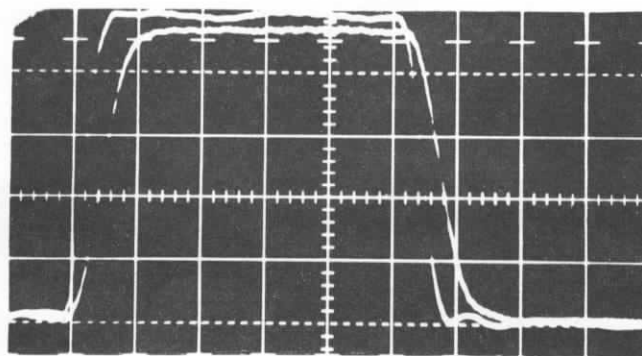
$x = 0,2 \mu\text{s}/\text{cm}$

Abb.11e Zeitlicher Feldverlauf im Injektionskicker



$x = 0,2 \mu\text{s}/\text{cm}$

Abb.11f Zeitlicher Feldverlauf im Injektionskicker,
Amplitude auf 1,5%/cm gedehnt



$x = 0,2 \mu\text{s}/\text{cm}$

Abb.11g Zeitlicher Feldverlauf im Magneten (großer Puls)
und Stromverlauf (kleiner Puls) zwischen
Magnet und Absorber gemessen

