

Interner Bericht
DESY H3-73/10
September 1973

DESY-Bibliothek
22. FEB. 1974

Eine Luftspule als
Kicker für die Injektion
von Elektronen und Positronen
in DORIS

von

H. Gerke, H.-J. Hölzel

gleichlautend mit Technischer Notiz H3-21

1870
1871
1872
1873

1874

1875

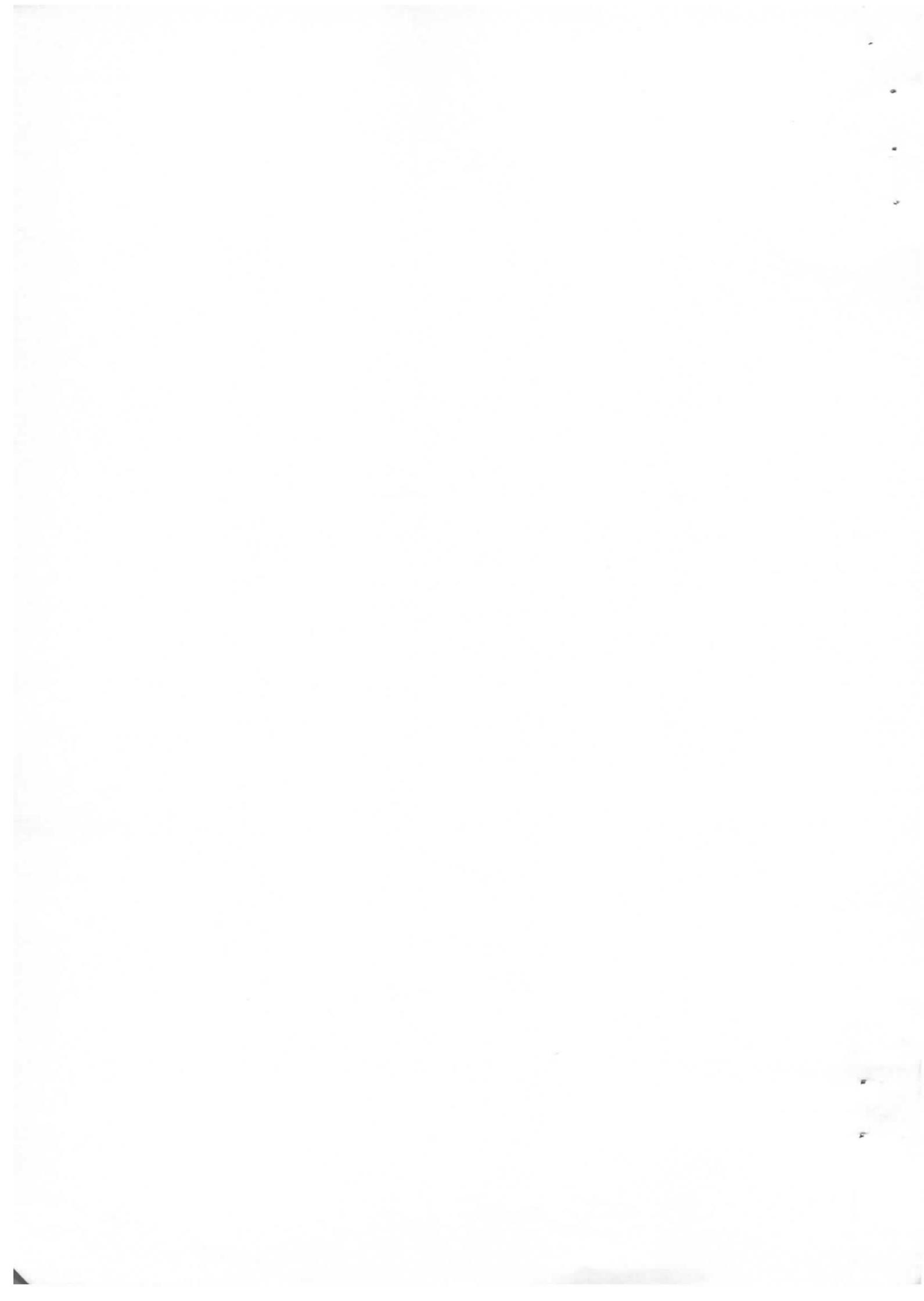
H.Gerke
H.-J.Hölzel

5.September 1973

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

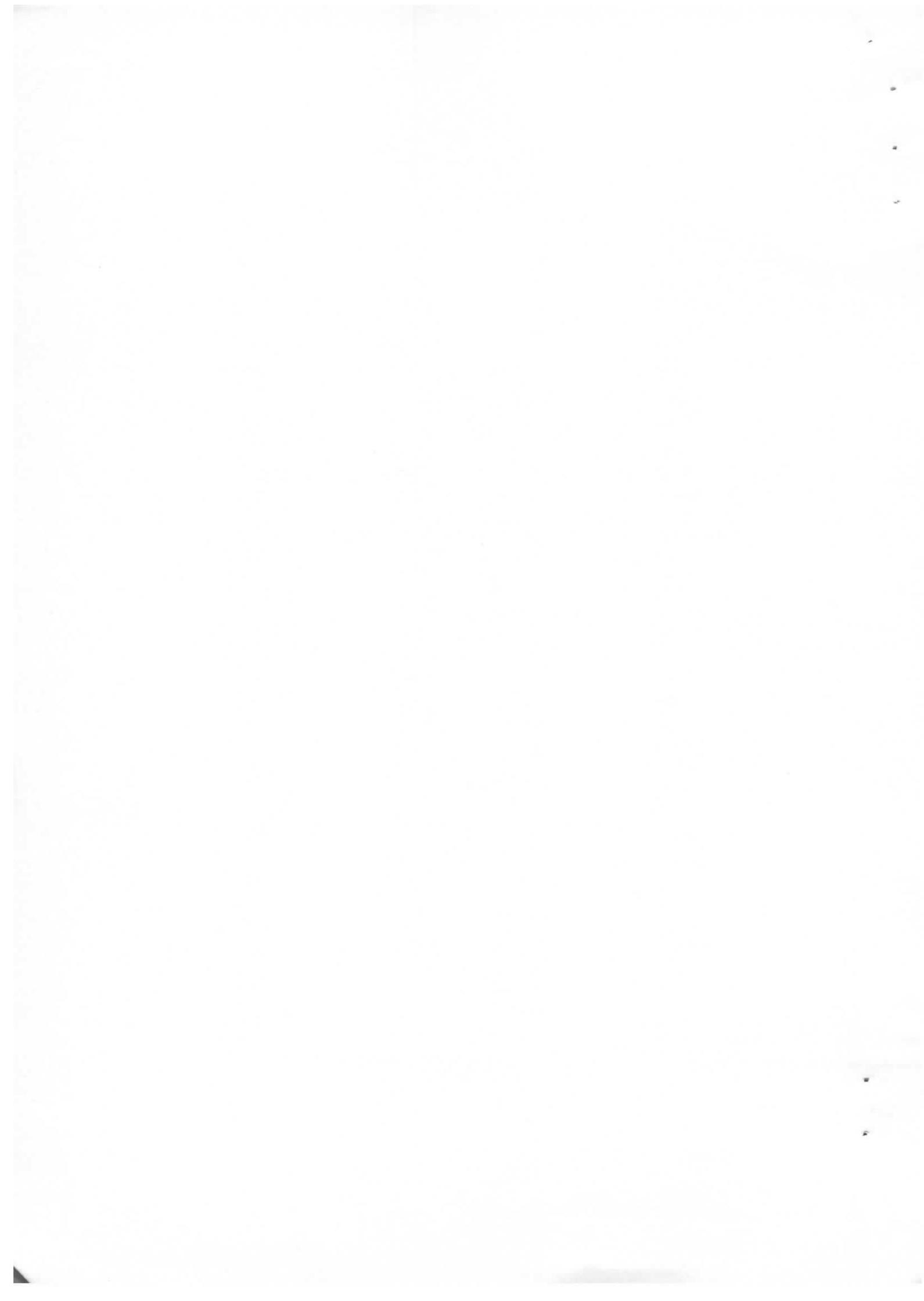
H 3 - 21

Eine Luftspule als
Kicker für die Injektion
von Elektronen und Positronen
in DORIS



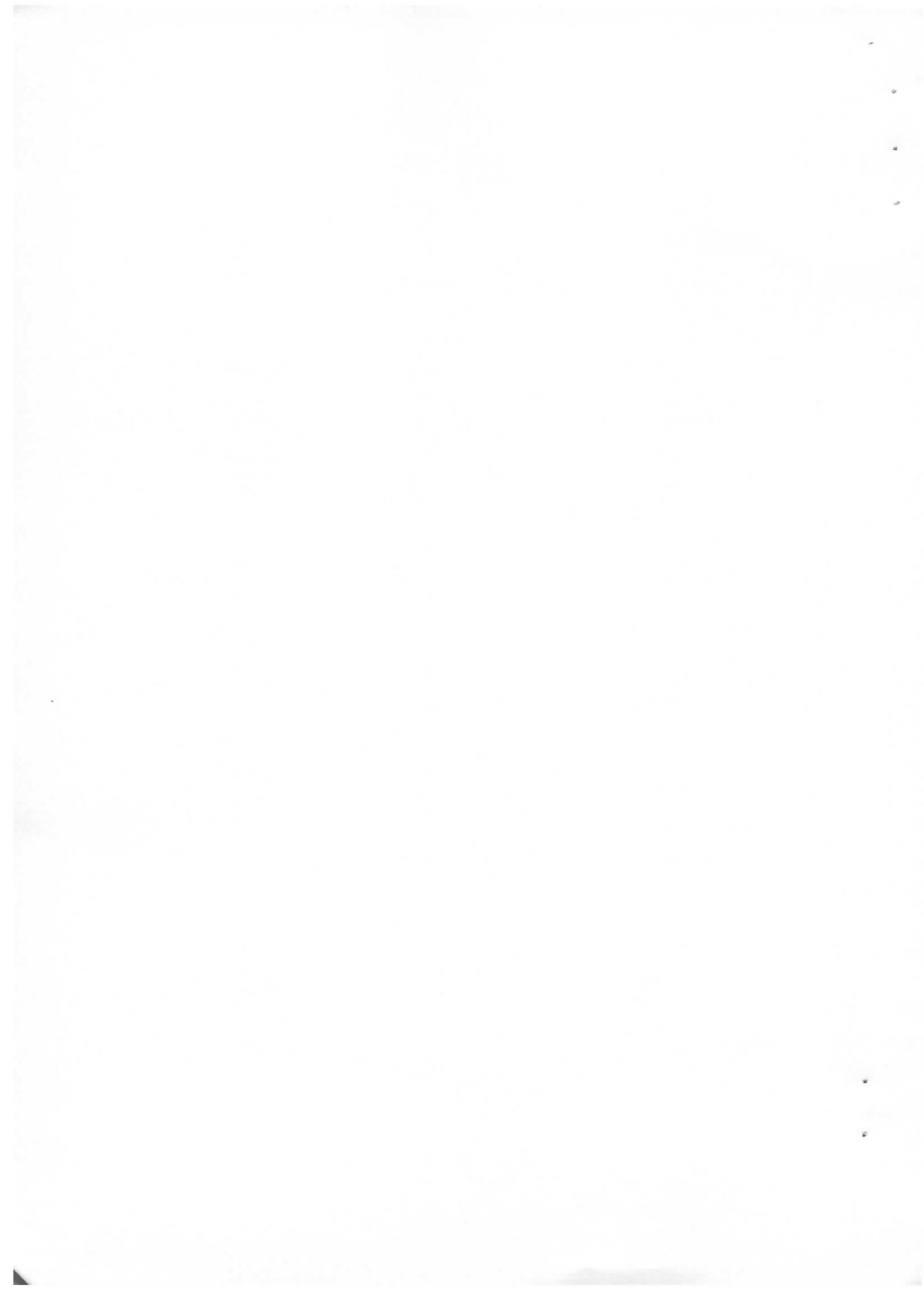
I n h a l t

	S.
I. Einleitung	1
II. Überlegungen und Voraussetzungen für den Einsatz einer Luftspule als Injektionskicker	2
III. Berechnung der Luftspule	3
IV. Messungen an einer Prototypspule und Vergleich mit dem Ferrit-C-Joch-Kicker	6
V. Konstruktive Gestaltung des Luftspulen-Kickers	7
VI. Literatur	



I. Einleitung

In diesem Bericht werden die Möglichkeiten und Voraussetzungen der Verwendung einer Luftspule als Injektionskicker für die Injektion von Elektronen und Positronen in den Speicherring untersucht. Es wird gezeigt, daß unter bestimmten Voraussetzungen eine Luftspule als Kicker verwendbar ist. Es wird die Feldverteilung in einer bestimmten Leiteranordnung berechnet und über die Messung der Pulsform an einer Prototypenanordnung berichtet. Außerdem wird eine konstruktive Lösung für die Spule unter Verwendung des bereits gefertigten Vakuumtanks angegeben.



II. Überlegungen und Voraussetzungen für den Einsatz einer Luftspule als Injektionskicker

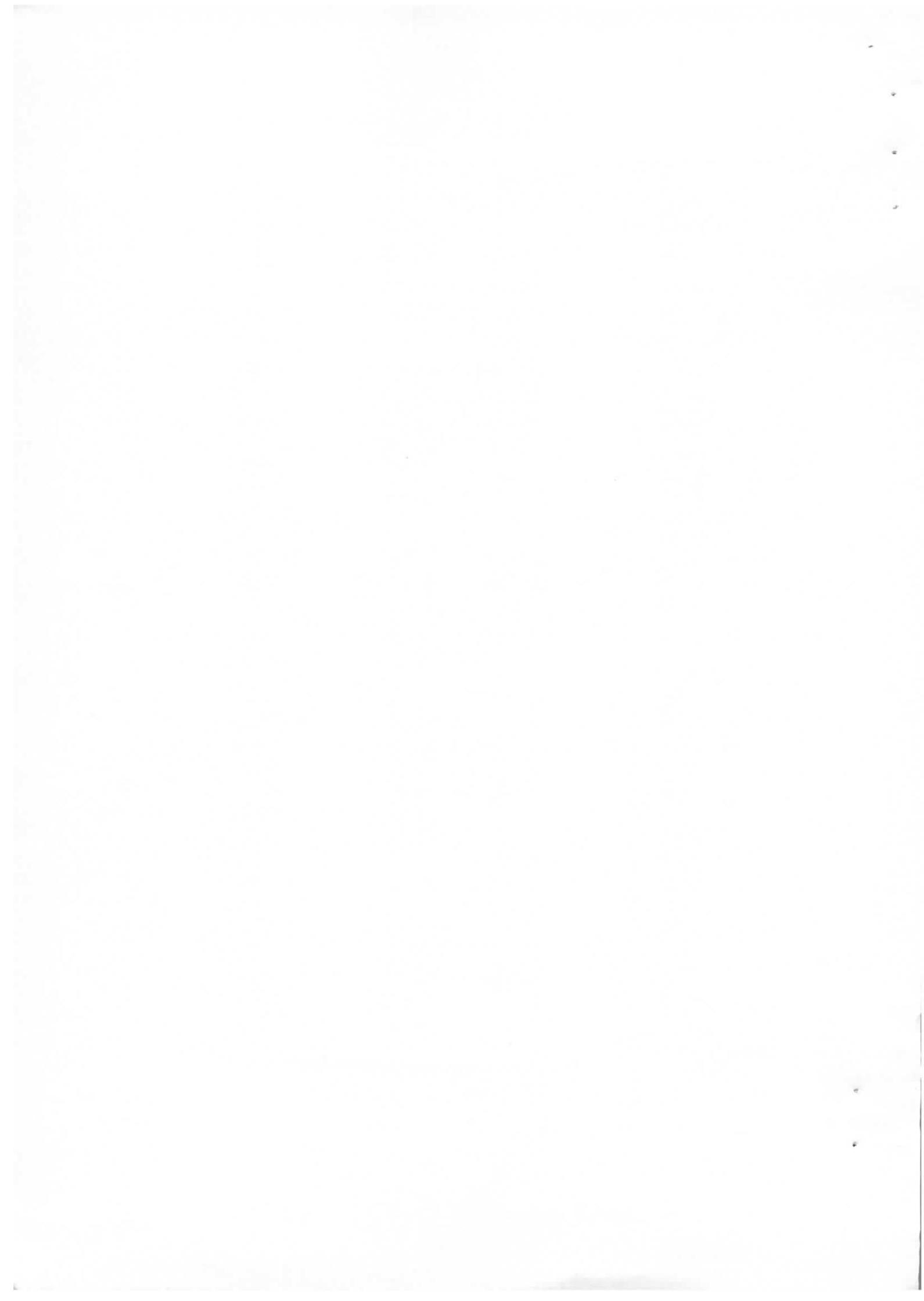
Der Einschub von Elektronen und Positronen in DORIS wurde in (1) beschrieben. Bei der Entwicklung der Kickermagnete wurde davon ausgegangen, daß die Injektion sowohl von Linac II bei einer Energie von ca. 400 MeV als auch vom Synchrotron bei 2,2 GeV erfolgen sollte. Für die Injektion aus Linac II war eine Multiturn-Injektion vorgesehen und damit eine Mindestkickerpulslänge von 3 μ s erforderlich. Die Pulsflanke des Kickerpulses sollte höchstens 1 μ s lang sein. Ein homogenes Feld mit einer maximalen Abweichung von 5% während des Pulses sollte in einer Apertur von 130 x 60 mm² vorhanden sein.

Diese Forderungen konnten mit einem ferritbeladenen C-Joch-Kickermagneten, wie bereits für die Synchrotron-Injektion und Ejektion entwickelt, erfüllt werden⁽²⁾.

Nachdem bekannt wurde, daß beim SPEAR (SLAC) bereits bei sehr geringen Strahlintensitäten durch das elektromagnetische Feld des Strahls eine übermäßige Erwärmung des Ferrites eintrat, wurden Überlegungen angestellt, wie der Ferrit gegenüber dem Strahlungsfeld ohne starke Beeinflussung des Kickerfeldes abgeschirmt werden könnte. Rechnungen zeigten, daß eine Abschirmung des Ferrites durch in Strahlrichtung auf der Ferritoberfläche gespannte Drähte (0,5 ϕ , 1,5 mm Abstand) aus V2A dann ausreichend ist, wenn der niedrigste Frequenzanteil im Strahl 60 MHz ist (mindestens jeder achte Bunch besetzt). Die Feldschwächung der Kickerpulse wäre dann weniger als 5%. Nachdem neuerdings eine Lücke in der Speicherringfüllung erforderlich scheint und außerdem Einzelbunchbetrieb diskutiert wird (womit das Strahlungsfeld auch eine 1 MHz-Komponente bekommt), ist eine Abschirmung des Ferrites für diesen Betriebsfall nicht mehr möglich.

Es ist daher erforderlich, Überlegungen anzustellen, wie der Ferrit-C-Joch-Kicker durch einen Luftspulen-Kicker ersetzt werden kann. Dabei sollen aus Termin- und Kostengründen die entwickelten und erprobten Pulsgeräte verwendbar sein.

Bei erneuter Diskussion der Speicherringinjektion und genauerer Berechnung konnten verschiedene Forderungen an den Injektionskicker reduziert werden.



So ist die erforderliche freie Apertur an der Einbaustelle der Kicker für die Injektionsoptik IV nicht mehr $H \times B = 60 \times 130$ mm, sondern eine Ellipse mit den Durchmessern

$$D_H/D_B = 50^\phi/100^\phi \text{ mm} \quad .$$

Ein homogenes Kickerfeld mit einer Feldtoleranz von $\pm 5\%$ ist dabei nur in einer Ellipse von

$$D_H/D_B = 25^\phi/50^\phi \text{ mm}$$

erforderlich.

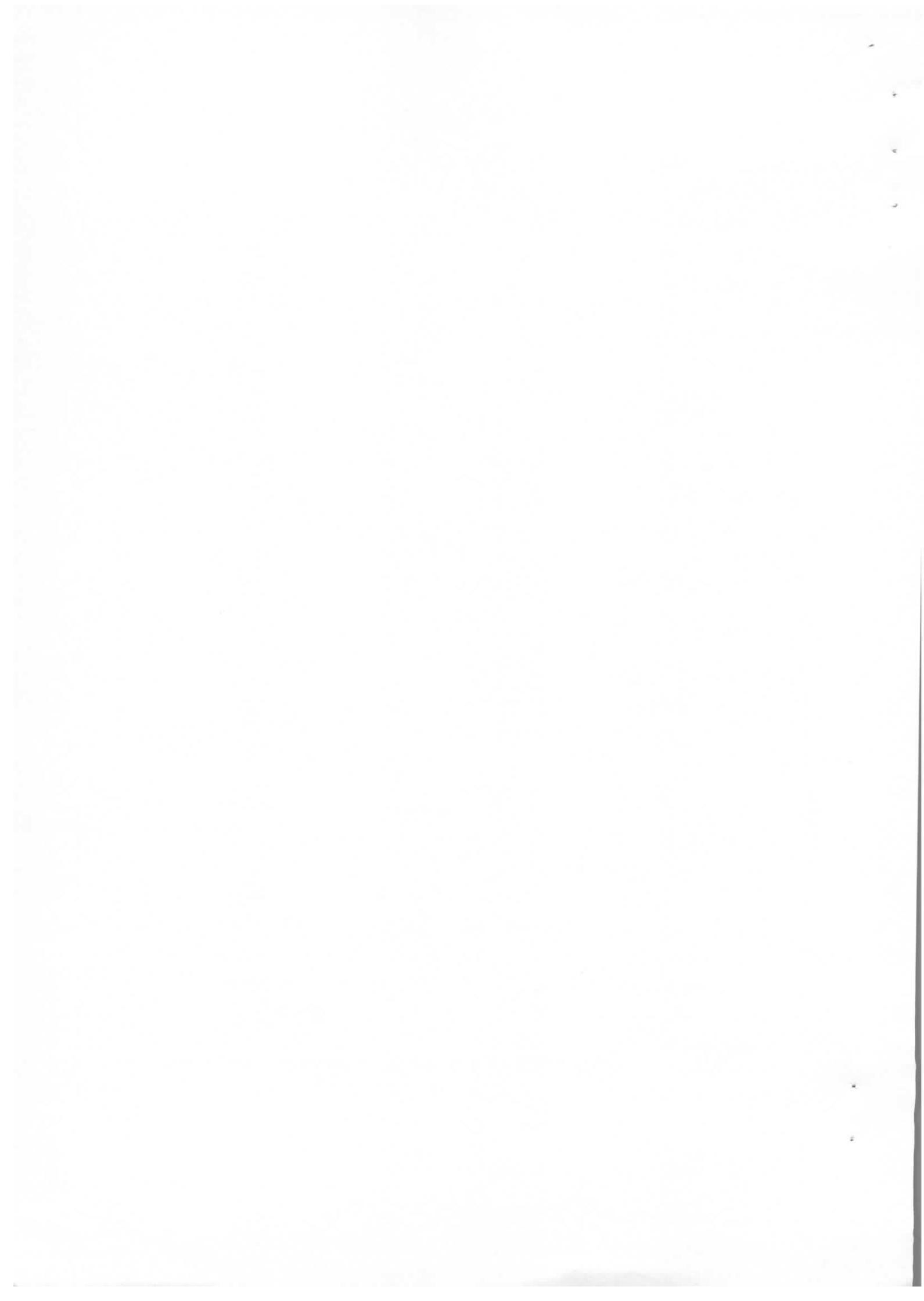
Wird vorläufig auf eine direkte Injektion in den Speicherring aus Linac II verzichtet, so kann außerdem die Pulslänge von $3 \mu\text{s}$ auf $1 \mu\text{s}$ verringert werden und für die Pulsabfallzeit sind ca. $2 \mu\text{s}$ tolerierbar.

Unter diesen Voraussetzungen ist der Einsatz einer Luftspule anstatt des Ferritkickers unter Verwendung der vorhandenen Pulsgeräte möglich, wie die weiteren Rechnungen und Messungen zeigen werden.

III. Berechnung der Luftspule

Bei der Berechnung der Einschußparameter wurde in (1) von einer Septumschienenstärke von 5 mm ausgegangen. Für eine fehlangepaßte Strahlbreite von $2 E_0 = 13$ mm ergab sich daraus mit 1 m Sicherheitsabstand am Einschußort ein erforderlicher Kick von $K = 21$ mm (Abb.1) und am Kicker im Ablenkwinkel von 1,6 mrad. Für die Injektionsoptik IV hat sich dieser Ablenkwinkel um ca. 10% erhöht, so daß mit dem Kicker jetzt ein Winkel von ca. 1,75 mrad realisiert werden muß.

Wird in einer späteren Ausbaustufe der in (3) beschriebene gepulste Septummagnet installiert, der nur um 0,15 rad gegenüber dem Einschußort verschoben ist und eine Leiterstärke von 1 mm hat, so reduziert sich der erforderliche Kick am Septum auf $K = 17$ mm. Der erforderliche Ablenkwinkel des Kickers ist dann nur noch $\phi = 1,4$ mrad. Diese Einsparung am Kickerfeld ist besonders für die Injektion bei höheren Energien und für die Protoneninjektion interessant. Durch adiabatische Dämpfung während der Beschleunigung im Synchrotron verringert sich bei höheren Energien die Strahlemittanz und damit auch die Strahlbreite $2E_0$ des fehlangepaßten, in den Speicherring injizierten Strahls; Es ist daher zu erwarten, daß die Injektion bei 4,5 GeV



mit einem durch die beschriebene Anlage maximal erreichbaren Kicker-Ablenkwinkel von $\phi = 1$ mrad erreicht werden kann (siehe unten).

Über das Injektionsschema für höhere Energien und für Protonen wird in einer separaten Notiz berichtet werden.

Der Ferrit-C-Joch-Kicker wurde für eine Injektionsenergie von 2,2 GeV ausgelegt. Mit einer Apertur von $B \times H = 130 \times 60$ mm und einer Länge von 500 mm wurde für $\phi = 1,6$ mrad eine Induktion von

$$B_{(\text{KT})} = \frac{E (\text{GeV}) \cdot \phi (\text{rad})}{\ell (\text{m}) \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = \frac{2,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 3 \cdot 10^{-2}} = 0,24 \text{ KT}$$

benötigt bei einem Strom von

$$J = B \cdot h / \mu w = 0,24 \cdot 6 / 1,25 = 1,1 \text{ KA} \quad (w = 1)$$

Bei einer Impedanz des Systems von $Z = 4,1 \Omega$ ergibt sich damit eine Spannung am pulsformenden Netzwerk (Abb.3) von

$$U_L = 2 \cdot J \cdot R = 2 \cdot 1,1 \cdot 4,1 = 9 \text{ KV}$$

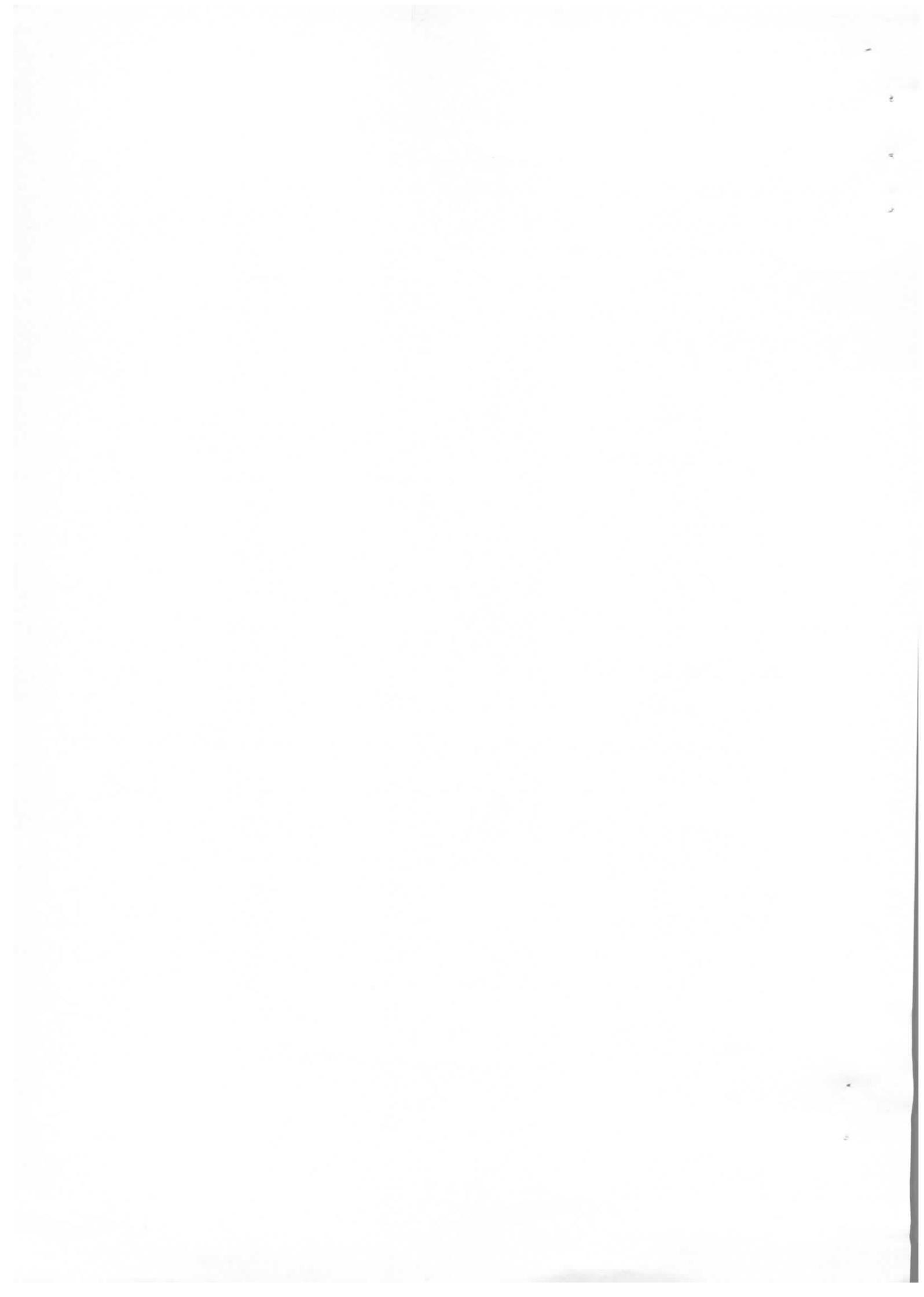
Die Induktivität des Kickers ist

$$L_K = \mu \cdot F / h = 1,25 \cdot 10^{-8} \cdot 50 \cdot 13 / 6 = 1,35 \text{ uH}$$

Die Pulsanordnung wurde für eine maximale Spannung von 11 KV - 12 KV ausgelegt.

Die Luftspule soll innerhalb der Ellipse von $D_H / D_B = 28^\phi / 50^\phi$ mm möglichst das gleiche Feld wie der Ferritkicker erreichen. Damit die Pulsflanken nicht sehr schlecht werden, soll außerdem die Induktivität möglichst klein sein ($\tau = L/R$). Außerdem sollen die vorhandenen Pulsgeräte mit $U_L \leq 11 \text{ KV}$ verwendbar sein.

Für diese Randbedingungen wurden verschiedene Leiteranordnungen untersucht. Die günstigste Anordnung ist in Abb.2 dargestellt.



Die Feldverteilung ist für

$$\begin{aligned}x &= 0 \text{ m} , y = 0 \text{ m} \hat{=} H_y = 1 \\x &= 25 \text{ m} , y = 0 \text{ m} \hat{=} H_y = 0,96 \\x &= 30 \text{ m} , y = 0 \text{ m} \hat{=} H_y = 0,86 \\x &= 44 \text{ m} , y = 0 \text{ m} \hat{=} H_y = 0 \\x &= 0 \text{ m} , y = 13 \text{ m} \hat{=} H_y = 1,06 \\x &= 0 \text{ m} , y = 20 \text{ m} \hat{=} H_y = 1,05 \\x &= 20 \text{ m} , y = 10 \text{ m} \hat{=} H_y = 1,07, H_x = 0,04\end{aligned}$$

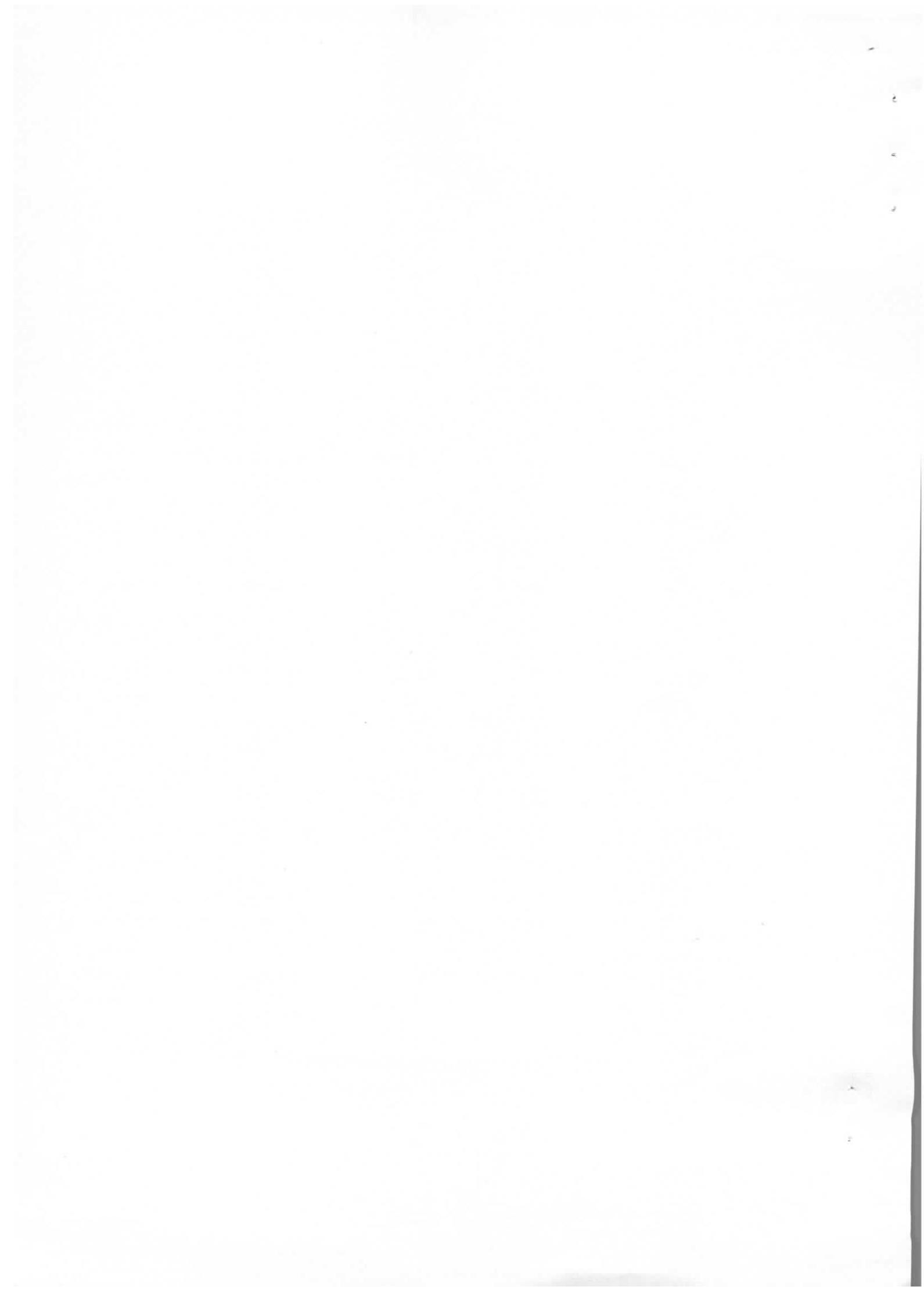
d.h. mit dieser Leiteranordnung können die oben aufgestellten Forderungen erfüllt werden. Das maximale Querfeld H_x an der einem Leiter am nächsten befindlichen Stelle ($x = 20, y = 10$) der Ellipse $D_H/D_B = 25\phi/50\phi_{\text{mm}}$ ist 4% des Vertikalfeldes.

Die Induktion an der Stelle $x = 0, y = 0$ ist

$$B = \mu H = \mu \cdot J \cdot w / 2\pi \ell = 2 \cdot \mu \cdot J / \pi \left(\frac{\cos \phi_1}{x_1} + \frac{\cos \phi_2}{x_2} \right)$$

wobei $\ell = \sqrt{x^2 + y^2}$ und $\text{tg } \phi = y/x$ ist mit x und y als jeweiliger Leiterposition.

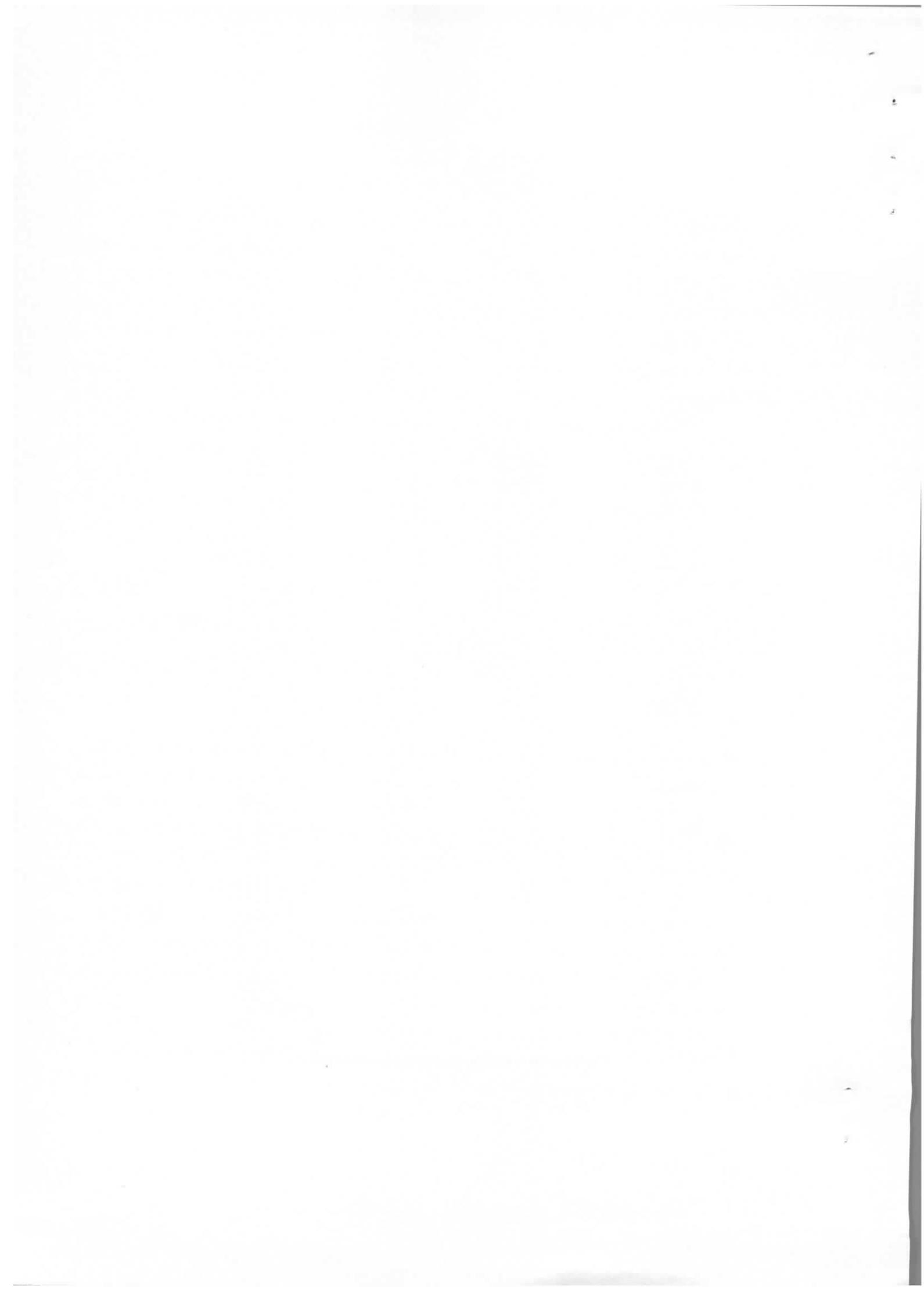
Mit $J = 1,1 \text{ KA}$ ergibt sich eine Induktion an der Stelle $x = 0, y = 0$ von $B = 280 \text{ G}$. Diese Induktion ist mit gleicher Netzteilspannung etwas höher als die des Ferritkickers. Wie später gezeigt wird, ist wegen der höheren Induktivität der Spule eine stärkere Kompensation zur Erreichung steiler Flanken und eines linearen Pulsdaches erforderlich. Durch diese Kompensation wird die Induktion etwas reduziert.



IV. Messungen an einer Prototypspule und Vergleich mit dem Ferrit-C-Joch-Kicker

An einer 50cm langen Prototypspule, deren Leiteranordnung der Abb.2 entspricht, wurde die Pulsform gemessen. Die Spule wurde in einem Kickertank installiert, so daß die Randbedingungen dem endgültigen Aufbau entsprechen.

Die prinzipielle Anordnung von Magnet, Netzteil und Thyatronstufen zeigt Abb.3. Mit einem Netzteil/Verdoppler wird ein pulsformendes Netzwerk PFN aufgeladen. Zum Triggerzeitpunkt wird das Thyatron 1 gezündet und entlädt das Netzwerk über die mit der doppelten Impedanz abgeschlossenen Magnete. An Stelle des Magneten 2 wurde eine Spule mit gleicher Induktivität angeschlossen. Um bessere Rückflanken zu erreichen, wird mit entsprechender Verzögerung gegenüber dem Triggersignal 1 das Thyatron 2 (Rückflanken-Thyatron) gezündet. Dadurch wird für die von den Magneten reflektierten Wellen ein Leitungsabschluß hergestellt und eine Mehrfachreflektion weitgehend vermieden. Damit trotz der hohen Induktivität des Kickermagneten ein schneller Pulsanstieg und eine gute Pulsdachform erzielt wird, muß die Induktivität des Magneten mit C_K und R_K kompensiert werden. In Abb. 4 sind die Ergebnisse der Messungen am Ferritkicker und am Luftspulen-Kicker gegenübergestellt. Die Oszillogramme a) und b) zeigen den zeitlichen Feldverlauf (jeweils in der Mitte des Magneten gemessen) ohne Kompensation ($C_K = 0$, $R_K = \infty$) und ohne Triggerung des Rückflanken-Thyatron, jedoch mit Abschlußwiderstand am Magneten. Hier wird im wesentlichen die Zeitkonstante des Magneten $\tau = L_M/R_L$ gemessen. Bei den Kompensationsarbeiten zeigte sich, daß im Gegensatz zum Ferritkicker beim Luftspulen-Kicker mit sehr viel höherer Induktivität ein Abschlußwiderstand $R_L = 3\Omega < 2 Z_L$ die günstigste Pulsform ergibt. Die Oszillogramme c) und d) zeigen den zeitlichen Feldverlauf an den Magneten mit jeweils günstigster kapazitiver Kompensation ohne Triggerung des Rückflanken-Thyatron, während bei e) und f) das Rückflanken-Thyatron nach optimalisierter Verzögerungszeit getriggert wird. Bei den Oszillogrammen g) und h) ist zusätzlich ein entsprechender Widerstand R_K in Serie mit der Kompensationskapazität verwendet worden. Da die Kompensationen an den beiden parallel betriebenen Kicker-magneten sich gegenseitig beeinflussen, ist eine exakte Auslegung der Kompensationselemente erst nach Installation beider Magnete sinnvoll.



Die Oszillogramme wurden alle mit dem gleichen Zeitmaßstab ($1 \mu\text{s}/\text{skt}$) und gleichem Amplitudenmaßstab bei gleicher Netzteilspannung (geregelt) aufgenommen.

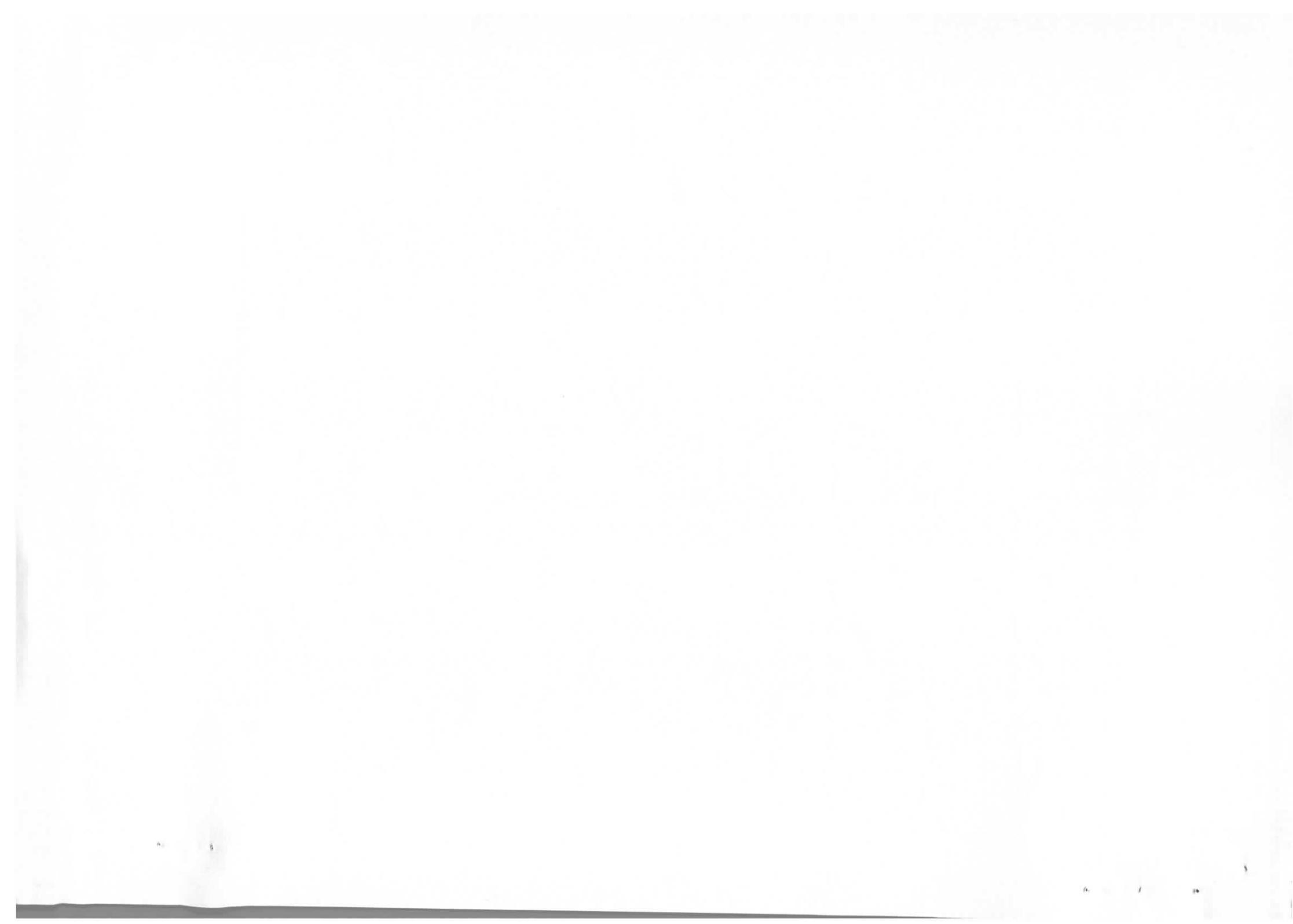
Ein Vergleich der Pulsformen zeigt, daß beim Ferritkicker die Pulsrückflanke $1 \mu\text{s}$ ist, während bei der Luftspule die Amplitude innerhalb von $1,5 \mu\text{s}$ auf 20% der Maximalamplitude abgesunken ist. Außerdem ist bei der Luftspule nach ca. $3 \mu\text{s}$ ein negatives Überschwingen von ca. 20% der Maximalamplitude zu verzeichnen. Die Induktion ist bei dem Luftspulen-Kicker in der Spulenmitte bei gleicher Netzteilspannung um ca. 10% höher als beim Ferritkicker.

Der Luftspulen-Kicker scheint demnach entsprechend den in Abschnitt II aufgestellten Bedingungen für die Injektion geeignet zu sein.

V. Konstruktive Gestaltung des Luftspulen-Kickers

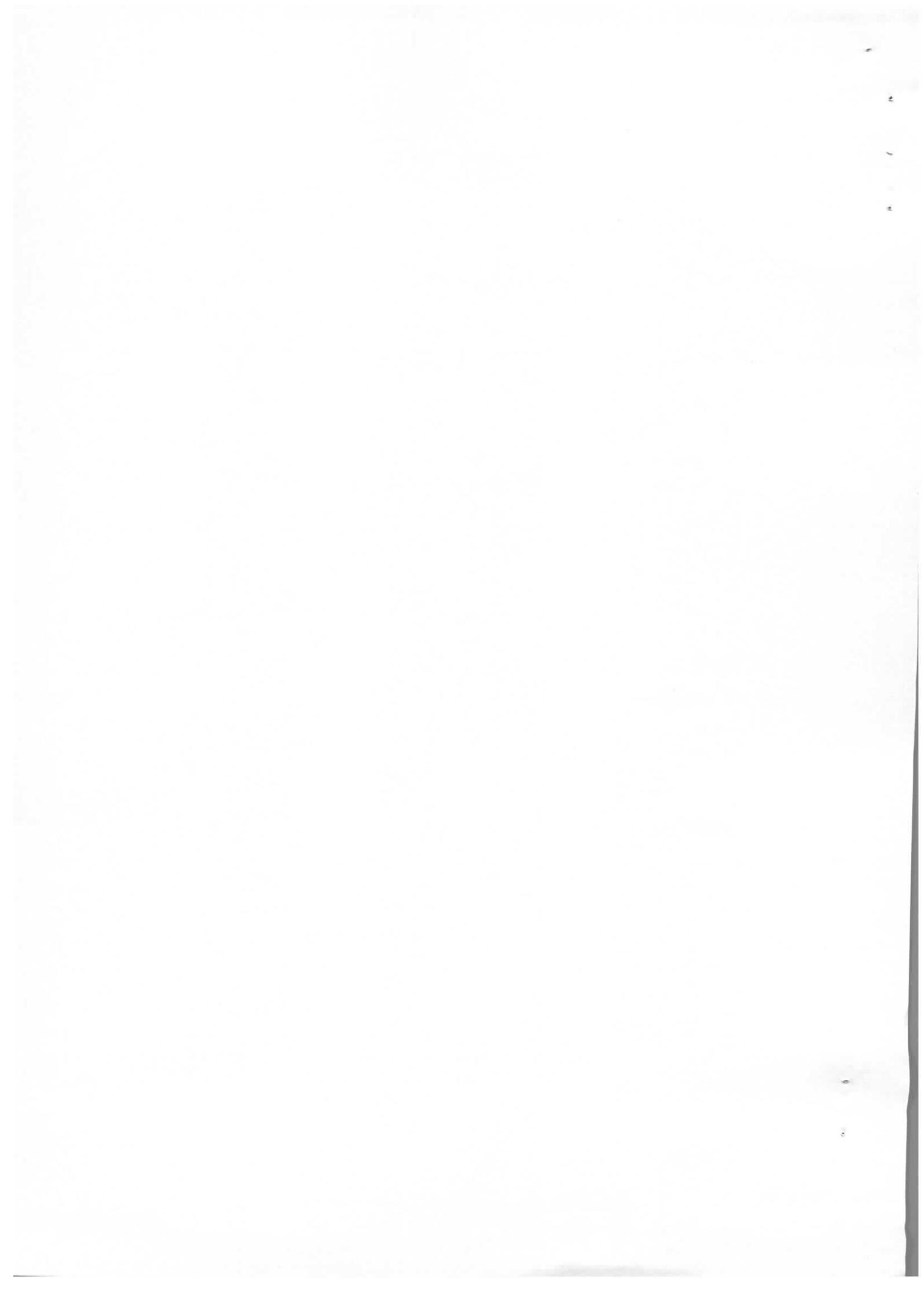
Der Luftspulen-Kicker soll so aufgebaut werden, daß er in den bereits hergestellten und geprüften Hochvakuumtanks installiert werden kann. Außerdem sollen die vorhandenen keramischen Hochspannungsdurchführungen verwendbar sein. Da ein Einbau in den Speicherring bis Mitte Dezember wünschenswert ist, sollen außerdem nur Materialien verwendet werden, die kurzfristig ab Lager beschaffbar sind. Der konstruktive Aufbau soll so einfach sein, daß die Fertigung nach Labor-Handskizzen durchgeführt werden kann.

Den prinzipiellen Aufbau zeigt Abb.5. Auf die acht Leiter sind V2A-Gewindestifte hart aufgelötet. Mit diesen Gewindestiften werden die Leiter in der richtigen Position isoliert gegen einen dünnwandigen V2A-Rahmen verschraubt. Als Isolatoren dienen geteilte Keramikdurchführungen, die bei den Herstellern lagermäßig geführt werden. Stirnseitig werden die Leiter so geformt, daß die erforderliche Apertur frei bleibt. Die einzelnen Leiterabschnitte werden durch Hartverlötung verbunden. Die Lagerplatten der Rahmen werden so ausgeführt, daß sie mit den im Tank vorhandenen Konsolen verschraubt werden können. Der Anschluß der Magnete an die Keramikdurchführungen erfolgt wie beim Ferritkicker über gefederte Steckkontakte.



L i t e r a t u r

- 1) Einschub in den Speicherring ; H.Wiedemann, Interner Bericht
DESY H5-71/3
- 2) Gepulste Magnete für die Injektion im Synchrotron mit Linac II
und für die schnelle Ejektion; H.Gerke, J.Hameister, F.Harms,
H.-J.Hölzel, J.Rümmeler,
Interner Bericht DESY H3/4
- 3) Überlegungen zur Speicherring-Injektion bei Energien bis zu 4 bis 5 GeV;
H.Gerke, G.Mülhaupt, H.Sommerfeld,
K.Steffen, H.Wümpelmann,
Technische Notiz H-3



Injektion

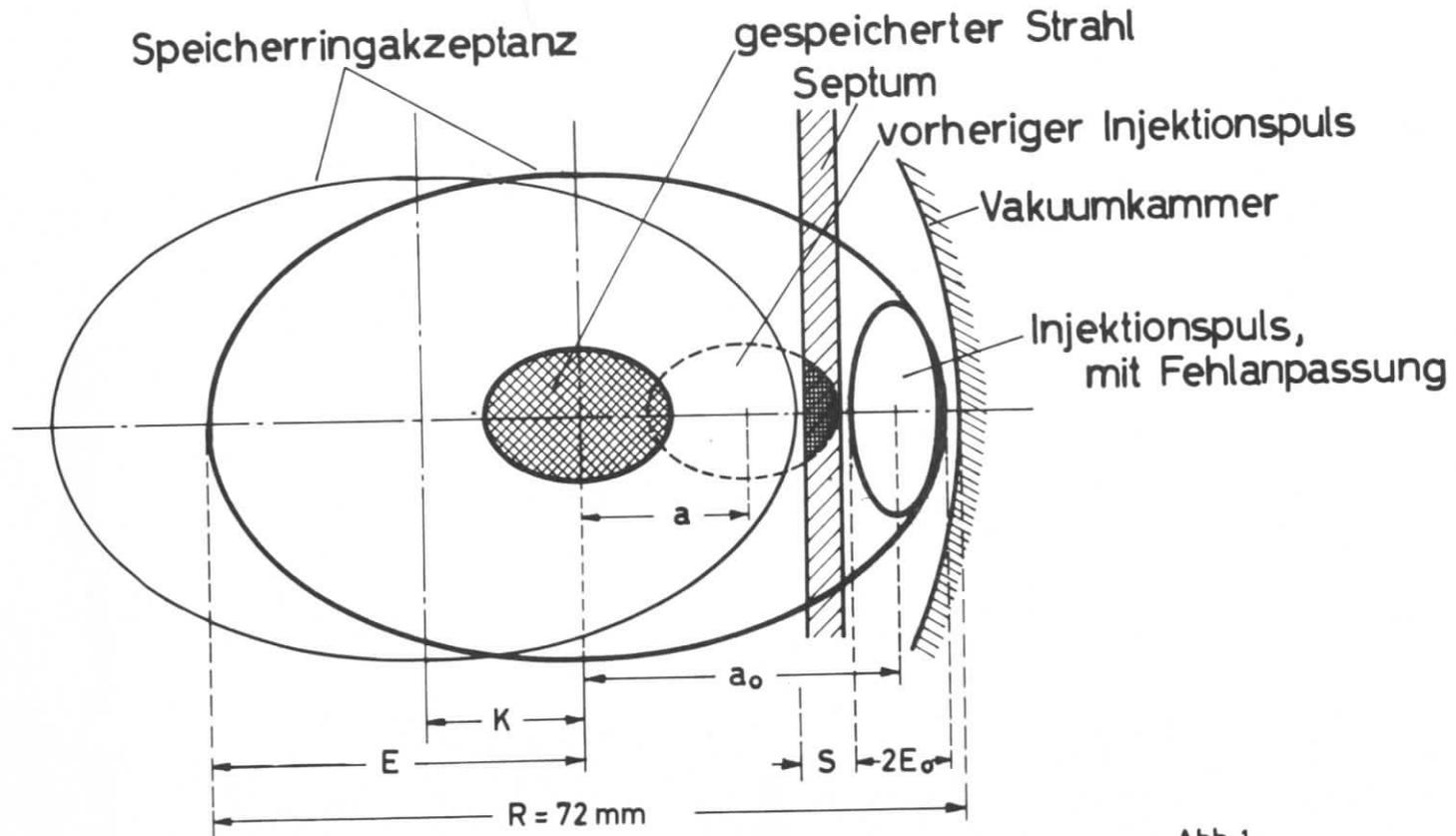
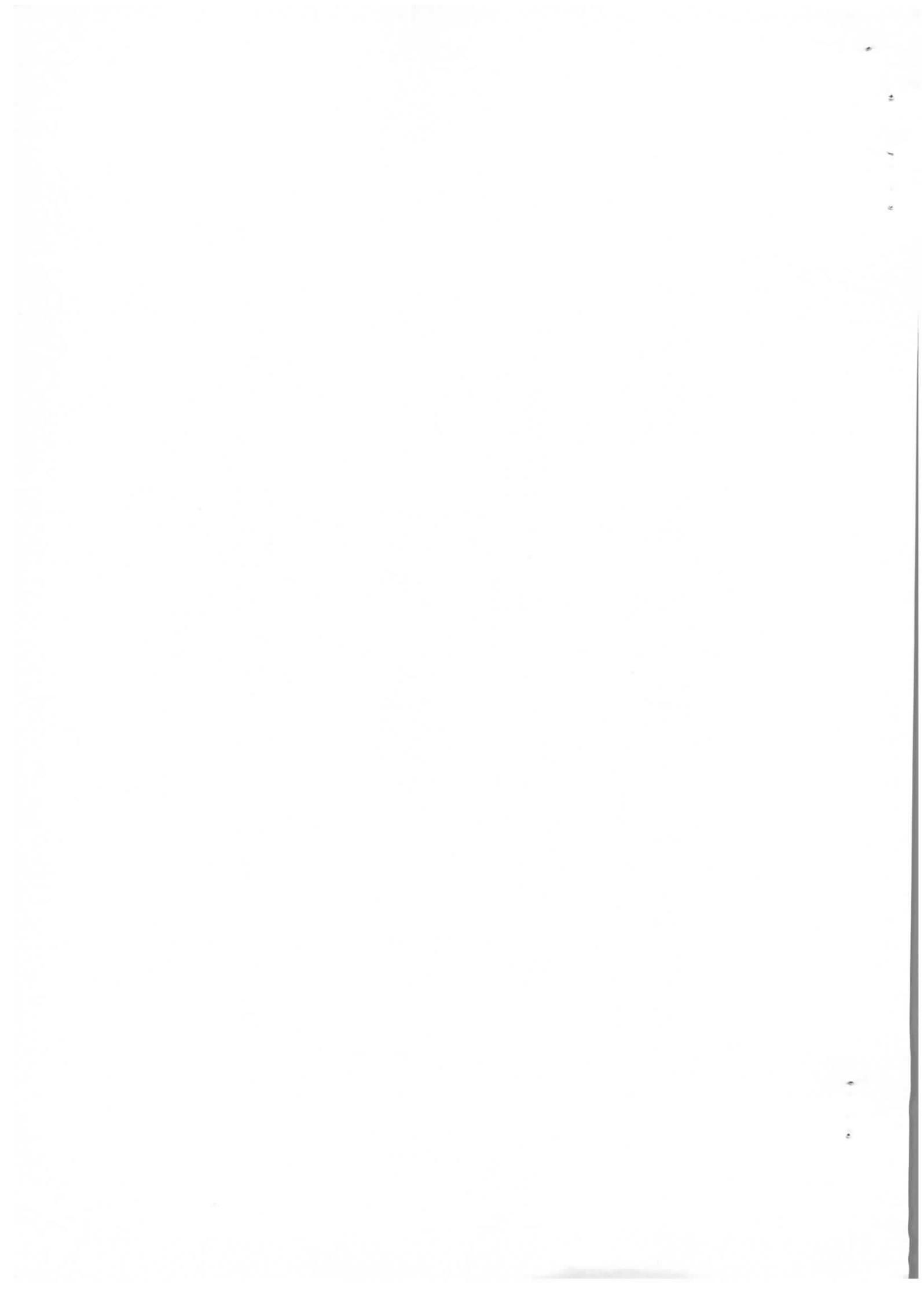


Abb.1



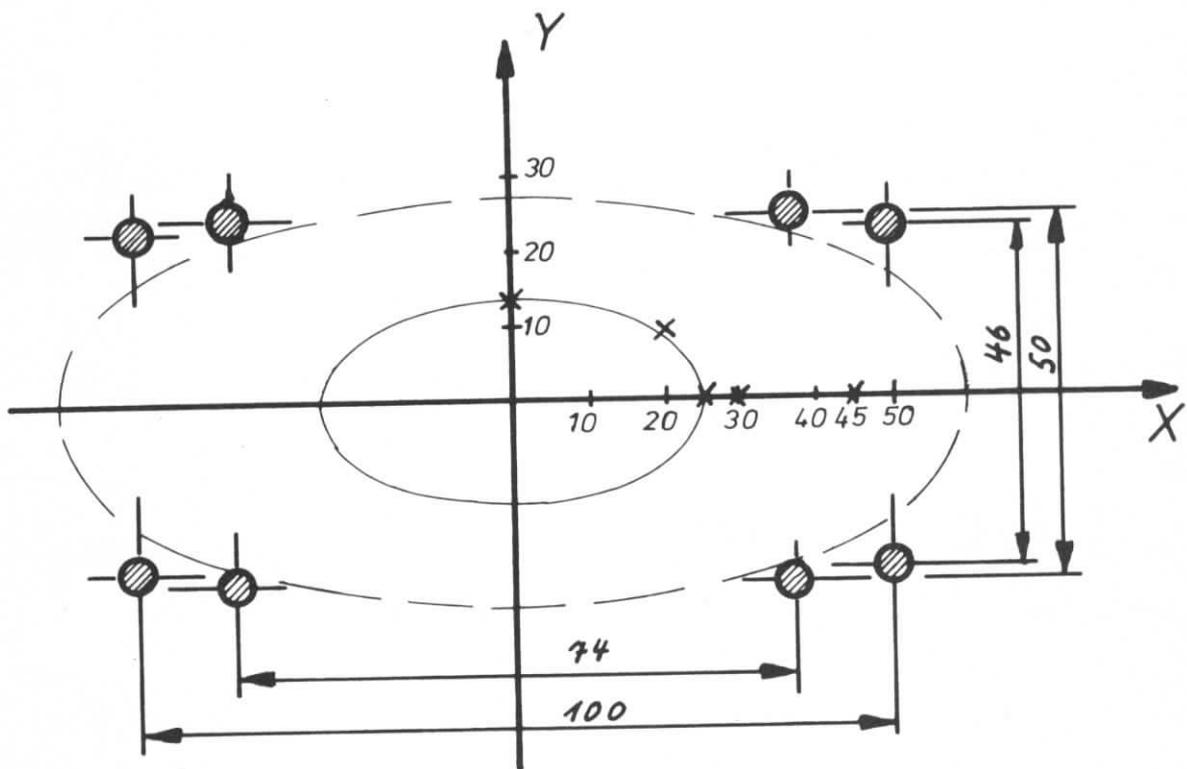
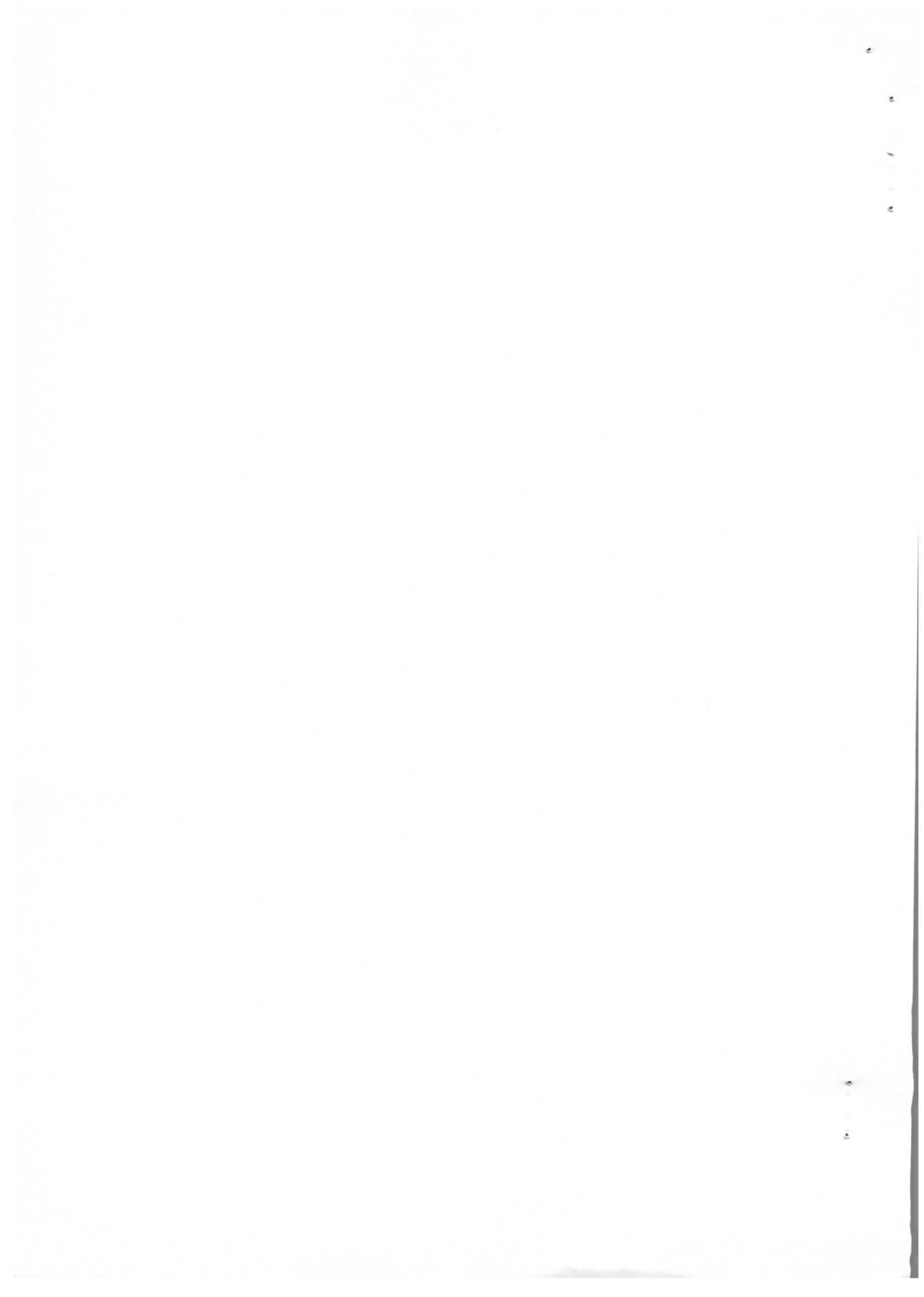


Abb. 2 Leiteranordnung der Luftspule



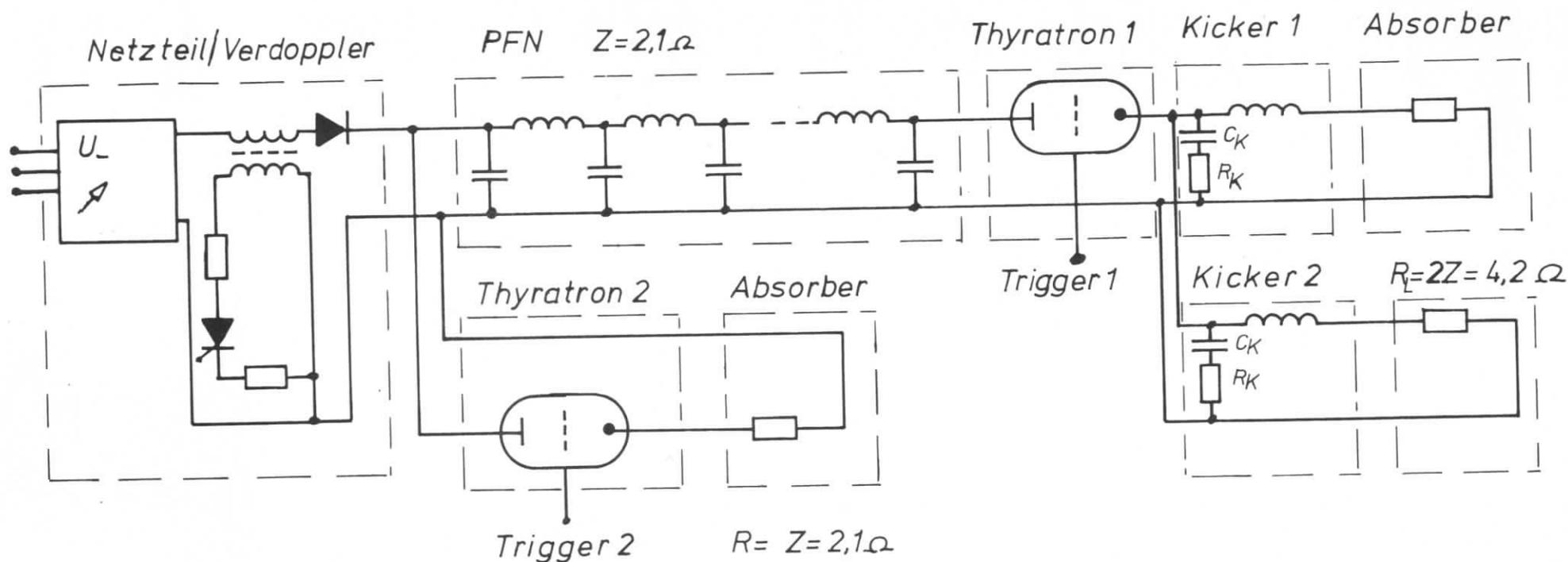
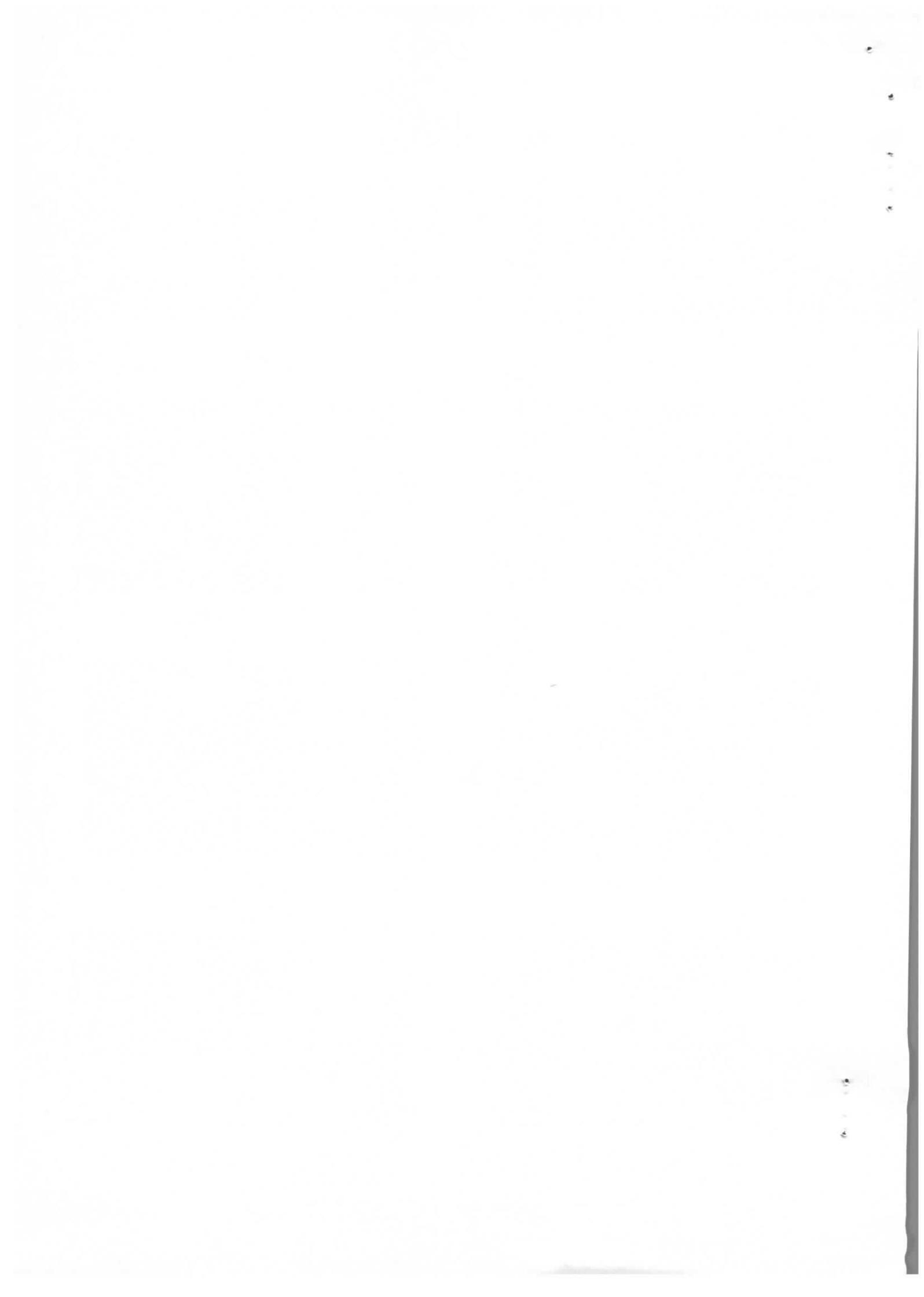
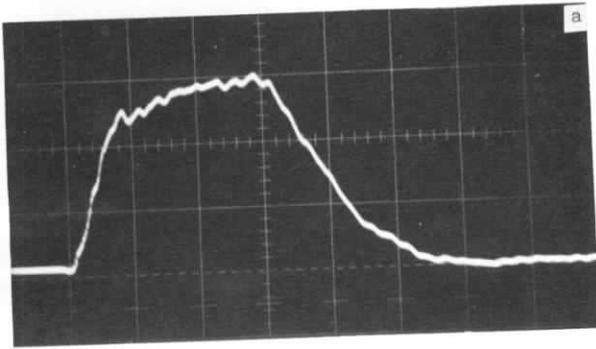


Abb.3 Prinzipielle Schaltung der Kicker-Pulsanordnung
 für e^-e^+ -Injektion in Doris

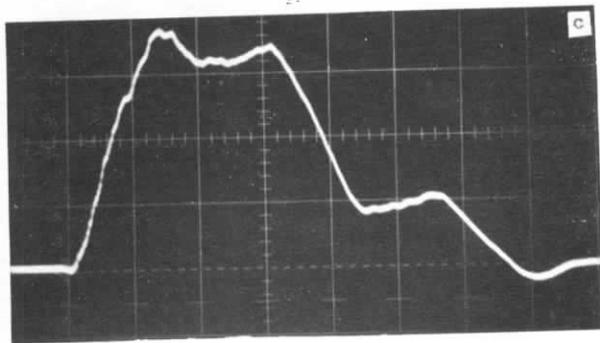


Ferrit-Kicker

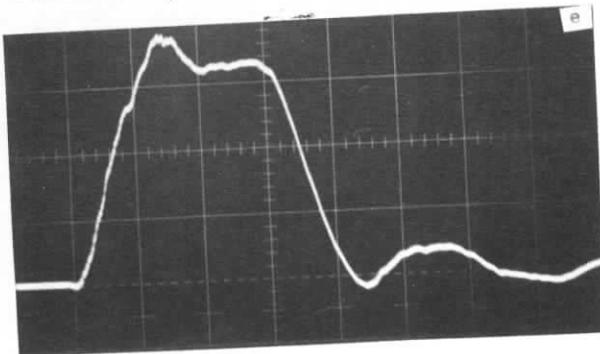
Luftspulen-Kicker



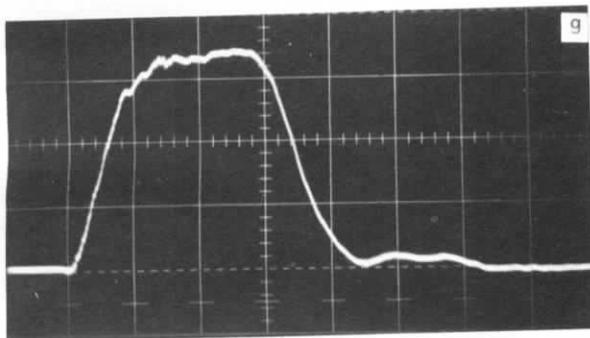
a) Magnet nicht kompensiert, $R_L = 4,2 \Omega$
Rückflanken-Thyratron nicht eingeschaltet.



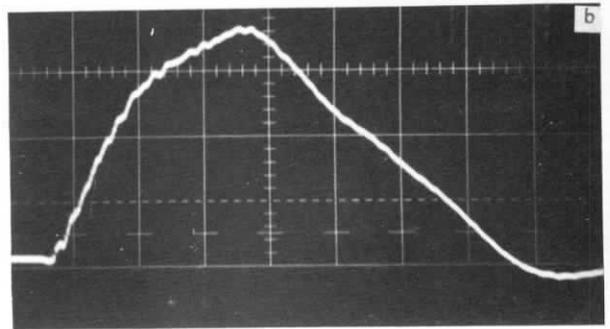
c) Kompensation: $C_K = 47 \text{ nF}$, $R_K = 0$, $R_L = 4,2 \Omega$
Rückflanken-Thyratron nicht eingeschaltet



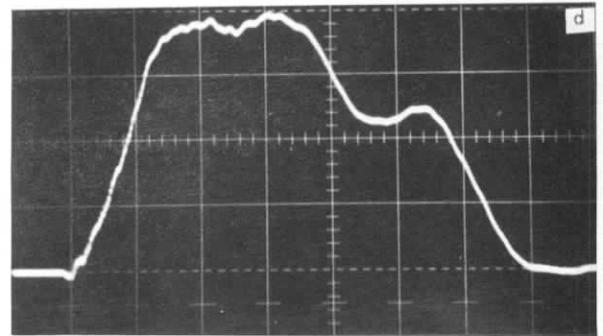
e) Kompensation: $C_K = 47 \text{ nF}$, $R_K = 0$, $R_L = 4,2 \Omega$
Rückflanken-Thyratron eingeschaltet



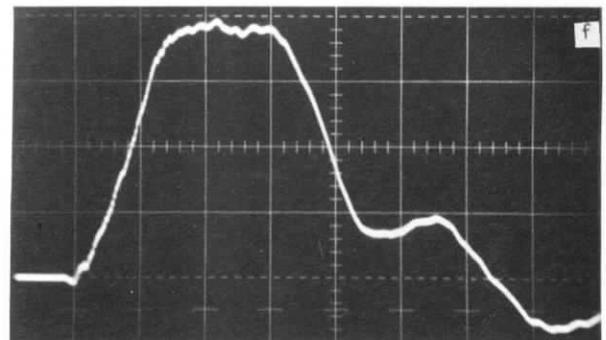
g) Kompensation: $C_K = 47 \text{ nF}$, $R_K = 5 \Omega$, $R_L = 4,2 \Omega$
Rückflanken-Thyratron eingeschaltet



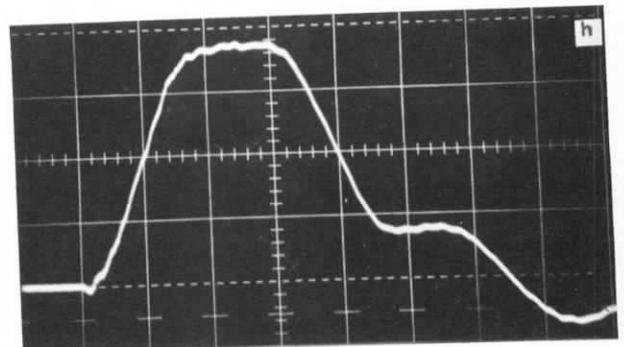
b) Magnet nicht kompensiert, $R_L = 3 \Omega$
Rückflanken-Thyratron nicht eingeschaltet.



d) Kompensation: $C_K = 32 \text{ nF}$, $R_K = 0$, $R_L = 3 \Omega$
Rückflanken-Thyratron nicht eingeschaltet

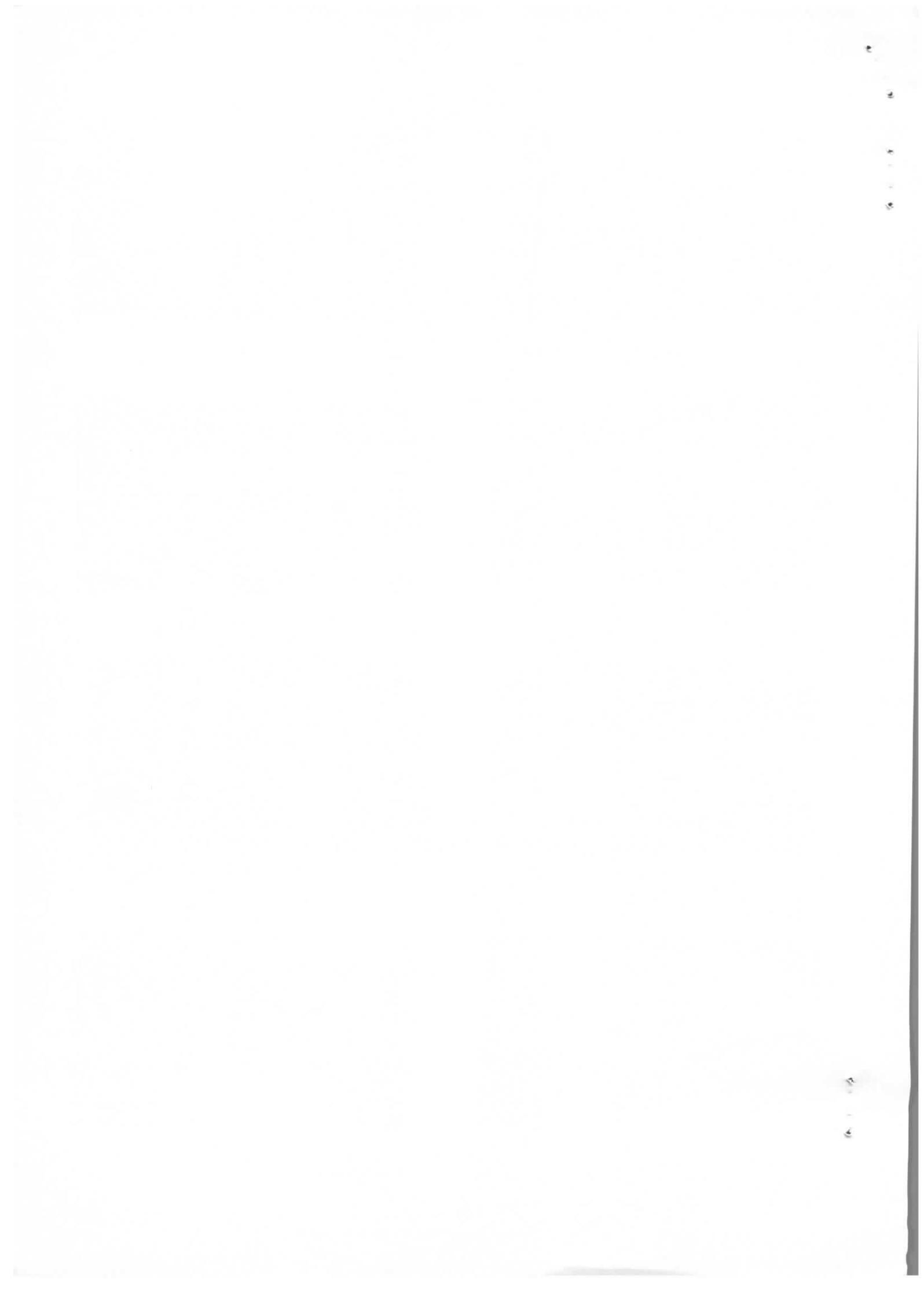


f) Kompensation: $C_K = 32 \text{ nF}$, $R_K = 0$, $R_L = 3 \Omega$
Rückflanken-Thyratron eingeschaltet



h) Kompensation: $C_K = 32 \text{ nF}$, $R_K = 1,3 \Omega$, $R_L = 3 \Omega$
Rückflanken-Thyratron eingeschaltet

Abb.4 Vergleich des zeitlichen Feldverlaufs von Ferrit-Kicker und Luftspulen-Kicker ($U_L = 6 \text{ kV}$, $t = 1 \mu\text{s/skt}$ bei allen Aufnahmen.)



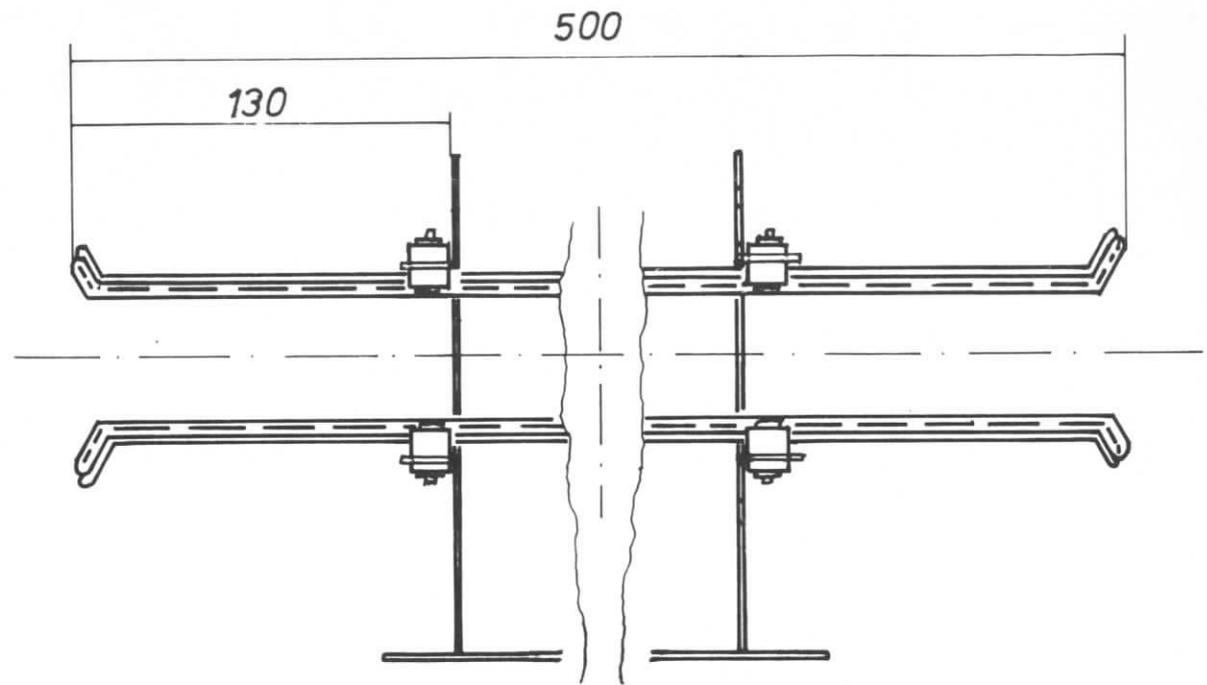
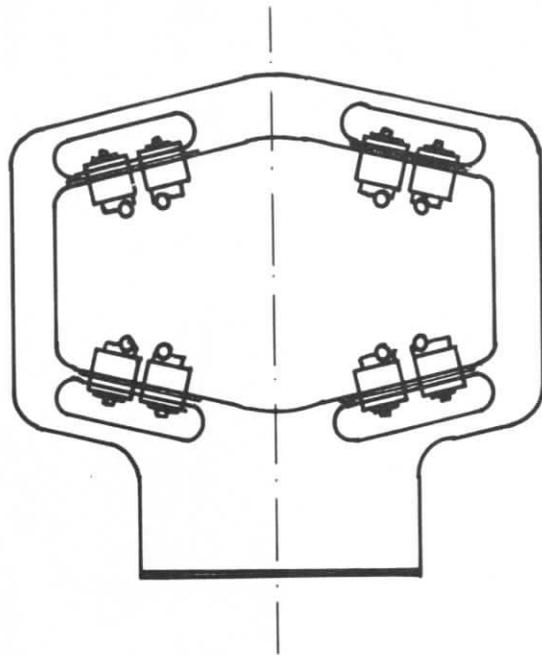


Abb.5 Konstruktiver Aufbau des Injektionskickers als Luftspule (M 1:2,5)

100

X

100