

# Die gepulsten Magnete bei ANKA

D. Einfeld, E. Huttel, M. Pont, FGS

## Grundlagen

Für das Einfädeln eines Elektronenstrahls aus einer Transportlinie in einen Speicherring, so wie das Ausfädeln aus einem Ring in eine Transferlinie, sind schnelle

(gepulste) Magnete notwendig, die nur für eine Zeit, vergleichbar mit der Umlaufzeit der Elektronen im Ring, eingeschaltet sind. Zum Füllen des Speicherring wird bei ANKA ein Elektronen-Puls von etwa 0.05  $\mu\text{sec}$  Länge und 5 mA

Amplitude aus dem Booster in den Speicherring eingeschossen. Der einlaufende Strahl wird über einen speziellen Magneten (Septum) parallel zum gespeicherten Strahl gebracht. Dieser Magnet ist so gebaut, dass sein Feld nur den einlaufenden, nicht aber den gespeicherten Strahl beeinflusst. Der bereits gespeicherte Strahl wird, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, zum Zeitpunkt der Injektion, über schnelle Magnete (Kicker) zum Rand der Vakuumkammer, nahe zum einlaufenden Strahl, gelenkt. Einlaufender Strahl und gespeicherter Strahl werden dann über zwei weitere schnelle Magnete zur Mitte der Vakuumkammer geführt. Das Feld der Kicker-Magnete muß beim weiteren Durchgang am Injektionsort soweit abgeklungen sein, dass die Einengung im Bereich des Septums nicht getroffen wird. Der injizierte Strahl führt zunächst noch transversale Schwingungen um den gespeicherten Strahl aus, die dann durch Abstrahlung von Synchrotronstrahlung gedämpft werden. Er wird somit in den gespeicherten Strahl integriert.

Das Ausfädeln eines Elektronenstrahls aus einem Ring in eine Transportlinie geschieht ebenfalls über einen schnellen Kicker und einem Septummagneten. Der gespeicherte Strahl wird über einen schnellen Kicker in Richtung des Septums abgelenkt. Elektronen, die während des Feldanstiegs den Kicker passieren, erhalten keine ausreichende Ablenkung und treffen auf die Vakuumkammer, wie in Abb. 2 dargestellt. Um die Verluste zu minimieren, muss der Extraktions-

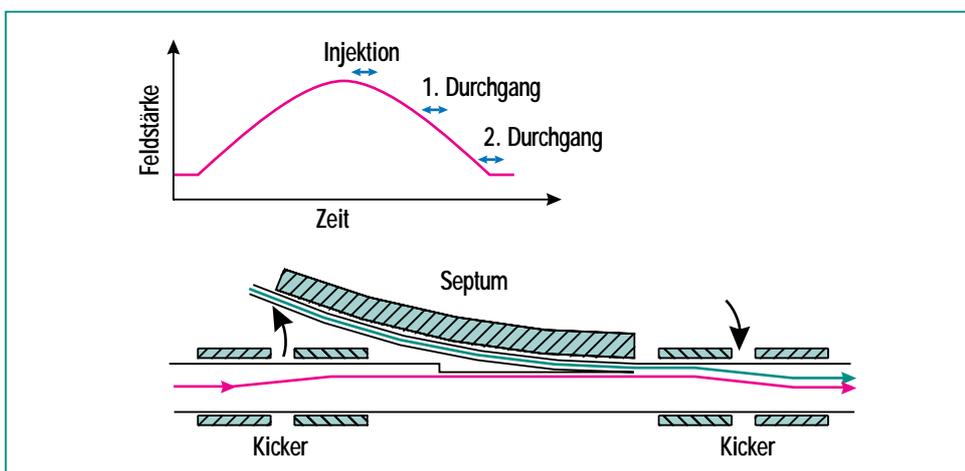


Abb. 1: Oberer Teil: Zeitlicher Verlauf des Kickerimpulses. Während der Injektion hat die Kickerstärke ihr Maximum. Beim weiteren Durchgang des Strahls muss diese soweit abgefallen sein, dass die Vakuumkammer nicht getroffen wird. Unterer Teil: Schematische Darstellung des Injektionsvorgangs: Der gespeicherte Strahl (rot) wird über Kicker in Richtung des Septums gelenkt, aus dem der injizierte Strahl (grün) eintritt. Weitere Kicker bringen beide Strahlen zur Mitte der Vakuumkammer.

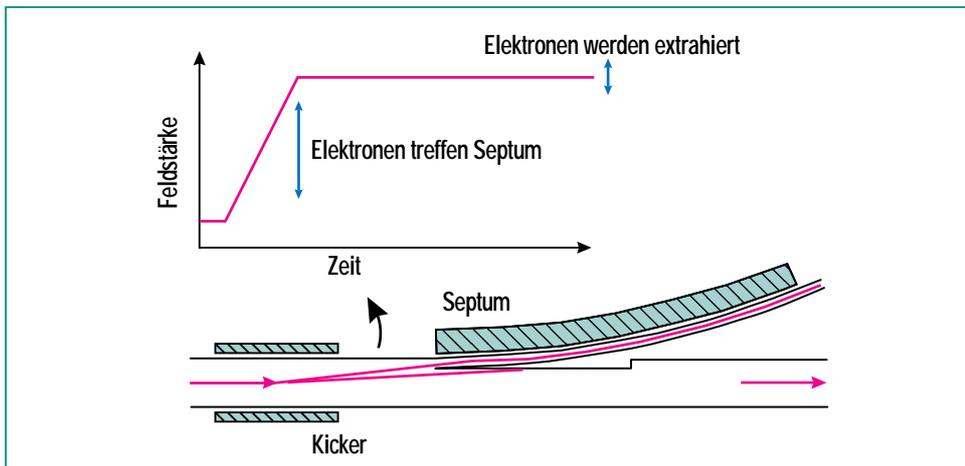


Abb. 2: Schematische Darstellung der Extraktion aus einem Speicherring. Der Elektronenstrahl wird über einen Kicker mit besonders schnellem Anstieg in Richtung Septum gelenkt. Elektronen, die den Kicker, während des Einschaltens durchlaufen, sehen nicht genügend Feld und gehen verloren (gebogene Linie).

Kicker daher einen sehr schnellen Anstieg haben (kleiner als die Umlaufzeit im Speicherring) und während einer Umlaufzeit mit konstanter Stärke anliegen.

### Elektrische Schaltung

Elektrotechnisch sind die Kicker zur Injektion und Septummagnete wie ein Schwingkreis mit Induktivität und Kapazität ausgelegt. Ein Kondensator (C) wird über ein Netzgerät aufgeladen und über die Spule (L) des Kickers, bzw. Septums entladen. Die erforderliche Ladespannung ( $U_L$ ) ist durch die folgenden Gleichung gegeben:

$$U_L = \pi L I_M / \tau$$

$$C = (\tau / \pi)^2 / L$$

Der resultierende Stromimpuls hat die Form einer halben Sinuswelle mit der Länge ( $\tau$ ). Für den Extraktionskicker lässt sich diese Schaltung nicht verwenden, da hier ein schneller Impulsanstieg mit einem sich anschließenden flachen Bereich benötigt wird. Hierzu wird ein Kabel über ein Netzgerät aufgeladen. Über einen Schalter wird dann das Kabel über die Induktivität des Extraktions-Kickers und einen an das Kabel angepassten Widerstand entladen. Beim Schalten bricht die Spannung am Schalter auf die Hälfte zusammen. Eine Spannungswelle läuft vom Schalter zum anderen Ende des Kabels, wird dort reflektiert und über den Widerstand vollständig entladen. Ladespannung ( $U_L$ ), Anstiegszeit ( $\tau$ ), und Pulsdauer (t) werden durch die folgenden Gleichungen beschrieben ( $L'$  und  $C'$  sind die

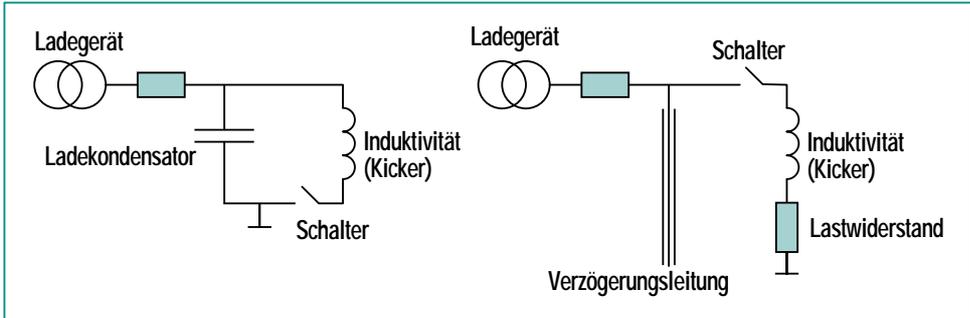


Abb. 3: Schematische Darstellung der Schaltungen für Injektions- und Extraktionskicker. Der Impuls des Injektionskickers hat die Form eines halben Sinus (siehe Abb. 1), der des Extraktionskickers eine gerundete Rechteckform (siehe Abb. 2).

spezifischen Induktivitäten und Kapazitäten des Kabels per Meter).

$$U_L = 2 R I_M$$

$$\tau = L / R$$

$$t = l (L' C')^{1/2}$$

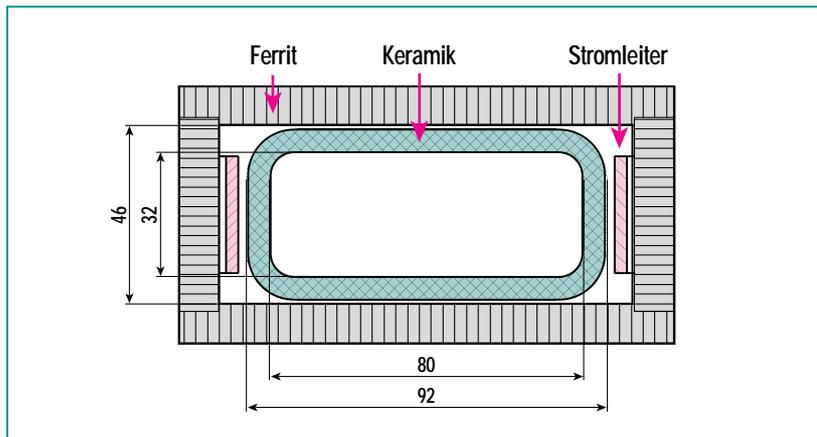
Die Schaltkreise für beide Injektions- und Extraktionskicker sind in Abb. 3 dargestellt. Als Schalter werden für Injektionskicker und Septum Halbleiter (IGBT) verwendet. Für den Extraktionskicker muss wegen der hohen Spannung von 20 kV ein Tyratron (eine gasgefüllte Röhre) verwendet werden.

### Kicker

Die für die Injektion und Extraktion benötigten Feldstärken der Kicker hängen von der Anordnung der Quadrupole und Dipole im Speicherring, sowie von der Energie der Elektronen und der Position der Kicker im Ring ab. Auf deren Berechnung soll hier nicht eingegangen werden. Feldstärke, Stromstärken und Spannungen sind für Kicker und Septum in Tab. 1 wiedergegeben. Um die benötigte Spannungen möglichst niedrig zu halten, muss die Induktivität klein sein. Das Magnetfeld wird daher mit nur einer Stromschleife erzeugt. Stromlei-

Parameter	Einheiten	Extraktions-Kicker	Injektions-Kicker	Injektions-Septum
B Feld	T	0.002	0.025	0.8
Strom	A	160	1000	8000
Ladespannung	V	20000	1600	210
Polabstand	mm	26	46	11
Bogenlänge	m	0.4	0.2	0.523
Ablenkwinkel	mrad	2	2	262
Pulslänge	µsec	0.1	3	200

Tab. 1: Parameter der gepulsten Magnete bei ANKA



**Abb. 4: Querschnitt durch einen Injektionskicker des Speicherrings von ANKA. Die Vakuumkammer ist aus Keramik, um Wirbelströme durch den schnellen Kickerimpuls zu vermeiden. Aus dem gleichen Grund wird für das Joch Ferrit verwendet. Das Magnetfeld wird mit nur einem Leiter erzeugt, um die Induktivität klein zu halten.**

ter und Joch befinden sich außerhalb der Vakuumkammer. Das Joch zur Führung des Magnetfeldes ist als Fenster um Spule und Vakuumkammer herumgeführt. Abb. 4 zeigt den Querschnitt eines Injektionskickers von ANKA.

Das Joch ist aus Ferrit hergestellt, um die bei den schnellen

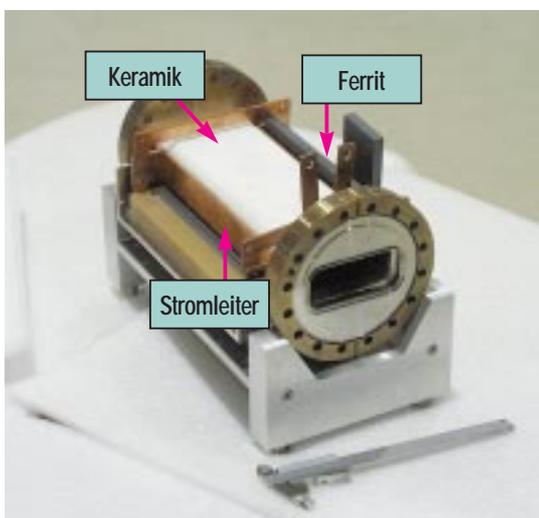
Strompulsen erzeugten Wirbelfelder zu reduzieren. Aus dem gleichen Grund ist es nicht möglich, eine metallische Vakuumkammer zu verwenden. Diese ist aus 6 mm dicker Keramik mit einer 2 µm dicken Innenbeschichtung aus Titan. Die Titanschicht wurde durch Spattern aufgetragen. Diese ist notwendig, um für den gespei-

cherten Elektronenstrahl eine gleichförmig leitende Umhüllung zu haben. Abb. 5 zeigt einen Kicker vor der Montage.

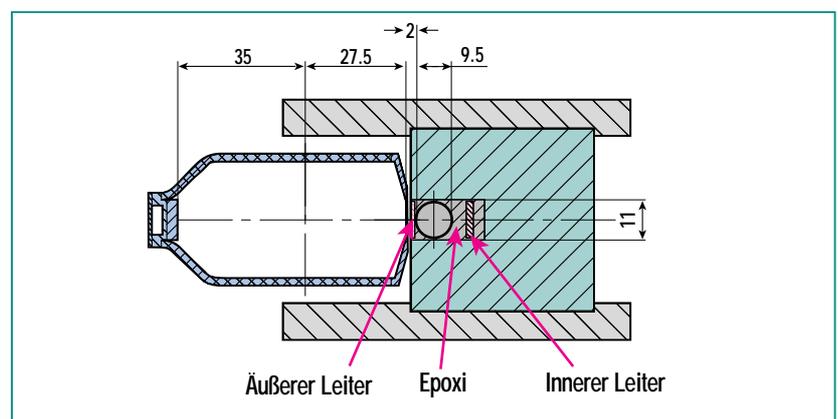
### Septum

Hauptkriterium eines Septum-Magneten ist die Ablenkung des ein- bzw. auslaufenden Strahls, ohne den gespeicherten Strahl zu beeinflussen. Weiterhin muss die Trennung zwischen den beiden Strahlkanälen (die Septumschiene) möglichst klein sein. Abb. 6 zeigt einen Querschnitt durch den Septum-Magneten mit den beiden Vakuumkammern.

Der Magnet ist als C-Magnet ausgelegt, mit einer Stromschleife zu beiden Seiten der Vakuumkammer des einlaufenden Strahls. Die Vakuumkammern sind im Bereich der Engstelle auf 0.5 mm verjüngt, der Stromleiter hat an dieser Stelle ebenfalls eine Stärke von nur 0.5 mm, so dass sich mit notwendiger Isolierung für die Septumschiene eine Dicke von



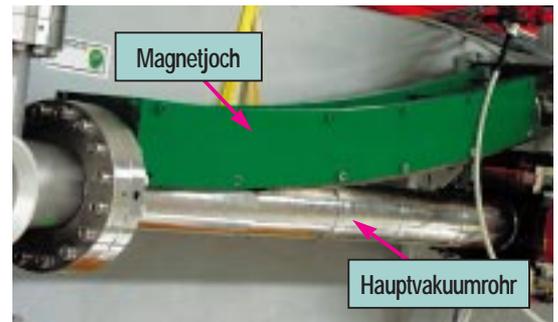
**Abb. 5: Injektionskicker des Speicherrings von ANKA.**



**Abb. 6: Querschnitt durch das Injektions-Septum. Der einlaufende Strahl wird durch das 10-mm-Rohr in die Hauptkammer gelenkt. Deren halbe Weite ist hier einseitig von 35 auf 27.5 mm eingengt. Das Feld wird durch eine Leiterschleife (rot) erzeugt. Das Joch (grün) für das Magnetfeld besteht aus laminierten Blechen.**

etwa 2 mm ergibt. Zur Erregung des für die Ablenkung des einlaufenden Strahls notwendigen Magnetfeldes von 0,8 T ist ein Strom von 7000 A notwendig. Diese Stromstärke lässt sich über einen ungekühlten Stromleiter nur kurzzeitig anwenden, weshalb Septummagnete ebenfalls gepulst betrieben werden. Beim Testen des Septums zeigte es sich, dass der Einfluss des Magneten auf

den gespeicherten Strahl größer als erwartet war. Zur Reduzierung des Einflusses musste der Abstand des Stromleiters zum Magnetjoch minimiert werden, was Probleme bei der Isolation ergab, zum anderen wurde  $\mu$ -Metall zwischen Stromleiter und Hauptvakuumkammer angebracht, soweit dies möglich war. Abb. 7 zeigt eine Abbildung des Septums.



**Abb. 7: Abbildung des Extraktions-Septums.**