

Interner Bericht

DESY-H5/5

April 1969

DESY-Bibliothek
30. MAI 1969

EINSCHUBZEITEN IN DEN SPEICHERRING

NACH DEM GEGENWÄRTIGEN STAND DER PLANUNG

von

H. Wiedemann

EINSCHUBZEITEN IN DEN SPEICHERRING

NACH DEM GEGENWÄRTIGEN STAND DER PLANUNG

von

H. Wiedemann

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
A. Injektionsenergien	2
1. Einschub vom Linac II (12 Abschnitte)	2
2. Einschub vom Linac II (14 Abschnitte)	4
3. Einschub vom Synchrotron	4
B. Strahlströme	5
1. Linac II - Synchrotron	6
2. Linac II - Speicherring	
C. Einschubgeometrie am Speicherring	7
D. Einschubzeiten in den Speicherring	10
1. Einschub vom Linac II (12 Abschnitte)	10
2. Einschub vom Linac II (14 Abschnitte)	11
3. Einschub vom Synchrotron	12
E. Maximal gespeicherte Ströme	13

EINSCHUßZEITEN IN DEN SPEICHERRING

=====

NACH DEM GEGENWÄRTIGEN STAND DER PLANUNG

=====

Wegen der starken Energieabhängigkeit der Dämpfungszeitkonstanten (Abb. 1) für kohärente Betatronschwingungen sind die Füllzeiten des Speicherrings nicht nur von der Einschußstromstärke, sondern auch von der Einschußenergie abhängig.

In den folgenden Abschnitten sollen die Speicherringfüllzeiten für die verschiedenen vorgesehenen Einschußmöglichkeiten berechnet werden: Hierbei sind drei Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Einschuß von Linac II nach dem derzeitigen Stand der Planung: 7 Abschnitte für Positronen
12 Abschnitte für Elektronen
2. Einschuß vom Linac II nach einer möglichen Verlängerung: 9 Abschnitte für Positronen
14 Abschnitte für Elektronen
3. Einschuß über das Synchrotron bei 1,5 GeV, 2 GeV und 2,2 GeV

Bei allen Stromangaben sind die Werte bei 500 MHz-Modulation angegeben.

A : Injektionsenergien

1. Einschuß vom Linac II

α : Positronen 7 Abschnitte, $i = 10\text{mA}$.

Bei einer HF-Leistung von 20 MW pro Beschleunigerabschnitt ergibt sich für die Positronenenergien unter Berücksichtigung der Strombelastung: (s. Abb. 2)

Design: $E_D(\text{MeV}) = 421 - 402 \cdot i \text{ (A)}$

Garantie: $E_G(\text{MeV}) = 388 - 402 \cdot i \text{ (A)}$

Zu den folgenden Werten ist eine Gesamtstrombelastung (Positronen + Elektronen) von 10mA berücksichtigt. Außerdem werden neben den entsprechenden Dämpfungszeitkonstanten(τ) noch die Strahlenergien bei 22 MW HF-Leistung pro Abschnitt angegeben. Dies setzt jedoch voraus, daß alle Klystrons mit 24 MW betrieben werden können und die Verluste in den Hohlleitern nicht größer als 2 MW sind:

	$N_{\text{HF}} = 20 \text{ MW}$	$N_{\text{HF}} = 22 \text{ MW}$
$E_G(\text{MeV})$	384	403
$\tau \text{ (sec)}$	4,8	4,1
$E_D(\text{MeV})$	417	438
$\tau \text{ (sec)}$	3,7	3,2

β: Elektronen 12 Abschnitte, $i = 125 \text{ mA}$

$$N_{\text{HF}} = 20 \text{ MW}$$

Design: $E_{\text{D}} (\text{MeV}) = 703 - 689 \cdot i \text{ (A)}$

Garantie: $E_{\text{G}} (\text{MeV}) = 647 - 689 \cdot i \text{ (A)}$

Strom: $i = 125 \text{ mA}$

	$N_{\text{HF}} = 20 \text{ MW}$	$N_{\text{HF}} = 22 \text{ MW}$
$E_{\text{G}} (\text{MeV})$	561	590
$\tau (\text{sec})$	1,5	1,35
$E_{\text{D}} (\text{MeV})$	617	649
$\tau (\text{sec})$	1,13	0,99

2. Einschub vom Linac II nach einem Ausbau auf 14 Abschnitte.

α : Positronen 9 Abschnitte, $i = 10$ mA

	$N_{HF} = 20$ MW	$N_{HF} = 22$ MW
E_G (MeV)	494	519
τ (sec)	2,25	1,95
E_D (MeV)	536	563
τ (sec)	1,75	1,50

β : Elektronen 14 Abschnitte, $i = 125$ mA

	$N_{HF} = 20$ MW	$N_{HF} = 22$ MW
E_G (MeV)	657	691
τ (sec)	0,94	0,82
E_D (MeV)	723	760
τ (sec)	0,70	0,61

3. Einschub über das Synchrotron

Hier kann die Energie frei gewählt werden. Sie wird nur begrenzt durch die Grenzeigenschaften des schnellen Kickers und des Septums bei der Ejektion aus dem Synchrotron. Bei einer Energie $\geq 2,35$ GeV kann mit 50 Hz in den Speicherring eingeschossen werden.

B : Strahlströme

Im folgenden Abschnitt werden die nutzbaren Teilchenströme aus dem Linac II angegeben. Dabei wird die Akzeptanz des Synchrotrons bzw. des Speicherrings berücksichtigt:

Das Synchrotron hat eine Akzeptanz von etwa 2 mradcm. Die Energieakzeptanz beträgt $\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,25 \%$ für hohe Elektronenströme wegen des "beam loading" Effektes. Für Positronen bei einer Einschussenergie von etwa 300-400 MeV sollte dieser Effekt nicht auftreten, so daß mit einer Energieakzeptanz bis zu etwa $\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$ gerechnet werden kann.

Die Akzeptanz des Speicherrings ist nach der bisherigen Planung: $\epsilon \leq 0,5$ mradcm

$$\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$$

α : Positronen

Bei einer Energie von 300 MeV, einer Emittanz von 2 mradcm, einer Energiebreite von $\pm 0,5 \%$ und 500 MHz Modulation des Linacstrahls ergeben sich folgende Positronenströme:

I:	I^+	=	0,37 mA	Varian Konverter (Garantie)
II:	I^+	=	1,0 mA	" " (Design)
III:	I^+	=	3,0 mA	Positronenhorn (Design)

β : Elektronen

Für alle Linacenergien wird von Varian ein maximaler Pulsstrom von 125 mA innerhalb einer Energiebreite von $\pm 0,5 \%$, einer Emittanz von 1 mradcm und bei einer 500MHz-Modulation garantiert.

1. Linac II - Synchrotron

Beim Einschuß in das Synchrotron ergeben sich folgende nutzbaren Linacströme unabhängig von den erreichbaren Linacenergien. Während die Positronenströme im Bereich von $\frac{\Delta p}{p} \leq \pm 0,5 \%$ linear mit der Energiebreite ansteigen, ist beim Übergang von $\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5 \%$ auf $\pm 1 \%$ nur noch ein Zuwachs von 50 % angenommen worden.

α : Positronen:

	$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,25 \%$	$\pm 0,5 \%$	$\pm 1 \%$
I: I^+	= 190 μ A	380 μ A	570 μ A
II: I^+	= 500 μ A	1000 μ A	1500 μ A
III: I^+	= 1500 μ A	3000 μ A	4500 μ A

β : Elektronen: $\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,25 \%$

$$I^- = 62,5 \text{ mA}$$

2. Linac II - Speicherring

Beim Einschuß in den Speicherring direkt vom Linac II ergeben sich die nutzbaren Einschußströme der Tabelle 1 :

T A B E L L E I

Linacenergie (MeV)	Emittanz (mrad·cm)	Positronenströme in μA in ein Energieintervall von:					
		$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$		
(7 Abschnitte)		I	II	III	I	II	III
334	1,56	120	320	960	180	430	1440
403	1,49	125	335	1005	190	500	1500
417	1,44	130	350	1040	195	530	1550
438	1,37	135	365	1100	200	550	1650
(9 Abschnitte)							
494	1,21	150	410	1240	225	620	1860
519	1,16	160	430	1290	240	650	1930
536	1,12	165	450	1340	250	690	2000
563	1,07	170	470	1400	255	710	2100

Elektronenströme:

Bei allen Elektronenenergien ab 500MeV beträgt der Elektronenstrom:

$$I^- = 125 \text{ mA}$$

C : Einschußgeometrie am Speicherring

Wie in diesem Abschnitt dargelegt werden soll, ist die Füllzeit eines Speicherrings sehr stark von der Wahl der Geometrie am Einschußpunkt abhängig. Die gegenwärtige Planung sieht einen Einschuß in den Speicherring über ein Septum vor.

Die horizontale Akzeptanz des Speicherrings beträgt 3 mradem, während die Emittanz des Einschußstrahls nur 0,5 mradem beträgt. Dadurch wird es erst möglich, über ein Septum den Speicherring zu füllen.

Zu Abb. 3 ist der zeitliche Ablauf des Injektionsvorgangs dargestellt. (I) zeigt einen Querschnitt am Injektionspunkt unmittelbar vor der Injektion des nächsten Pulses. Dabei bedeutet (1) den bereits gespeicherten Strahl, (2) den vorhergehenden Injektionspuls mit bereits genügend abgeklungener Betatronschwingungsamplitude und (3) den Injektionspuls jenseits des Septums. Damit der Injektionspuls gespeichert werden kann, muß die Akzeptanz des Speicherrings durch eine Kickerbeule im Closed Orbit über den Injektionspuls geschoben werden (II). Da während der Füllung die Optik des Speicherringes auf eine Viertel-Resonanz eingestellt wird und der Injektionspuls um den schon gespeicherten Strahl Betatronschwingungen mit der Amplitude a_0 ausführt, kommt dieser erst nach vier Umläufen wieder an die Stelle des Septums. Damit er dort nicht abgestreift wird, muß nach spätestens knapp vier Umläufen die Kickerbeule wieder vollständig ausgeschaltet sein (III).

Bevor nun der nächste Puls eingeschossen werden kann, muß so lange gewartet werden, bis die Betatronschwingungen so weit abgeklungen sind, daß keine oder nur sehr wenig Teilchen verloren gehen, wenn die Kickerbeule wieder eingeschaltet wird.

Ist E die Enveloppe der Speicherringakzeptanz am Injektionspunkt, E_0 die Enveloppe des Injektionspulses und S die effektive Septumdicke, so kann folgende Rechnung durchgeführt werden, um optimale Einschußbedingungen zu erzielen:

Die Betatronschwingung gehorcht folgender Gesetzmäßigkeit:

$$a = a_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \tau: \text{Dämpfungszeitkonstante}$$

Der nächste Puls kann erst injiziert werden, wenn die Betatronamplitude um den Betrag der Kickerbeule abgenommen hat. s. Abb.

$$a = a_0 - K \quad K: \text{Kickerbeule}$$

$$K = a_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$-\frac{t}{\tau} = \log \left(1 - \frac{K}{a_0}\right)$$

Hieraus folgt, daß um so schneller wieder eingeschossen werden kann, je kleiner K und je größer a_0 ist. Da $K=2E_0+S$ und $a_0=E-E_0$ ist, folgt, daß E_0 und S möglichst klein und E möglichst groß gemacht werden sollen. Aus diesem Grunde wurde durch den Einbau von zwei zusätzlichen Quadrupolen um den Injektionspunkt E so groß wie möglich und E_0 durch eine "Fehlanpassung" so klein wie möglich gemacht. Die Abb. 4 zeigt neben der Akzeptanzellipse die angepaßte und die fehlangepaßte Emittanz des Injektionspulses.

Es muß jedoch erwähnt werden, daß nach einer Dämpfungszeit die fehlangepaßte Emittanzellipse in die angepaßte Ellipse übergegangen ist. Dies führt zu einem Teilchenverlust beim Wiedereinschalten der Kickerbeule am Septum von etwa 10 - 15 % (s. Abb. 3-II). Dieser Verlust wird jedoch überkompensiert durch den Gewinn in der Einschußfolge.

Mit der so geplanten Einschußgeometrie erhält man:

$$\frac{t}{\tau} = - \log \frac{a}{a_0} = - \log 0,39$$

$$t = 0,94 \tau$$

D. h. es kann nach jeweils einer Dämpfungszeit τ erneut eingeschossen werden.

D : Einschußzeiten in den Speicherring

Bei der Berechnung der Einschußzeiten in den Speicherring wurde vorausgesetzt, daß die Injektion über das Synchrotron mit einem Gesamtwirkungsgrad von 50 % und die Injektion direkt vom Linac II mit einem Wirkungsgrad von 80 % durchgeführt werden kann.

Mit den Werten aus Kapitel B und der Einschußfolge aus Kapitel C ergeben sich unter Berücksichtigung der entsprechenden Wirkungsgrade folgende Einschußzeiten:

1. Einschuß vom Linac II (12 Abschnitte)
siehe Tabelle 2
2. Einschuß vom Linac II (14 Abschnitte)
siehe Tabelle 3
3. Einschuß über das Synchrotron
siehe Tabelle 4

T A B E L L E 2

Einschußzeiten bei direktem Einschluß vom Linac II (12 Abschnitte)

α : Positroneneinschußzeiten pro Ampère gespeicherten Strom in ein Energieintervall von:

Energie (MeV)	Dämpfungszeit (sec)	$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$		
		I	II	III	I	II	III
384	4,3	13 h	4,9 h	98 min	8,7 h	3,3 h	65 min
403	4,1	10,7 h	4,0 h	81 min	7,1 h	2,7 h	54 min
417	3,7	9,3 h	3,5 h	70 min	6,2 h	2,3 h	47 min
438	3,2	7,7 h	2,9 h	59 min	5,1 h	1,9 h	39 min

β : Elektroneneinschußzeiten pro Ampere gespeicherten Strom

561	1,5	14 sec
590	1,35	13 sec
617	1,18	11 sec
649	0,98	9 sec

T A B E L L E 3

Einschußzeiten beim direkten Einschuß vom Linac II (14 Abschnitte)

α. Positroneneinschußzeiten pro Ampère gespeicherten Strahl in ein Energieintervall von:

Energie (MeV)	Dämpfungszeit (sec)	$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$		
		I	II	III	I	II	III
494	2,25	4,9 h	110 min	35 min	3,3 h	73 min	23 min
519	1,95	4,0 h	90 min	30 min	2,7 h	60 min	20 min
536	1,75	3,5 h	77 min	26 min	2,3 h	51 min	17 min
563	1,50	2,9 h	63 min	21 min	1,9 h	42 min	14 min

β. Elektroneneinschußzeiten pro Ampère gespeicherten Strahl

657	0,94	9 sec
691	0,82	3 sec
723	0,70	6,6 sec
760	0,61	5,7 sec

T A B E L L E 4

Einschußzeiten bei der Speicherringfüllung über das Synchrotron
pro Ampère gespeicherten Strom

α. Positronen		$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,25 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$		
Energie	Dämpfungszeit (msec)	I	II (min)	III	I (min)	II	III (sec)	I (min)	II (sec)	III
1,5 GeV	81	14	5,3	1,8	7	2,7	55	4,8	110	40
2,0 GeV	34	7	2,7	0,9	3,5	1,4	30	2,4	55	20
≥ 2,35 GeV	21	3,5	1,3	0,5	1,8	0,7	15	1,2	30	10

β. Elektronen

1,5 GeV	81	2,5 sec/Ampère
2,0 GeV	34	1,3 sec/Ampère
≥ 2,35 GeV	21	0,7 sec/Ampère

E : Maximal gespeicherte Ströme

Durch Quantenfluktuation stellt sich nach etwa einer Dämpfungszeitkonstante eine Gaußverteilung der Intensität über den Strahlquerschnitt ein, deren Standardbreite energieabhängig ist. (s. Abb. 5) Die Akzeptanz des Speicherrings ist so ausgelegt, daß die Lebensdauer des Strahls gegen Wandverluste durch Abstreifen der Gaußschwänze größer als 10 Stunden ist. Während der Füllung des Rings entstehen am Septum infolge der Kickerbeule größere Verluste, wodurch der maximal gespeicherte Strom begrenzt wird, sobald die Verluste genauso groß sind wie der Injektionspuls.

Zu Tabelle 5 sind die so begrenzten maximalen Ströme im Speicherring angegeben.

Vom Injektionspuls ② der Abb. 3, dessen Betatronamplitude noch nicht voll abgeklungen ist, wird ein größerer Teil abgestreift, da er nur etwa 2 Standardbreiten vom Septum entfernt ist. Die Verluste betragen jedoch nur etwa 10 - 15 % des Injektionspulses.

T A B E L L E 5

Maximale zu speichernde Ströme in Ampère

α. Positronen

Energie (MeV)	Standardbreite σ (mm)	Abstand vom Septum in σ	rel. Verlust $\mu\text{A}/\text{A}$	$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,25 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 0,5 \%$			$\frac{\Delta p}{p} = \pm 1 \%$		
				I	II	III	I	II	III	I	II	III
384	5,3	3,45	290				0,4	1,1	3,3	0,6	1,7	5,0
438	5,8	3,45	290				0,5	1,3	3,8	0,7	1,9	5,7
494	5,7	3,5	250				0,6	1,6	5,0	0,9	2,5	7,4
563	5,6	3,6	180				0,9	2,6	7,8	1,4	4,0	10,7
1500	5,0	4,0	30	}	6,3	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
2000	4,9	4,1	30									
2350	4,3	4,2	30									

- 13 a -

β. Elektronen

Für alle Einschußenergien, die in Betracht kommen, wird der Strom erst weit über 10 Ampère begrenzt.

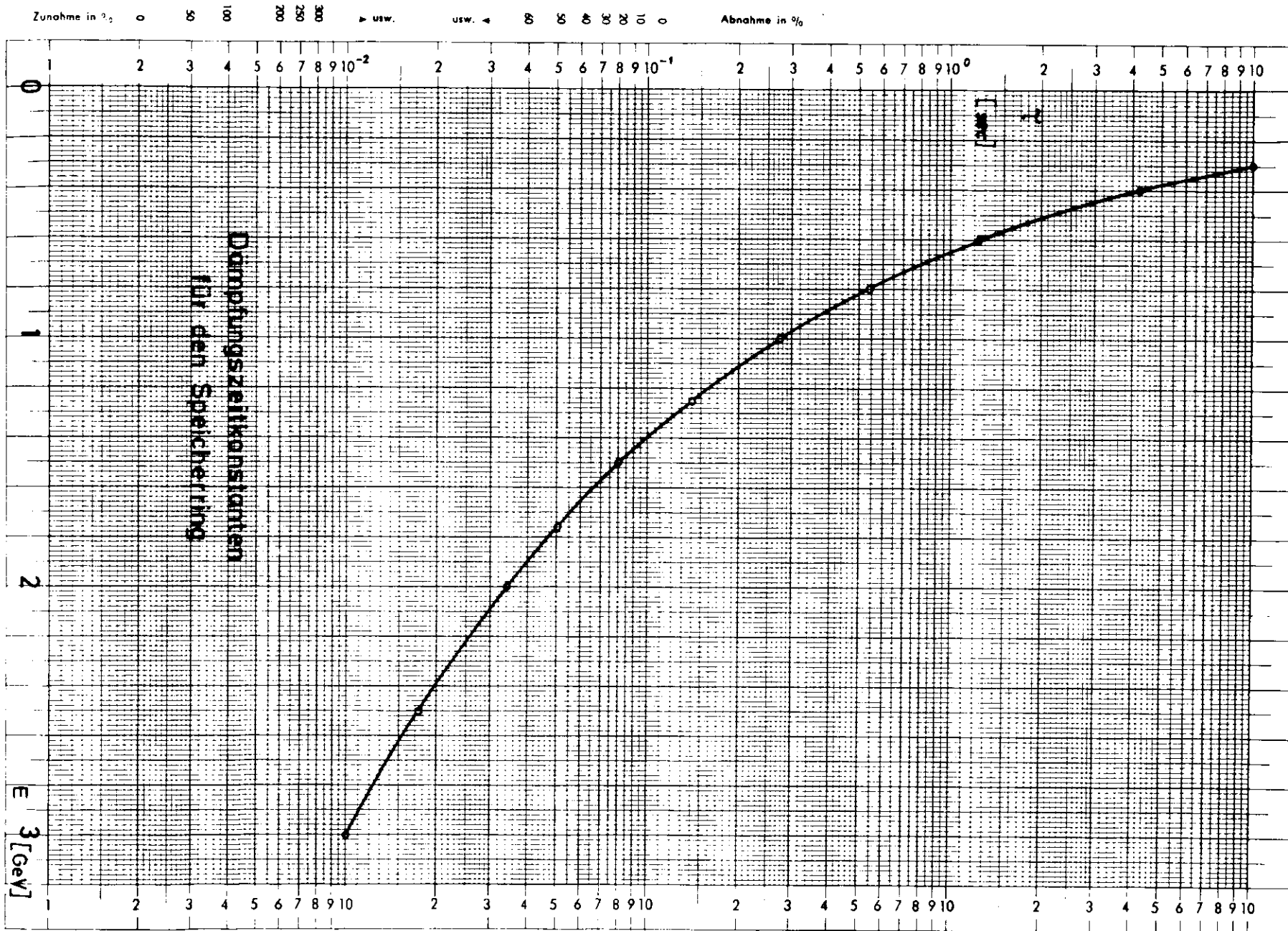


Abb. 1

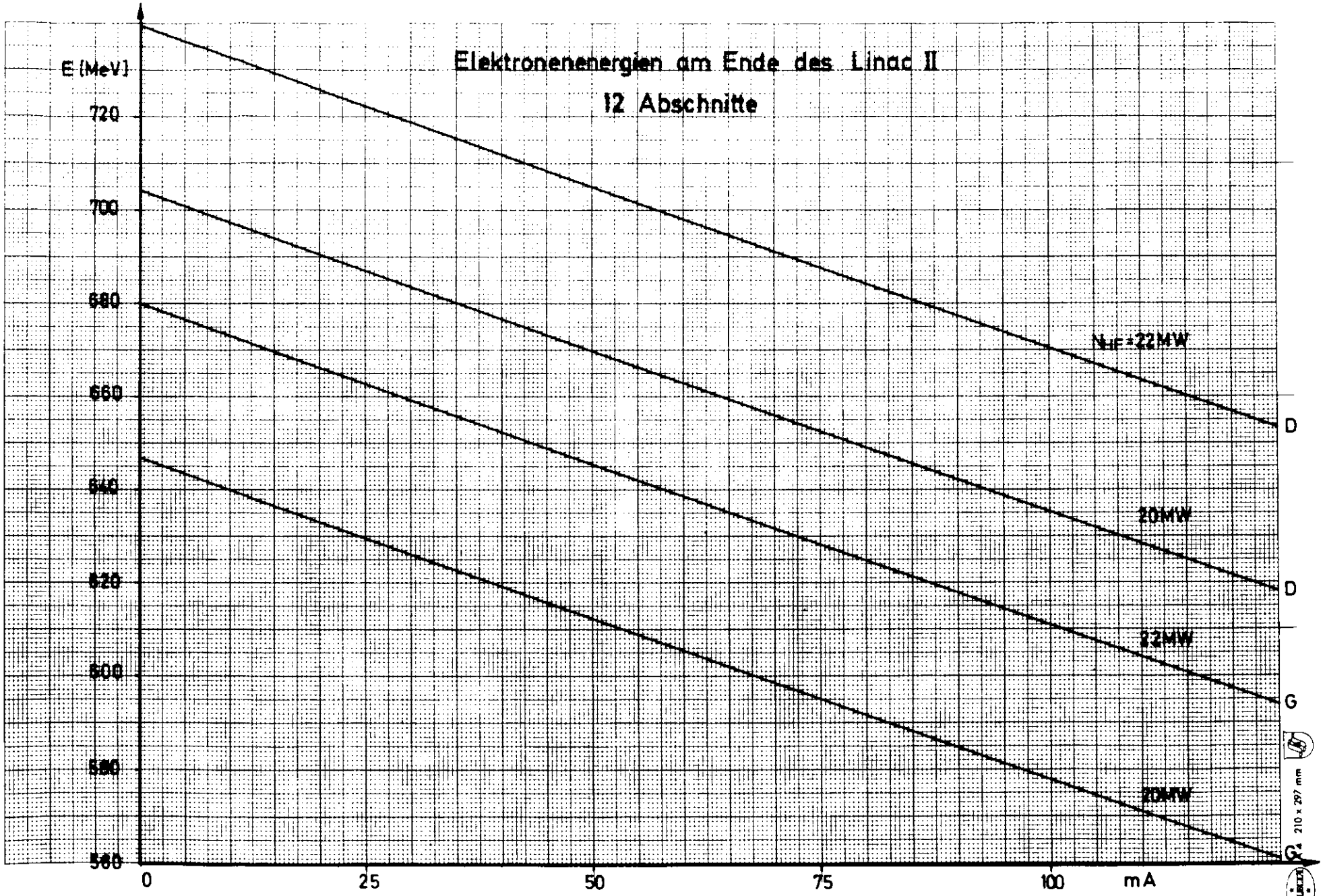
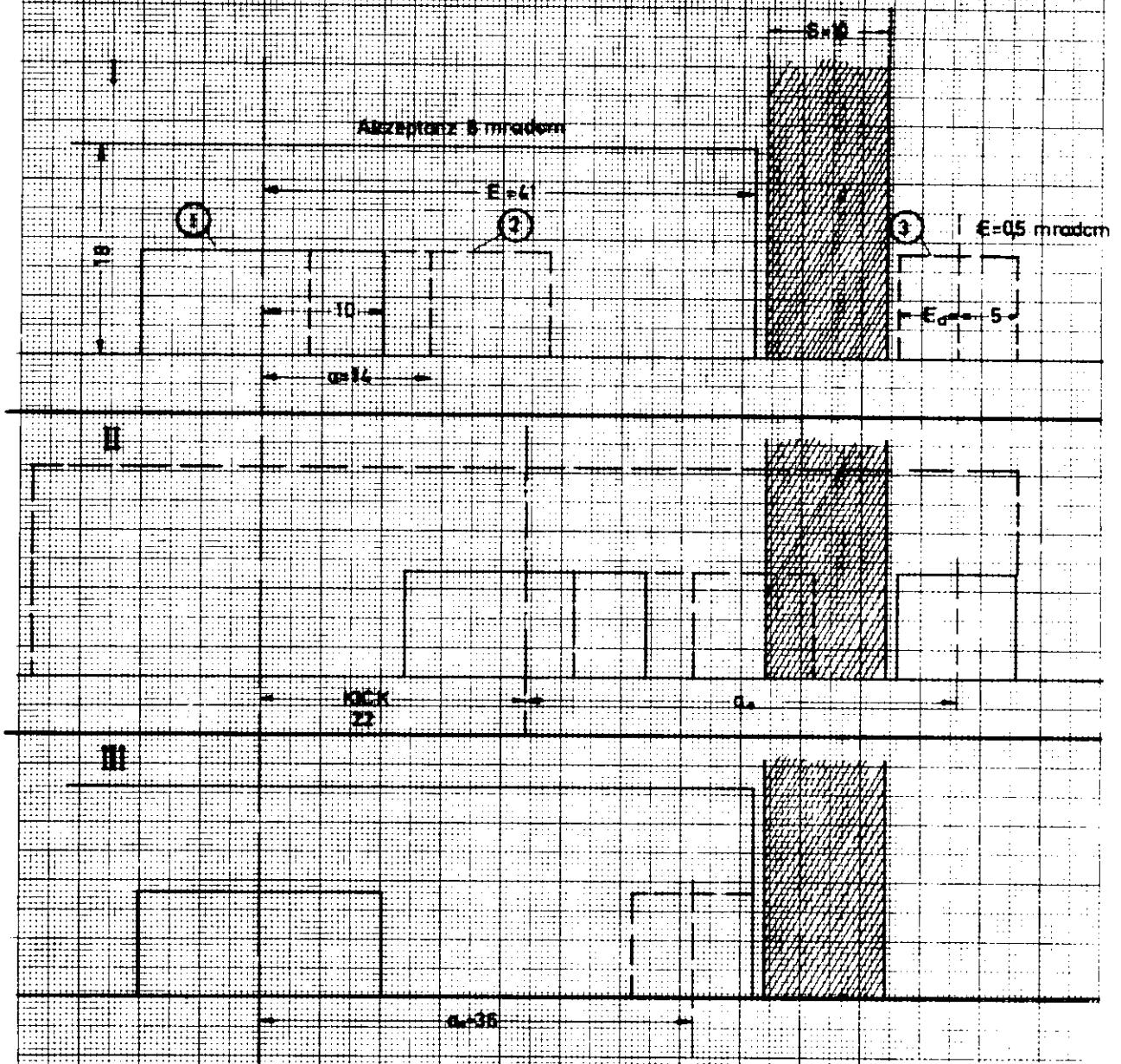


Abb. 2

210 x 297 mm

Injektion in den Speicherring



Angaben in mm

- ① gespeicherter Strahl
- ② gerade vorher eingeschossener Strahl
- ③ einzuschießender Strahl

Speicherringakzeptanz und Injektionsemitanz

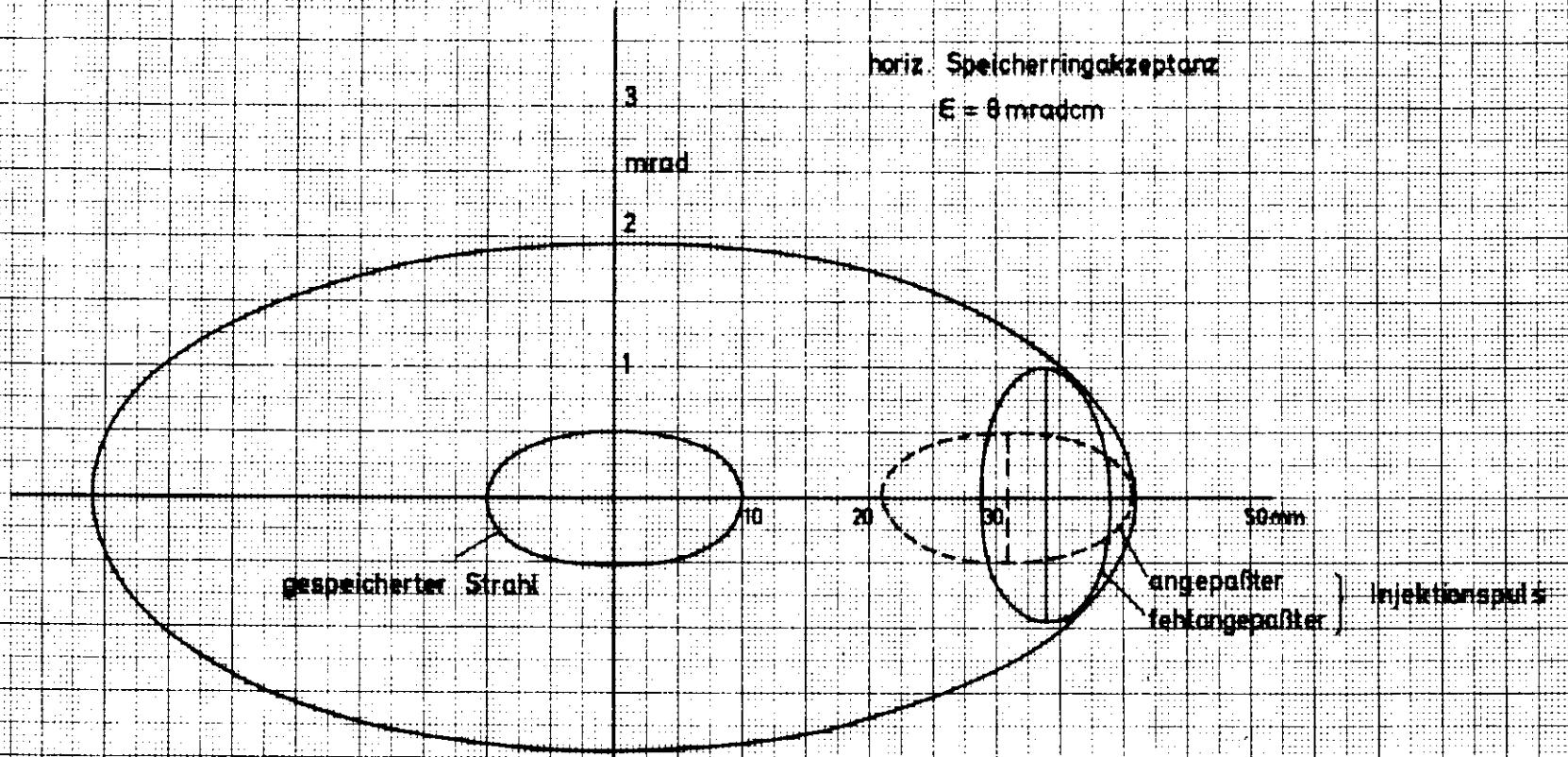


Abb. 4

Benötigte Standardbreiten im SR
für eine Lebensdauer von 10h

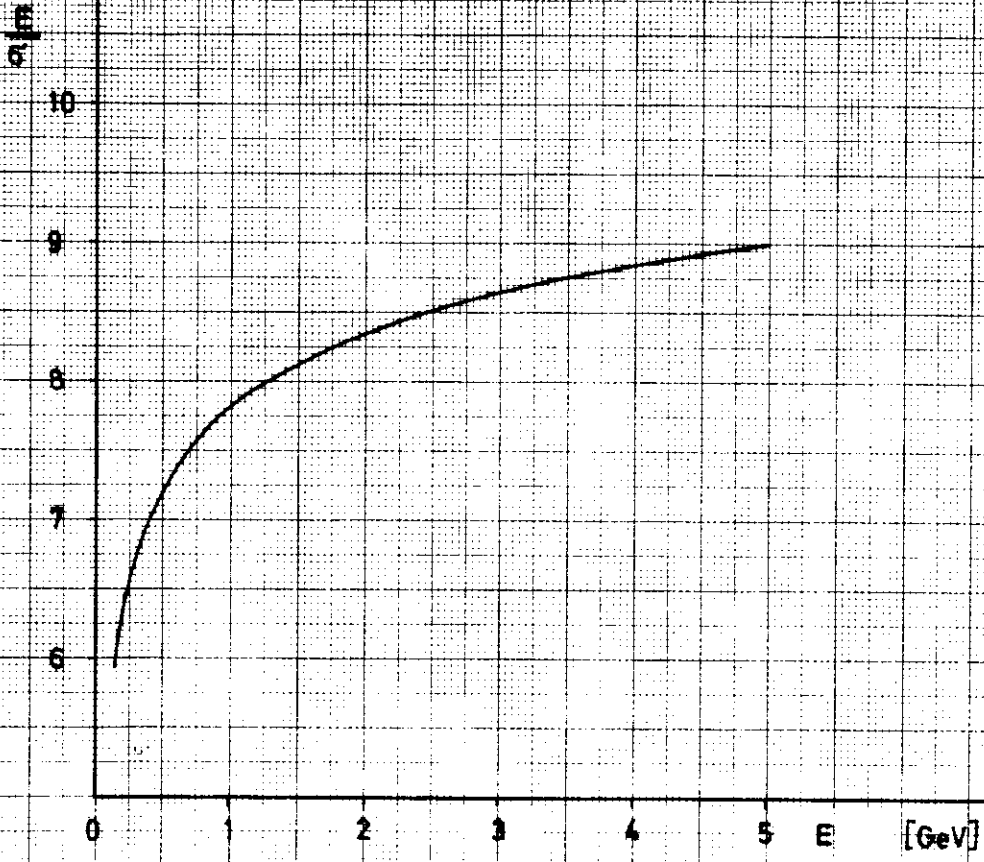


Abb. 5

