

D E U T S C H E S E L E K T R O N E N - S Y N C H R O T R O N
(DESY)

Hamburg-Gr.Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY-Bibliothek

DESY A 2.47

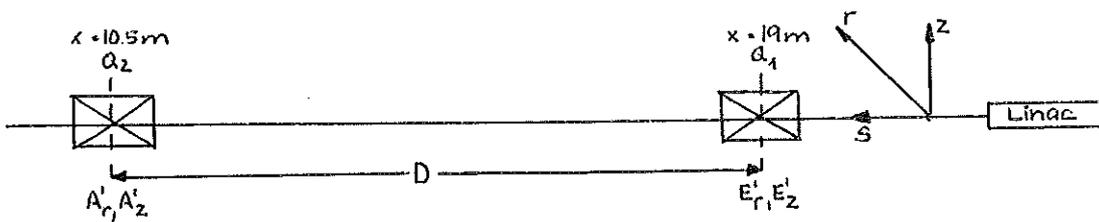
Hamburg, den 23.6.59
Dr.Ti/Schne/Schw.

Auslegung und Konstruktion von Quadrupoltripeln
für die Injektion

In dem Bericht A 2.40 ist der Einschußweg festgelegt worden und gezeigt, welche Elemente für die Energieanpassung und die Anpassung der Phasenflächen notwendig sind. Dieser Bericht beschäftigt sich speziell mit den Quadrupoltripeln für die Strahlanpassung. Es wird zunächst untersucht, welcher Bereich für die Gesamtbrennweiten notwendig sein wird; dann, welche Beziehung zwischen den Brennweiten der Einzel-linsen des Tripels und der Gesamtbrennweite besteht, und schließlich wird die daraus folgende Konstruktion der Lin-sen angegeben.

1) Erforderliche Gesamtbrennweiten

Es sei r, z, s ein rechtwinkliges Koordinatensystem, dessen Bezeichnungen in Anlehnung an die Koordinaten im Synchrotron gewählt sind. So bezeichnet s die Strahlrichtung, r liegt in der Bahnebene und z steht senkrecht auf ihr. Die Aufgabenstellung besteht darin, mittels zweier Quadrupoltripel, im Abstand D , die beiden Phasenflächen in der r, r' - und z, z' -Ebene auf die Akzeptanzflächen des Synchrotrons ähnlich abzubilden. Quadrupoltripel sind deshalb gewählt worden, weil diese es gestatten, in weitem Bereich die Brennweiten F_r, F_z unabhängig voneinander einzustellen. Die Akzeptanzflächen A_r, A_z sind

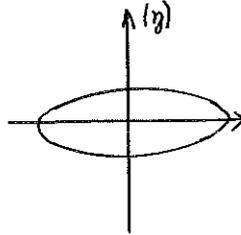
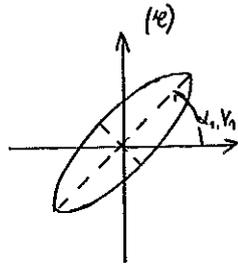


bekannt und bis an den Ort der Linse Q_2 zurückgerechnet worden (A_r', A_z'). Die Emittanzflächen sind zwar in ihrem Flächeninhalt bekannt, nicht aber der Form und Lage nach. Will man also eine Abschätzung über den notwendigen Brennweitenbereich machen, so muß man von einigen fiktiven Annahmen über die Emittanzen E_r', E_z' am Ort der Linse Q_1 ausgehen.

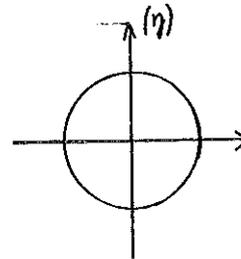
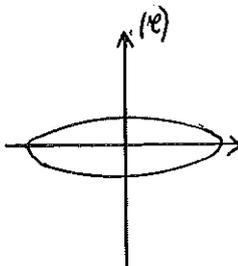
Wir nehmen an, die Emittanzen seien gleich in beiden Ebenen $E_r', E_z' = E'$. Ferner sollen sie, wie die Akzeptanz, Ellipsenform haben.

Zunächst ist also anzugeben, wie sich die Transformation zweier gegebener Ellipsen durch die Linsenelemente ausdrückt. Wir kennzeichnen die Emittanz am Orte Q_1 durch das Achsenverhältnis der Ellipse V_1 und den Winkel α_1 der

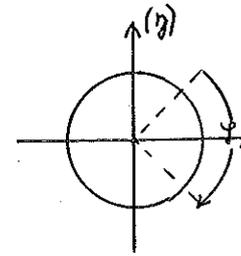
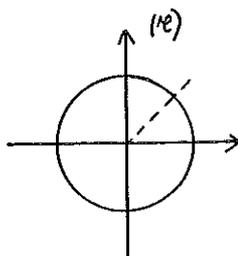
großen Achse gegen die r- bzw. z-Koordinate. Entsprechend ist die Akzeptanz durch V_2, α_2 gekennzeichnet. Durch Drehungen und Stauchungen läßt sich, wie in DESY-Notiz A 2.40 beschrieben, die ähnliche Abbildung aufeinander durchführen. Die einzelnen Schritte sind folgende:



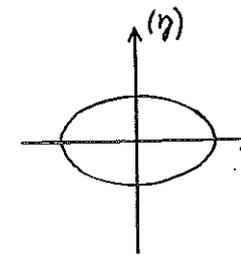
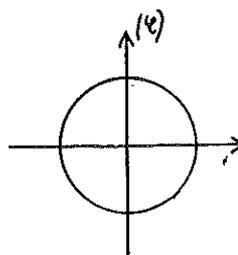
$$\eta = \begin{pmatrix} \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{pmatrix} \mathcal{E}$$



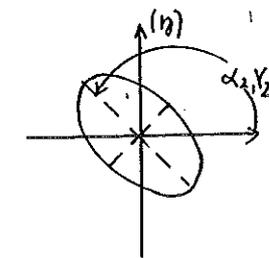
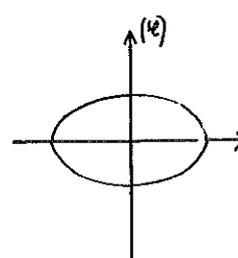
$$\eta = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{v_1}} & 0 \\ 0 & \sqrt{v_1} \end{pmatrix} \mathcal{E}$$



$$\eta = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \mathcal{E}$$



$$\eta = \begin{pmatrix} \sqrt{v_2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{v_2}} \end{pmatrix} \mathcal{E}$$



$$\eta = \begin{pmatrix} \cos \alpha_2 & \sin \alpha_2 \\ -\sin \alpha_2 & \cos \alpha_2 \end{pmatrix} \mathcal{E}$$

Die gesamte Transformation ergibt sich daraus mit $c_1 \equiv \cos \alpha_1$, $c_2 \equiv \cos \alpha_2$, $s_1 \equiv \sin \alpha_1$, $s_2 \equiv \sin \alpha_2$, $c_\varphi \equiv \cos \varphi$, $s_\varphi \equiv \sin \varphi$, $1 \equiv V_1$, $2 \equiv V_2$:

$$\mathbb{T} = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} c_\varphi + b_{11} s_\varphi & a_{12} c_\varphi + b_{12} s_\varphi \\ a_{21} c_\varphi + b_{21} s_\varphi & a_{22} c_\varphi + b_{22} s_\varphi \end{pmatrix}$$

mit

$$\begin{cases} t_{11} = \left(\sqrt{\frac{2}{1}} c_1 c_2 + \sqrt{\frac{1}{2}} s_1 s_2 \right) c_\varphi + \left(\frac{1}{\sqrt{1 \cdot 2}} c_1 s_2 - \sqrt{1 \cdot 2} c_2 s_1 \right) s_\varphi \\ t_{22} = \left(\sqrt{\frac{1}{2}} c_1 c_2 + \sqrt{\frac{2}{1}} s_1 s_2 \right) c_\varphi + \left(\sqrt{1 \cdot 2} c_1 s_2 - \frac{1}{\sqrt{1 \cdot 2}} c_2 s_1 \right) s_\varphi \\ t_{12} = \left(-\sqrt{\frac{1}{2}} c_1 s_2 + \sqrt{\frac{2}{1}} c_2 s_1 \right) c_\varphi + \left(\sqrt{1 \cdot 2} c_1 c_2 + \frac{1}{\sqrt{1 \cdot 2}} s_1 s_2 \right) s_\varphi \\ t_{21} = \left(\sqrt{\frac{2}{1}} c_1 s_2 - \sqrt{\frac{1}{2}} c_2 s_1 \right) c_\varphi + \left(\frac{1}{\sqrt{1 \cdot 2}} c_1 c_2 + \sqrt{1 \cdot 2} s_1 s_2 \right) s_\varphi \end{cases}$$

Die a_{ik} , b_{ik} sind darin durch die Ellipsendaten gegeben. Andererseits wird die Transformation \mathbb{T} mit den Brechkraften B_1 , B_2 der Tripel beschrieben durch

$$\mathbb{T} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -B_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & D \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -B_1 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - DB_1 & L \\ DB_1 B_2 - (B_1 + B_2) & 1 - DB_2 \end{pmatrix}$$

Durch Vergleich der Matrixelemente findet man den inneren Drehwinkel φ aus

$$D = a_{12} c_\varphi + b_{12} s_\varphi$$

$$c_\varphi = \frac{1}{a_{12}^2 + b_{12}^2} \left[D a_{12} \pm b_{12} \sqrt{(a_{12}^2 + b_{12}^2) - D^2} \right]$$

Wegen der Einführung von Winkeln ist hier darauf zu achten, daß beide Koordinatenachsen in gleichen Einheiten gezählt werden, also etwa $1 \text{ mrad} \cong 1 \text{ cm}$. Die Gleichung für c_φ zeigt, daß ihre Lösung für große D auch imaginär sein

kann, d.h. in einem solchen Fall ist keine Anpassung möglich. Im allgemeinen gibt es zwei Lösungen (mit und ohne "crossover", A 2.40). s_φ bestimmt sich aus der Gleichung für D.

Die Brechkräfte folgen dann aus Vergleich der Koeffizienten t_{11} und t_{22} zu:

$$B_1 = (1 - a_{11}c_\varphi - b_{11}s_\varphi) \frac{1}{D}$$

$$B_2 = (1 - a_{22}c_\varphi - b_{22}s_\varphi) \frac{1}{D}$$

Wie schon gesagt, liegen die Daten der Akzeptanzfläche an der Stelle Q_2 fest; diese sind (siehe Fig. 5,6 A 2.40)

	V_2	α_2	
(r, r')	7,54	51,5°	(A' _r)
(z, z')	3,08	131,5°	(A' _z)

Für die Emittanz sind drei Annahmen durchgerechnet worden, die davon ausgehen, daß a) die Ellipse achsenparallel am Linacaugang ist, oder b) die große Achse um 45° geneigt ist am Linacaugang oder c) daß die Ellipse sogar an der Stelle Q_1 des ersten Tripels achsenparallel ist. Für die Stelle Q_1 ergibt das folgende Ausgangsdaten:

	V_1		
a)	2,64	57°	$E'_r = E'_z$
b)	5,83	34°	
c)	2,0	90°	

Die Berechnung der obigen 6 Anpassungsfälle ergeben insgesamt 12 Brennweitenpaare F_1/F_2 ($F = 1/B$), die in der folgenden Tabelle angegeben sind:

Tabelle I: Brennweitenpaare F_1/F_2 in m

		ohne crossover				
(r, r')	a)	26,0/-16,3	b)	108/-6,8	c)	-11,0/-13,1
(z, z')		9,2/ 7,5		7,4/-20,3		25,9/ 5,7
		mit crossover				
(r, r')		2,6/16,5		3,3/14,1		3,1/217
$(z- z')$		3,1/ 3,6		4,2/ 2,3		5,8/4,5

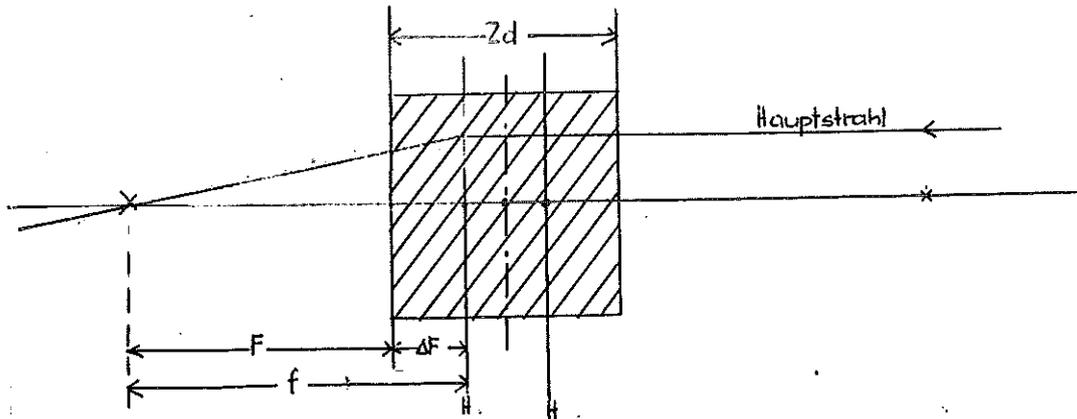
Fig. 1 zeigt als Beispiel eine solche Transformation in die einzelnen Schritte Q_1, D, Q_2 zerlegt. Fig. 2 zeigt die gleiche Abbildung mit crossover, wo also der Strahl zwischen Q_1 und Q_2 eine engste Stelle hat. Hierzu sind stets größere Brechkräfte nötig als im vorigen Fall. Die kürzeste Brennweite, die auftritt, ist 2,3 m; ohne crossover liegen jedoch alle Brennweiten über 5 m. Für die Quadrupoltripel erscheint es daher ausreichend, eine kürzeste Gesamtbrennweite von $|F_1|, |F_2| = 2,5$ m zu fordern.

2) Einzelbrennweiten eines Quadrupoltripels

Das Quadrupoltripel ist symmetrisch aus drei Linsen aufgebaut mit den Brechkraften $b/B/b$ bzw. den Brennweiten $f/F/f$ und den Abständen d . Wir wollen alle als dünne Linsen betrachten, so daß die Übertragungsmatrix lautet:

$$\begin{aligned}
 M &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -b & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -B & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -b & 1 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 1 - 2db - dB(1-db) & 2d - d^2B \\ -(1-db)\{2b + B(1-db)\} & 1 - 2db - dB(1-db) \end{pmatrix} \\
 &\equiv \begin{pmatrix} 1 - \{2x + \xi(1-x)\} & d(2 - \xi) \\ -\frac{1}{d}(1-x)\{2x + \xi(1-x)\} & 1 - \{2x + \xi(1-x)\} \end{pmatrix} \\
 &\text{mit } x = d \cdot b \quad , \quad \xi = d \cdot B
 \end{aligned}$$

Es ist zunächst zu fragen, unter welchen Bedingungen das Tripel selbst als dünne Linse aufzufassen ist, als solche ist es ja im vorhergehenden Abschnitt behandelt worden. Mit den Bezeichnungen der Abbildung



lautet die Übertragungsmatrix einer dicken symmetrischen Linse:

$$\mathcal{M} = \begin{pmatrix} \frac{F}{f} & 1 - \left(\frac{F}{f}\right)^2 \\ -\frac{1}{f} & \frac{F}{f} \end{pmatrix}$$

Auf das Tripel angewendet erhalten wir die charakteristischen Linsengrößen:

$$f = \frac{1}{(1-x) \{2x + \xi(1-x)\}}$$

$$F = d \frac{1 - \{2x + \xi(1-x)\}}{(1-x) \{2x + \xi(1-x)\}}$$

$$F - f = \Delta F = -\frac{d}{1-x}$$

Die Linse ist dann als dünn zu betrachten, wenn die Hauptebenen zusammenfallen, d.h. $\Delta F \approx -d$ oder

$$x \ll 1$$

Je größer f ist, desto weniger ernst ist diese Bedingung jedoch zu nehmen.

Mit dieser Bedingung im Sinn, setzen wir jetzt für das Tri-
 pel die Übertragungsmatrix einer dünnen Linse an und ver-
 gleichen die Koeffizienten: Das genaue Äquivalent zum Tri-
 pel entsteht, wenn man die dünne Linse an beiden Seiten
 durch einen Laufräum d erweitert, also mit $\beta_r = dB_r \cdot \frac{d}{f_r}$:

$$\begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -B & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \beta_r & d(2 - \beta_r) \\ -\frac{1}{d}\beta_r & 1 - \beta_r \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 - \{2x + \xi(1-x)\} & d(2 - \xi) \\ -\frac{1}{d}(1-x)\{2x + \xi(1-x)\} & 1 - \{2x + \xi(1-x)\} \end{pmatrix}$$

Man erkennt, daß die Identität für $x = 0$ gilt. Es folgt
 also für die r- und z-Komponente:

$$\beta_r = (1-x) \{2x + \xi(1-x)\}$$

$$\beta_z = (1-x) \{2x + \xi(1-x)\}$$

x und ξ bestimmen sich somit aus den Gleichungen:

$$\xi = \frac{\beta_r}{(1-x)^2} - \frac{2x}{1-x} = \frac{-\beta_z}{(1+x)^2} - \frac{2x}{1+x}$$

$$0 = x^4 + x^2 \left\{ \frac{\beta_r + \beta_z}{4} - 1 \right\} + x \frac{\beta_r - \beta_z}{2} + \frac{\beta_r + \beta_z}{4}$$

Woraus man nach Streichung von $x^4 \lll 1$ und $\frac{x^2}{4} (\beta_r + \beta_z) \lll 1$
 erhält:

$$2x = \frac{\beta_r - \beta_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\beta_r - \beta_z}{2}\right)^2 + (\beta_r + \beta_z)}$$

Zu jedem vorgegebenen Wertepaar β_r/β_z gibt es somit zwei
 Lösungspaare x_+/ξ_+ und x_-/ξ_- . In der folgenden Tabelle II
 ist $2x$ für einen Bereich $\langle \beta_r, \beta_z \rangle$ tabelliert. Man erkennt

daraus weiter, daß nicht alle Wertepaare β_r, β_z reelle Lösungen haben (Strich = imaginäre Lösung). Die untenstehende Übersicht gibt die Werte von Tabelle I in dem dimensionslosen Maßstab der Brechkräfte $\beta_{r,z} = d/F_{r,z}$ wieder mit $d = 0,4$ m.

Tabelle Ia: Brechkraftpaare β_1/β_2 nach Tabelle I

ohne crossover			
	a)	b)	c)
r	0,015/-0,025	0,004/-0,059	-0,036/-0,031
z	0,043/ 0,053	0,054/-0,020	0,015/ 0,070
mit crossover			
r	0,154/ 0,024	0,121/ 0,028	0,129/ 0,002
z	0,129/ 0,111	0,095/ 0,174	0,069/ 0,089

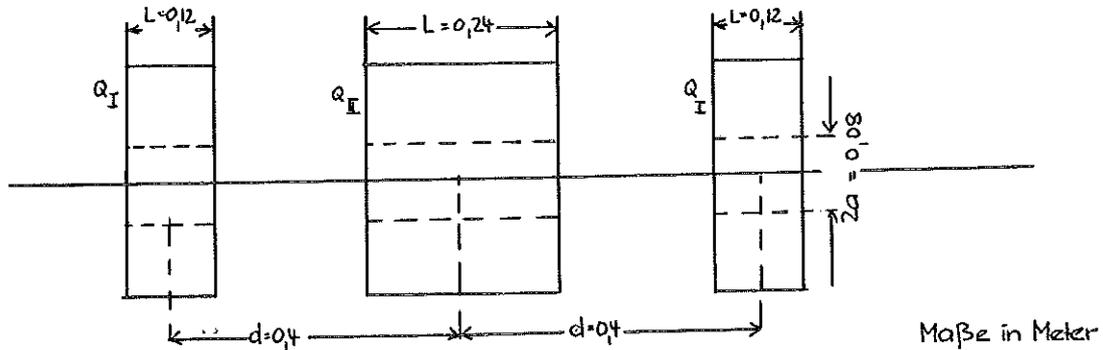
Von den eingerahmten Werten ist jeweils ein Paar nicht realisierbar, wie man der Tabelle II entnimmt. Die Fälle mit crossover sind offenbar immer realisierbar (keine negativen Brennweiten).

Als Folge daraus muß man für die Tripel eine kürzeste Brennweite von 2,5 m fordern, was wiederum für die Einzellinsen bedeutet, daß $f \gg 1,4$ m (aus Tabelle II) und $F \gg 0,7$ m sind. In Brechkraften ausgedrückt lautet die Forderung:

$$|\beta_{r, z}| \leq 0,16 \text{ m}^{-1} \quad (\text{Gesamtbrechkraft})$$

$$|\xi|, |2x| \leq 0,57 \text{ m}^{-1} \quad (\text{Einzelbrechkraft})$$

Dabei soll ein Linsenabstand von $d = 0,4$ m zugrunde gelegt werden und Linsenlängen von $L = 0,12/0,24/0,12$ m bei einem lichten Durchmesser von $2a = 0,08$ m (siehe Skizze S. 10).



3) Konstruktion einer Einzellinse

Die Brechkraft b bzw. B einer Quadrupollinse ist bestimmt aus:

$$b = \sqrt{K} \cdot \sin(\sqrt{K} \cdot L)$$

wobei K weiter unten definiert ist. Für $\sqrt{K} \cdot L \ll \frac{\pi}{2}$ ist $\sin(\sqrt{K} \cdot L) \approx \sqrt{K} \cdot L$,

so daß die Brechkraft der Linse dann angenähert wird durch

$$b \approx K \cdot L$$

In dieser Gleichung bedeutet L die physikalische Länge der Linse, die das praktisch vorhandene Streufeld mit einschließt. L hängt mit der geometrischen Länge der Linse näherungsweise zusammen durch

$$L = l + a \quad (\text{siehe Tabelle III})$$

wo a die halbe Öffnung der Linse bedeutet.

K ist definiert durch

$$K = \frac{e}{p} \left(\frac{dB}{dr} \right), \quad \text{mit } \frac{p}{e} = \frac{1}{c} \sqrt{W_{\text{kin}} (W_{\text{kin}} + 2W_0)}$$

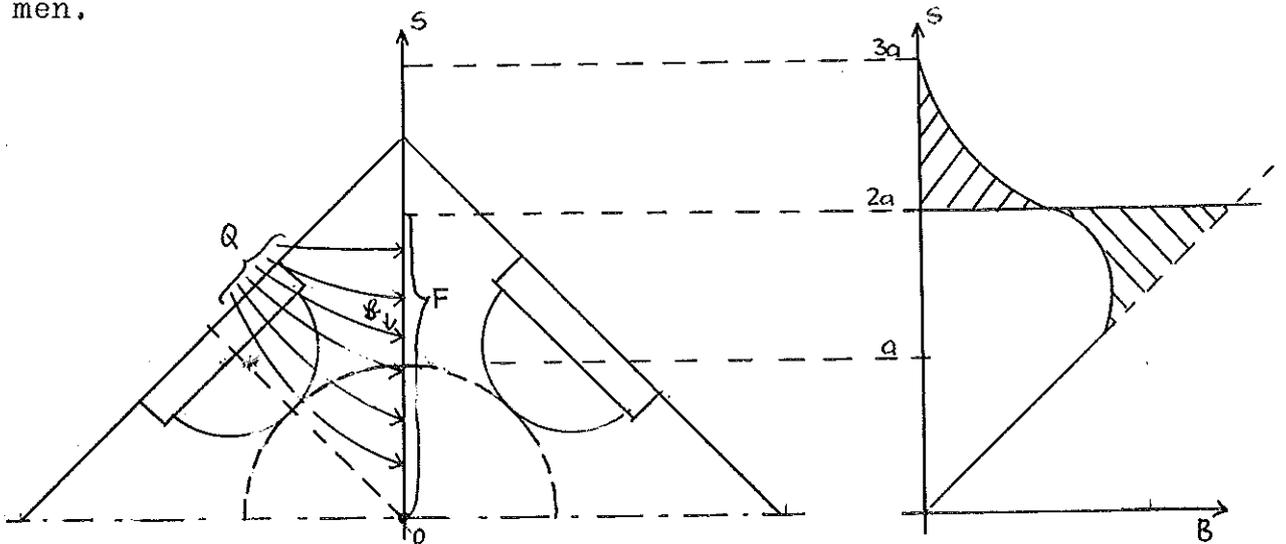
Der Zusammenhang zwischen den Feldgradienten und der erforderlichen Ampère-Windungszahl ($n \cdot I$) pro Pol ist (siehe z.B. CERN 58-28) gegeben durch

$$\left(\frac{dB}{dr} \right) = \frac{2\mu_0 (n \cdot I)_{\text{pol}}}{a^2}$$

Mit dieser letzten Gleichung hat man nun einen direkten Zusammenhang zwischen der Brechkraft b bzw. der Brennweite f auf der einen Seite und dem Strom I als Variable einer festen Linsenordnung auf der anderen Seite gefunden. Es ist also:

$$b = \frac{1}{f} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\rho} \cdot \frac{2\mu_0(n \cdot I)_{\text{pol}}}{a^2}} \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{\epsilon}{\rho} \cdot \frac{2\mu_0(n \cdot I)_{\text{pol}}}{a^2}} \cdot L \right)$$

Zur Dimensionierung der Eisenquerschnitte der Linse ist es notwendig, den Fluß ϕ zu bestimmen. Eine Abschätzung des Flusses in den Polstücken und dem Joch erfolgt durch die Integration von B über eine Querschnittsfläche F . Der Verlauf der Kurve $B(s)$ wurde dem Bericht CERN 58-25 entnommen.



Der durch die Fläche F hindurchtretende Fluß hat die Größe:

$$\phi = \int_0^A B(L \cdot ds) \approx \int_F B(L \cdot ds) = L \left| \frac{dB}{dr} \right| \int_0^{2a} s \cdot ds = L \left| \frac{dB}{dr} \right| \cdot \frac{4a^2}{2}$$

Bei der Rechnung wurde nur der halbe Pol betrachtet, so daß also der durch einen Pol hindurchgehende Fluß die Größe

$$\phi_{\text{Pol}} \approx 2\phi = 4a^2 L \left| \frac{dB}{dr} \right|$$

annimmt.

Der Fluß durch das Joch ist durch die Flußverzweigung nur halb so groß wie der Fluß durch die Polstücke. Für den Jochfluß gilt also:

$$\phi_{\text{Joch}} \approx \phi = 2a^2 L \left| \frac{dB}{dr} \right|$$

Mit unseren Werten von $W_{\text{kin}} = 40 \cdot 10^6 \text{ V}$, $W_0 = 0,51 \cdot 10^6 \text{ V}$ wird

$$\frac{e}{p} = 7,44 \frac{\text{m}}{\text{Vsec}}$$

und mit $L = 0,12 \text{ m}$, $b = 0,7 \text{ m}^{-1}$ folgt der maximale Feldgradient für Q_I zu

$$\left| \frac{dB}{dr} \right|_{\text{max}} = 0,81 \frac{\text{Vsec}}{\text{m}^3} = 81 \frac{\Gamma}{\text{cm}}$$

Man sieht sofort, daß dieser Wert auch für Q_{II} gilt (L und b verdoppelt).

Aus dem maximalen Feldgradienten von $81\Gamma/\text{cm}$ folgt nun zunächst die benötigte Ampère-Windungszahl pro Pol zu

$$(n \cdot I)_{\text{Pol}} = \frac{1}{2} \frac{a^2}{\mu_0} \left| \frac{dB}{dr} \right| = 516 \text{ AW}$$

Da die Linsen nicht nur in den Tripeln, sondern auch zur Strahlkorrektur zwischen den 30° -Ablenkmagneten und für Meßzwecke benutzt werden, wurde zur Erreichung einer größeren Flexibilität die Ampère-Windungszahl pro Pol auf $(n \cdot I)_{\text{Pol}} = 1125 \text{ AW}$ erhöht. Mit den sich daraus ergebenden Flußwerten von $\phi_I = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ Vsec}$ und $\phi_{II} = 13,6 \cdot 10^{-4} \text{ Vsec}$ und der Forderung, daß die maximale Induktion im Eisen etwa bei $0,5 \text{ Vsec/cm}^2$ liegen soll, ergeben sich die in Tabelle III aufgeführten Eisenquerschnitte. Weiterhin wurde festgelegt, daß der Spulenstrom den Wert $I = 500 \text{ mA}$ nicht überschreiten soll. Daraus ergeben sich die in der Tabelle III zusammengestellten Spulendaten (siehe auch Fig. 3). Die Dimensionierung der Linsen ist damit relativ großzügig gewählt, um allen Eventualitäten gerecht werden zu können.

Als Material für die Linsen ist das antiremanente Weicheisen "Minimum Extra" (Wst. Nr. 1004) der Deutschen Edel-

stahlwerke AG vorgesehen. Das Material wird als geschmiedetes und nachträglich geglühtes Material mit den folgenden elektrischen Daten angeliefert.

Magnetische Sättigung $4\pi I_{\infty}$:	21000 - 21500 Gauss
Remanenz B_r	:	8000 - 10000 Gauss
Koerzitivkraft H_c	:	0,5 - 1,4 Oe
Anfangspermeabilität μ_A	:	400 - 300
Maximalpermeabilität μ_{max}	:	7000 - 4000

Tabelle III

		Linse Q_I	Linse Q_{II}	
Physikalische Länge	L	0,12	0,24	m
Halber Polabstand	a	0,04	0,04	m
Ampère-Windungszahl pro Pol $n \cdot I$		1125	1125	A
maximaler Strom	I	0,5	0,5	A
Windungszahl pro Pol	n	2250	2250	
Drahtabmessung		E-Cu $0,5 \phi_L$	E-Cu $0,5 \phi_L$	mm
Stromdichte max.	i	2,5	2,5	A/mm ²
Widerstand/Spule	R_S	74,5	96,4	
Widerstand/Linse	R_L	298	386	
Max.Spannung/Linse	U_L	149	193	V
max.Verlustleistung/Linse	N_L	74,5	96,5	W
$\frac{e}{p}$		7,41	7,41	$\frac{m}{Vs}$
Feldgradient max.	$\frac{dB}{dr}$	1,769	1,769	$\frac{Vs}{m^2}$
K		13,1	13,1	m ⁻²
Polschuhlänge	l	8	20	cm
Polstützenquerschnitt	F_p	24	48	cm ²
Jochquerschnitt	F_j	12	24	cm ²
Polschuhradius	r_p	4,6	4,6	cm
max. Brechkraft	b, B	1,53	2,76	m ⁻¹
min. Brennweite	f, F	0,65	0,36	m

Die Anforderung an die Tolerierung der Linsen wurde durch eine gesonderte Rechnung durchgeführt. Toleriert werden müssen die geometrische Länge l der Polschuhe und der halbe Polschuhabstand a . Für beide Maße wurde eine Toleranz von $5 \cdot 10^{-2}$ mm festgelegt, wobei weiterhin die Forderung besteht, daß für eine Linse Polschuhe mit den gleichen Toleranzmaßen in der Länge l zu bevorzugen sind.

Der mechanische Aufbau der Linsen erfolgt in der Weise, daß zwei Polstützen und Pole fest mit dem Joch verbunden sind, während die anderen zwei Polstützen mit den Polen auf das tolerierte Vakuumrohr justiert werden können. Eine Verdrehung der Pole ist durch eine Nutführung verhindert.

Die Spulen der einzelnen Pole sind bei einer Linse in Reihe geschaltet; bei den Tripeln sind weiterhin die zwei gleichen Außenlinsen Q_I ebenfalls in Reihe geschaltet. Dies hat den Vorteil, daß man nur zwei Stromversorgungsgeräte für ein Tripel benötigt. Die Auslegung der Spulen erfolgte weiterhin nach dem Gesichtspunkt, daß die zwei Stromversorgungsgeräte gleich groß sein sollen. Diese Festlegung beim Entwurf der Spulen garantiert später beim Betrieb der Maschine eine große Betriebssicherheit, da die einzelnen Stromversorgungen gegeneinander ausgetauscht oder durch eine Ersatztype ersetzt werden können.

Die Stromversorgungsgeräte sind für einen regellosen Strombereich von $I = 1 \dots 500$ mA geplant. Die Strombereiche werden in größeren Bereichen in Stufen geschaltet, während die Zwischenstufen stetig geregelt werden können. Bei einem Widerstand von 600Ω bei 20°C ist die maximale Verlustleistung bei $I = 500$ mA $N_r = 150$ W. Die geforderte Stabilität der Stromversorgungsgeräte beträgt bei langzeitigem Betrieb $1:10^3$. Die Regelung auf den eingestellten Sollwert geschieht durch Vergleich mit einem konstanten Vergleichswert.

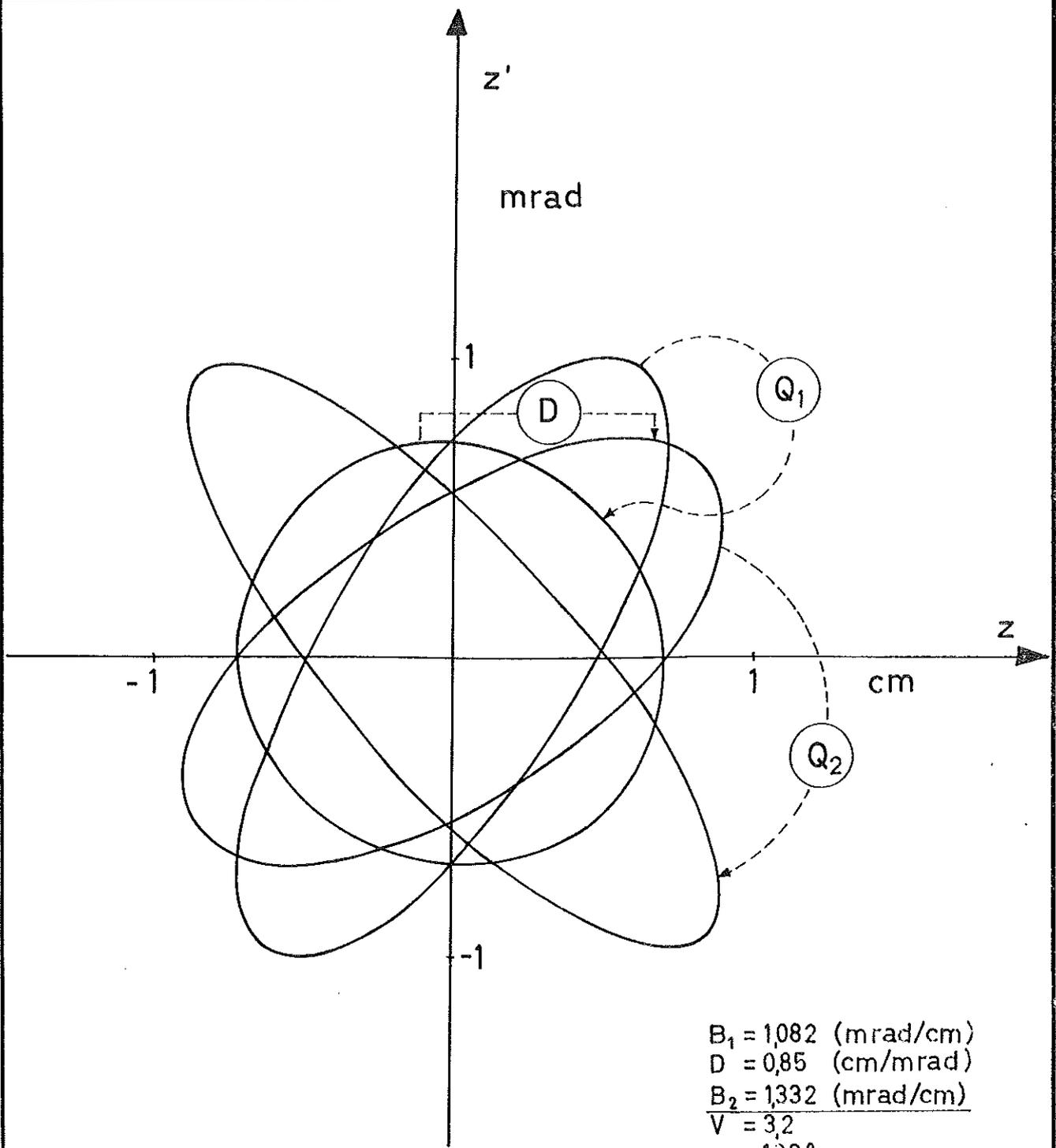
Die mit den projektierten Stromversorgungsgeräten ausgestatteten Linsen ergeben einen stetig regelbaren Arbeitsbereich in den Grenzen, wie sie in Tabelle IV dargestellt sind.

Tabelle IV

Linse	Q_I	Q_{II}
Strom I	1 500 mA	1 500 mA
Brechkraft b	0,003...1,53m ⁻¹	0,006.. 2,76 m ⁻¹
Brennweite f	323.....0,65 m	162..... 0,36 m

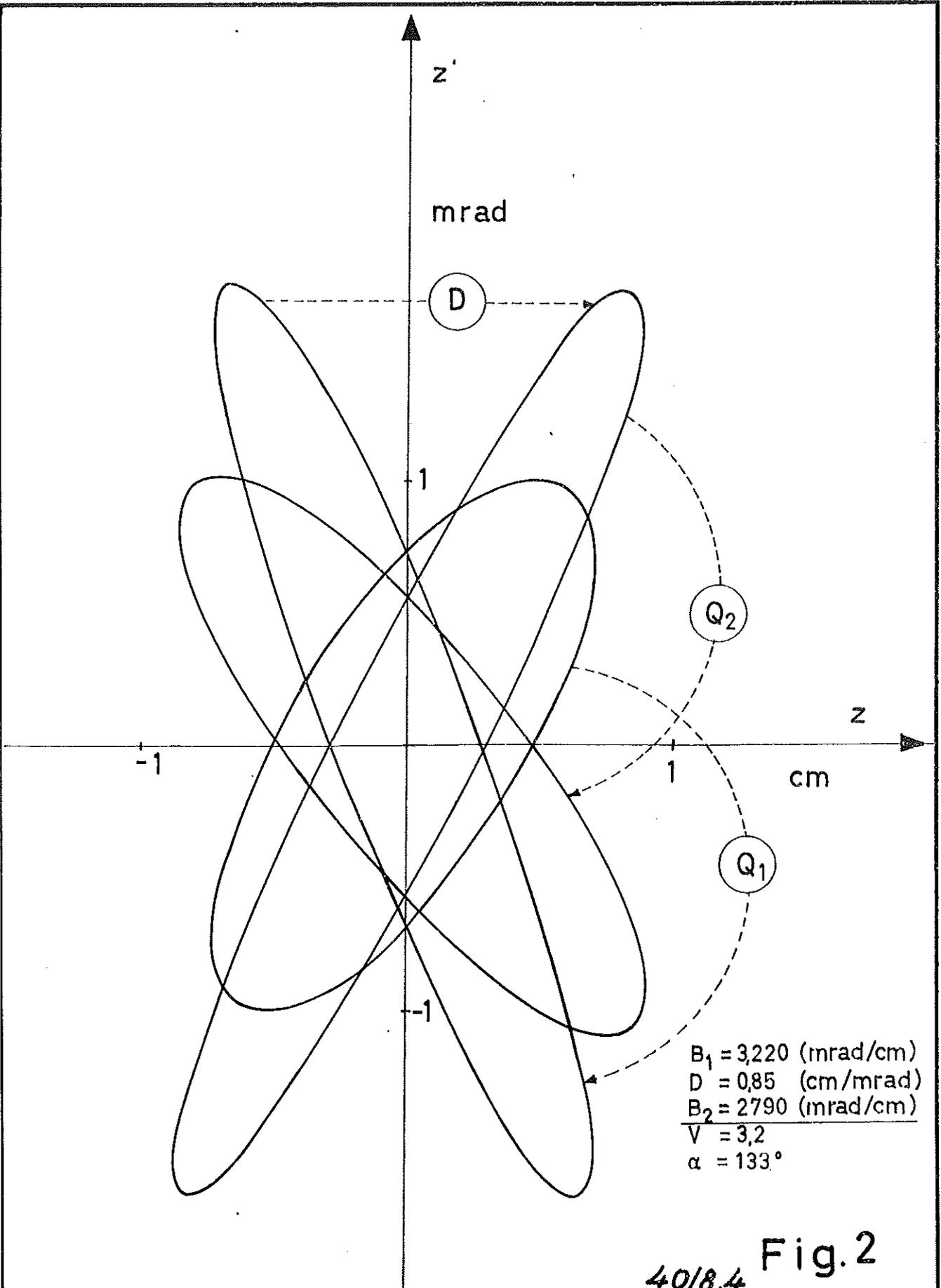
Dr. U. Timm

H. Schneemann



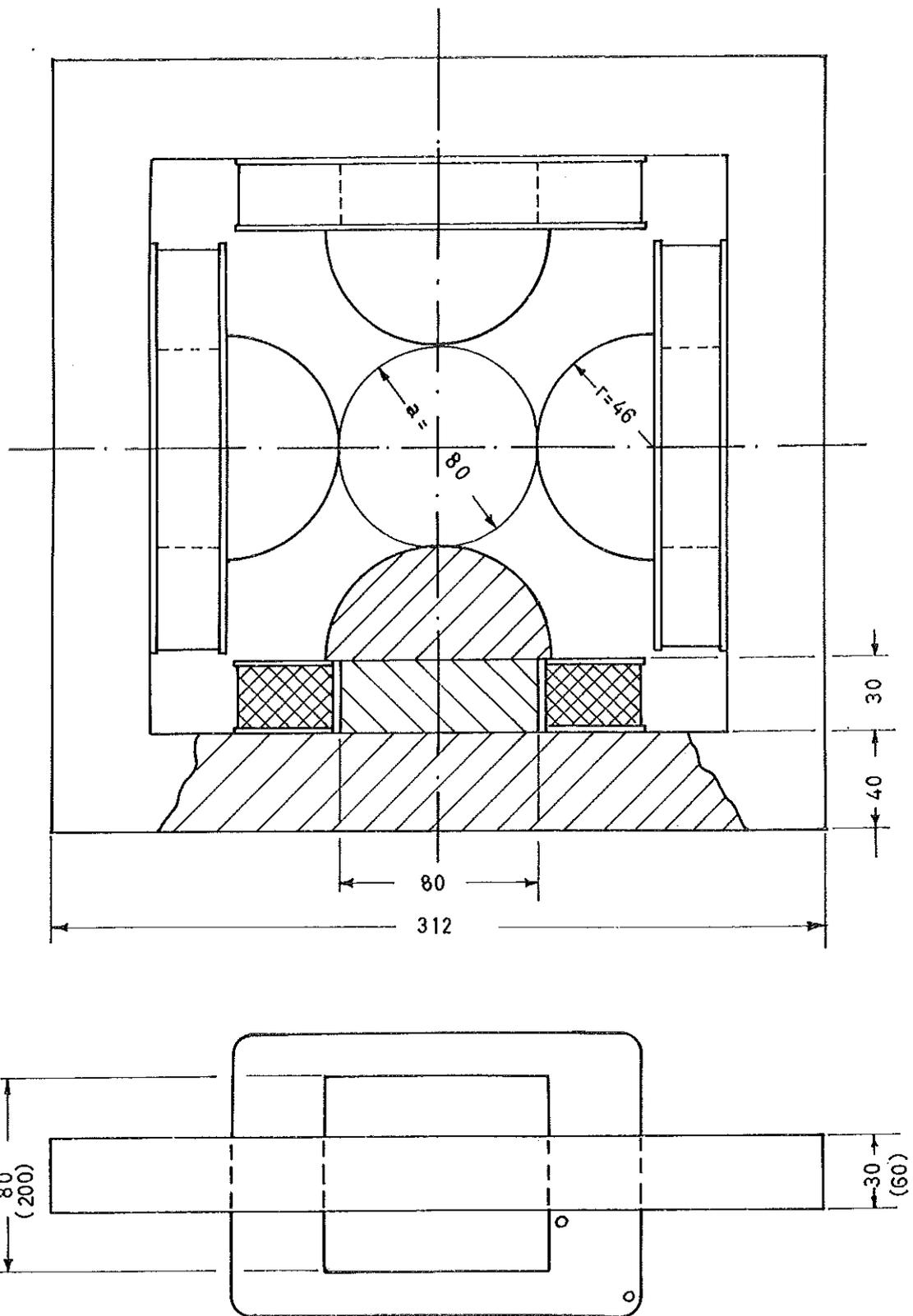
40/10.4 Fig.1

DESY	gez.:	Datum	Nome	Gruppe: M4
	gepr.:	23.6.59	ne.	Zchg. No.: 46
Maßstab:	gen.:			Blatt No.:
				Ersatz für:
				Ersetzt durch:
				x ausf.:
				ausgef. von:
				Auftrag No.:
	Transformation durch zwei Quadrupoltripel ohne „cross over“			



40/8.4 Fig.2

DESY	Datum	Name	Gruppe: M 4
	gez.: 23.6.59	ne.	Zchg. No.: 47
	gepr.:	γ_i	Blatt No.:
	gen.:	γ_s	Ersatz für:
Maßstab:	Transformation durch zwei Quadrupoltripel mit „cross over“		Ersetzt durch:
			x ausf.:
			ausgef. von:
			Auftrag No.:



43/7.4

Fig. 3

DESY

	Datum	Name
gez.:	23.6.59	ne
gepr.:		T ₂
gen.:		V ₁

Gruppe: M4

Zchg. No.: 48

Blatt No.:

Maßstab:

M 1: 25

Konstruktionsvorschlag:
 Quadrupollinse Q_I, Klammermaße
 gelten für Linse Q_{II}

Ersatz für:

Ersetzt durch:

x ausf.:

ausgef. von:

Auftrag No.:

Gesamtbrennweiten f_r, f_z des Quadrupoltripels $f/F/f$ als Funktion von f und F . (Tabelle II)

Definitionen: d = Abstand der Einzellinsen $d_{f/r,z} \equiv \beta_{r,z}$ $d_f \equiv x$ $d_F \equiv \xi$

Tabelliert ist: $2x_+$ in Abhängigkeit von β_r, β_z , es gilt: $x_-(\beta_r, \beta_z) = -x_+(\beta_r, \beta_z)$

$\beta_r \backslash \beta_z$	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	04	03	02	01	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	4325	6195	6065	5935	5803	5671	5539	5405	5271	5136	5000	4863	4725	4587	4447	4306	4164	4021	3876	3730	3583	3434	3283	3130	2976	2820	2664	2500	2336	2170	2000	1827	1650	1468	1282	1089	8907	6843	4685	2415	0000
19	6295	6164	6033	5901	5768	5634	5500	5365	5229	5092	4954	4815	4675	4534	4392	4249	4104	3958	3811	3662	3511	3359	3205	3048	2890	2729	2566	2400	2231	2058	1882	1702	1516	1326	1129	925	0712	0481	0153	0000	0276
18	6265	6133	6000	5866	5732	5597	5460	5323	5185	5047	4907	4766	4623	4480	4336	4190	4042	3894	3743	3591	3437	3281	3123	2963	2800	2635	2466	2294	2119	1940	1756	1567	1372	1171	9361	0742	0511	0266	0000	0294	0631
17	6235	6101	5966	5831	5695	5558	5420	5281	5141	5000	4858	4715	4570	4424	4277	4129	3978	3827	3673	3517	3360	3200	3038	2873	2705	2535	2360	2182	2000	1813	1620	1421	1215	1000	0774	0535	0279	0000	0314	0686	1200
16	6205	6068	5932	5795	5657	5518	5378	5237	5095	4952	4808	4662	4515	4367	4217	4065	3912	3757	3600	3441	3279	3115	2948	2779	2606	2429	2248	2063	1872	1676	1473	1262	1041	0809	0562	0295	0000	0338	0757	1500	
15	6174	6034	5897	5758	5618	5477	5335	5192	5048	4903	4756	4608	4459	4307	4155	4000	3843	3685	3524	3361	3195	3026	2854	2679	2500	2317	2128	1935	1735	1528	1312	1085	0846	0590	0311	0000	0366	0851			
14	6139	6000	5860	5720	5578	5435	5292	5146	5000	4852	4703	4552	4400	4246	4090	3932	3772	3610	3445	3277	3107	2933	2755	2574	2388	2197	2000	1796	1585	1364	1132	0886	0611	0330	0000	0400	1000				
13	6105	5965	5823	5681	5537	5392	5246	5099	4950	4800	4648	4495	4339	4181	4023	3861	3698	3531	3362	3189	3014	2834	2650	2462	2268	2068	1864	1646	1420	1183	0929	0655	0351	0000	0443						
12	6071	5925	5785	5641	5495	5348	5200	5050	4899	4746	4591	4435	4277	4116	3953	3788	3620	3449	3275	3097	2916	2730	2539	2342	2139	1929	1710	1480	1236	0975	0692	0374	0000	0500							
11	6036	5892	5747	5600	5452	5303	5152	5000	4846	4690	4533	4373	4211	4047	3881	3714	3539	3363	3184	3000	2812	2619	2420	2214	2000	1777	1542	1293	1025	0732	0400	0000	0582								
10	6000	5857	5707	5558	5408	5256	5103	4948	4791	4633	4472	4309	4144	3976	3805	3631	3454	3272	3087	2897	2702	2500	2291	2074	1848	1608	1354	1079	0776	0419	0000	0730									
09	5963	5815	5666	5515	5362	5208	5052	4895	4735	4573	4409	4243	4073	3901	3726	3547	3364	3177	2985	2787	2584	2372	2152	1921	1679	1419	1137	0825	0462	0000											
08	5925	5775	5623	5470	5315	5159	5000	4839	4677	4511	4344	4173	4000	3823	3643	3459	3270	3076	2876	2670	2457	2234	2000	1753	1488	1160	0878	0500	0000												
07	5887	5734	5580	5424	5267	5107	4944	4782	4616	4447	4276	4104	3931	3742	3556	3366	3170	2969	2760	2544	2319	2082	1831	1562	1267	0936	0543	0000													
06	5847	5692	5536	5377	5217	5055	4890	4723	4553	4381	4205	4026	3843	3656	3464	3267	3064	2854	2635	2408	2168	1913	1640	1340	1000	0591	0000														
05	5806	5649	5490	5329	5165	5000	4832	4661	4488	4311	4131	3947	3759	3566	3367	3162	2950	2730	2500	2258	2000	1722	1417	1070	0647	0000															
04	5764	5604	5444	5278	5112	4943	4772	4598	4420	4239	4054	3864	3670	3470	3264	3050	2828	2596	2352	2091	1810	1500	1146	0709	0000																
03	5721	5558	5394	5227	5057	4885	4710	4531	4349	4163	3972	3777	3576	3369	3154	2930	2696	2449	2187	1902	1589	1228	0781	0000																	
02	5676	5511	5343	5173	5000	4824	4645	4462	4275	4084	3887	3685	3476	3260	3035	2800	2552	2287	2000	1693	1341	0861	0000																		
01	5630	5462	5292	5117	4944	4761	4577	4389	4197	4000	3797	3587	3370	3144	2908	2658	2391	2102	1783	1414	0951	0000																			
00	5583	5411	5237	5060	4879	4695	4507	4314	4116	3912	3702	3484	3257	3019	2768	2500	2210	1889	1518	1051	0000																				
0.1	5534	5359	5181	5000	4815	4626	4433	4234	4030	3819	3600	3372	3134	2882	2613	2322	2000	1628	1151	0100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.2	5483	5305	5123	4938	4748	4554	4355	4150	3939	3720	3491	3252	3000	2731	2440	2117	1746	1281	0470	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.3	5430	5248	5063	4873	4679	4479	4274	4062	3842	3614	3374	3122	2853	2562	2240	1870	1409	0600	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.4	5376	5190	5000	4805	4606	4400	4188	3968	3739	3500	3248	2979	2688	2367	2000	1547	0800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.5	5320	5132	4935	4735	4529	4317	4097	3868	3629	3378	3108	2819	2500	2136	1691	1000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.6	5261	5066	4866	4660	4448	4228	4000	3761	3510	3242	2954	2637	2278	1843	1200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.7	5200	5000	4794	4582	4363	4135	3897	3646	3380	3093	2779	2425	2000	1400	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.8	5136	4929	4719	4500	4272	4035	3785	3520	3236	2915	2576	2162	1600	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
0.9	5070	4858	4640	4413	4176	3928	3664	3383	3075	2732	2324	1800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
1.0	5000	4782	4556	4320	4073	3812	3532	3229	2891	2500	2000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
1.1	4927	4702	4467	4221	3962	3685	3386	3055	2674	2200	1370	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
1.2	4850	4616	4372	4115	3841	3546	3221	2851	2400	1718	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
1.3	4768	4526	4271	4000	3709	3390	3030	2600	2000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.4	4682	4429	4161	3874	3562	3211	2800	2257	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.5	4583	4325	4042	3735	3395	3000	2500	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.6	4481	4212	3911	3579	3200	2734	2000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.7	4384	4095	3766	3400	2962	2348	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.8	4284	3953	3600	3186	2643	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1.9	4181	3820	3406	2911	2000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2.0	4070	3624	3163	2500	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

alle Zahlen xyz sind 0,xyz zu verstehen, unterstrichene Zahlen sind negativ.