

F 21 - 3

Hamburg, den 24. September 1964
Dr. Gan/VMAUSMESSUNG DES QA-MAGNETEN MIT DER METHODE DES
"FLOATING WIRE"1. Aufgabenstellung

In der 1. Generation des e-p-Streuexperiments soll ein Außenspektrometer als Impulsanalysator für Protonen verwendet werden, das im wesentlichen aus einem Quadrupol vom Typ QA besteht.

Die Entfernung vom Target sowie der Zählerabstand sind durch die Geometrie weitgehend vorbestimmt. Das Ziel der in diesem Bericht dargelegten Messungen war es somit, eine Aussage über die notwendige Form der Zähler zu gewinnen, die in der Horizontalebene (defokussierende Ebene des QA) eine Längenausdehnung von \pm ca. 40 cm von der Magnetachse haben werden. Besondere Beachtung erfordert dabei der Einfluß des sogenannten "slopes", das heißt der Änderung des Protonenimpulses mit dem Rückstoßwinkel der Protonen.

Als zweites Ergebnis soll der Messung eine möglichst genaue Bestimmung des experimentellen Raumwinkels Ω angeschlossen werden.

2. Grundsätzliches zur Methode des "floating wire"

Die Bahn eines Teilchens der Ladung e und des Impulses p im Magnetfeld H entspricht der Raumkurve, die ein Draht unter der Wirkung von H zeigt, wenn er vom Strom J durchflossen wird und unter der Zugspannung T steht. Die drei Parameter p , J und T müssen dabei in folgendem Zusammenhang stehen:

$$p \left[\frac{\text{GeV}}{e} \right] = 2.94 \cdot \frac{T(\text{kp})}{J(\text{Amp})} \quad (1)$$

Diese Bedingung kommt folgendermaßen zustande:

- 1) Radius der Teilchenbahn im Magnetfeld: $r = \frac{p}{e H_n}$
- 2) Krümmungsradius des infolge der magnetischen Kraft $P = J \cdot H_n \cdot l$ gespannten Drahtes: $r = \frac{T}{J H_n}$
- } $\rightarrow (1)$

Nach Aussage der Gl. (1) spielt die Stärke des Magnetfeldes keine Rolle, sie geht jedoch ein, sobald man Forderungen bezüglich Gegenstands- und Bildweite stellt.

Korrekturen und Grenzwerte

a) $T_{\max} = \kappa \cdot \pi r^2$; $\kappa = \text{Fließgrenze}$
 $r = \text{Drahtradius}$

- b) T_{\min} gegeben durch die Forderung, daß die Ungenauigkeit in der Winkelmessung, α_0 , klein sein muß gegen den zu messenden Winkel α :

$$\alpha_0 = \frac{\pi r^2 \ell \rho}{2T} \quad ; \quad \begin{array}{l} \ell = \text{ Drahtlänge} \\ \rho = \text{ spezif. Gewicht} \end{array}$$

c) $J_{\max} = \pi r^2 \cdot \eta$; $\eta = \text{ Strombelastbarkeit des Drahtes}$

Das bedeutet: Bei Simulierung kleinerer Impulsweite muß die Drahtlast verringert werden, damit wächst der Winkelfehler α_0 .

Sieht man die Strombelastbarkeit η als Konstante an, so geht die Drahtstärke nicht ein. Wegen der Forderung geringst möglicher Steifigkeit sollte man jedoch dünne Drähte wählen. Dafür spricht auch die Tatsache, daß tatsächlich $\eta \neq \text{const}$, da die Wärmeabführung vom Verhältnis Stromwärme/Oberfläche abhängt.

Im Experiment wurde ein Cu-Draht mit ~~0,02~~ mm Durchmesser verwandt.

3. Parameter für Spektrometer II (QA-Magnet) (e-p-Streuung 1. Generation, Außenspektrometer)

Magnet. Länge	L =	1056 mm	(vgl. <u>Fig. 1</u>)
Gesamtlänge		1372 mm	
Targetabstand	s ₁ =	2084 mm	
Zählerabstand	s ₂ =	1852 mm	
Länge der Vakuumkammer		149 mm	
Wandstärke der Vakuumkammer		13 mm	
Magnetöffnung		408 × 102 mm ² ;	288 mm \emptyset

$$\text{max. Gradient} \left(g \equiv \frac{\partial B_z}{\partial x} \right)_{\text{max}} \approx 1 \text{ k}\Gamma/\text{cm} \hat{=} \sim 1500 \text{ A}$$

$$\text{max. Zählerverstellwinkel} \quad 35^\circ$$

$$\text{vorgesehene Zählerlänge} \quad \pm 40 \text{ cm}$$

Das Spektrometer ist als Impulsanalysator für Protonen im Winkelbereich 32° - 90° vorgesehen; einige kinematische Daten für die geplanten Messungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

$q^2 (\text{f}^{-2})$	$E_0 (\text{GeV})$	$\theta_p (\text{Grad})$	$p_p (\text{GeV}/c)$	$\frac{\partial p}{\partial \theta_p} (\%)$
20	6.000	60.5	.976	- 4.45
20	1.926	50.7	.976	- 3.08
80	6.000	37.5	2.43	- 3.72
80	4.14	32.8	2.43	- 3.12

Der Zusammenhang zwischen den geometrischen Daten s_1 , s_2 , L des Experimentes, dem Feldgradienten g und dem Sollimpuls p_0 ergibt sich aus der Lösung der beiden Gleichungen:

$$\beta^2 : = \frac{g}{339 \times p_0} \frac{\text{cm}}{\Gamma} \frac{\text{GeV}}{c} \quad (\text{Quadrupolstärke}) \quad (2)$$

$$\text{tg} (\beta L) = \frac{(s_1 + s_2) \beta}{s_1 \cdot s_2 \cdot \beta^2 - 1} \quad (3)$$

Die Lösung für das Spektrometer lautet $\beta^2 = 0,8769 \text{ m}^{-2}$, und damit folgt für die Verknüpfung von Drahtstrom J , Drahtlast T und Feldgradienten g :

$$\frac{J}{\text{mA}} = 874,4 \frac{T}{g} \cdot \frac{\Gamma/\text{cm}}{\text{pont}} \quad (4)$$

Die Abhängigkeit des Feldgradienten g vom Erregungsstrom i entnehmen wir den Messungen von Holm vom 5. 3. 64. Danach gilt für den linearen Bereich der Kurve, das heißt für $i = 400 \div 800$ A (vgl. Fig. 2):

$$g\left(\frac{\Gamma}{\text{m}}\right) = 73,15 \times \left(\frac{i}{\text{A}} - 400\right) + 29,35 \times 10^3 \quad (5)$$

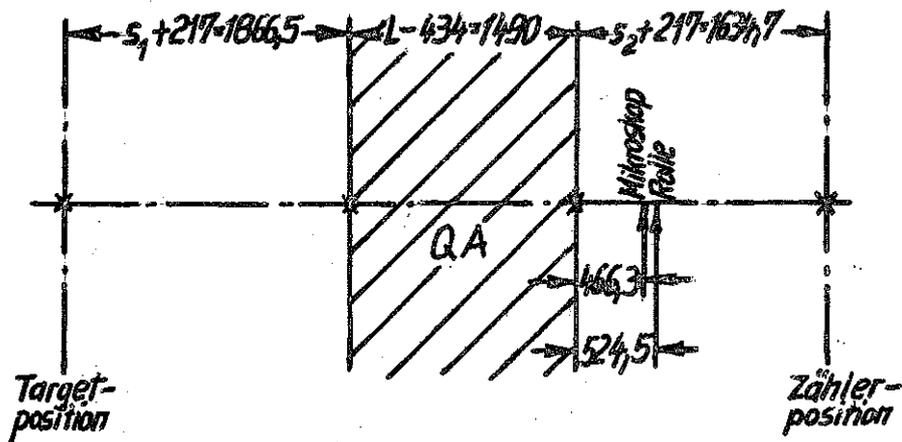
Damit folgt für den Zusammenhang zwischen Sollimpuls p_0 und Magnetstrom i

$$\frac{i}{\text{Amp}} = 406,444 \times p\left(\frac{\text{GeV}}{c}\right) - 1,230 \quad (6)$$

Parameterwahl für das Experiment:

T = 200 pont									
i = 500 A	$\hat{=}$	g = 366,5	Γ/cm						} \rightarrow
J = 477 mA	$\hat{=}$	$p_0 = 1,23$	GeV/c						

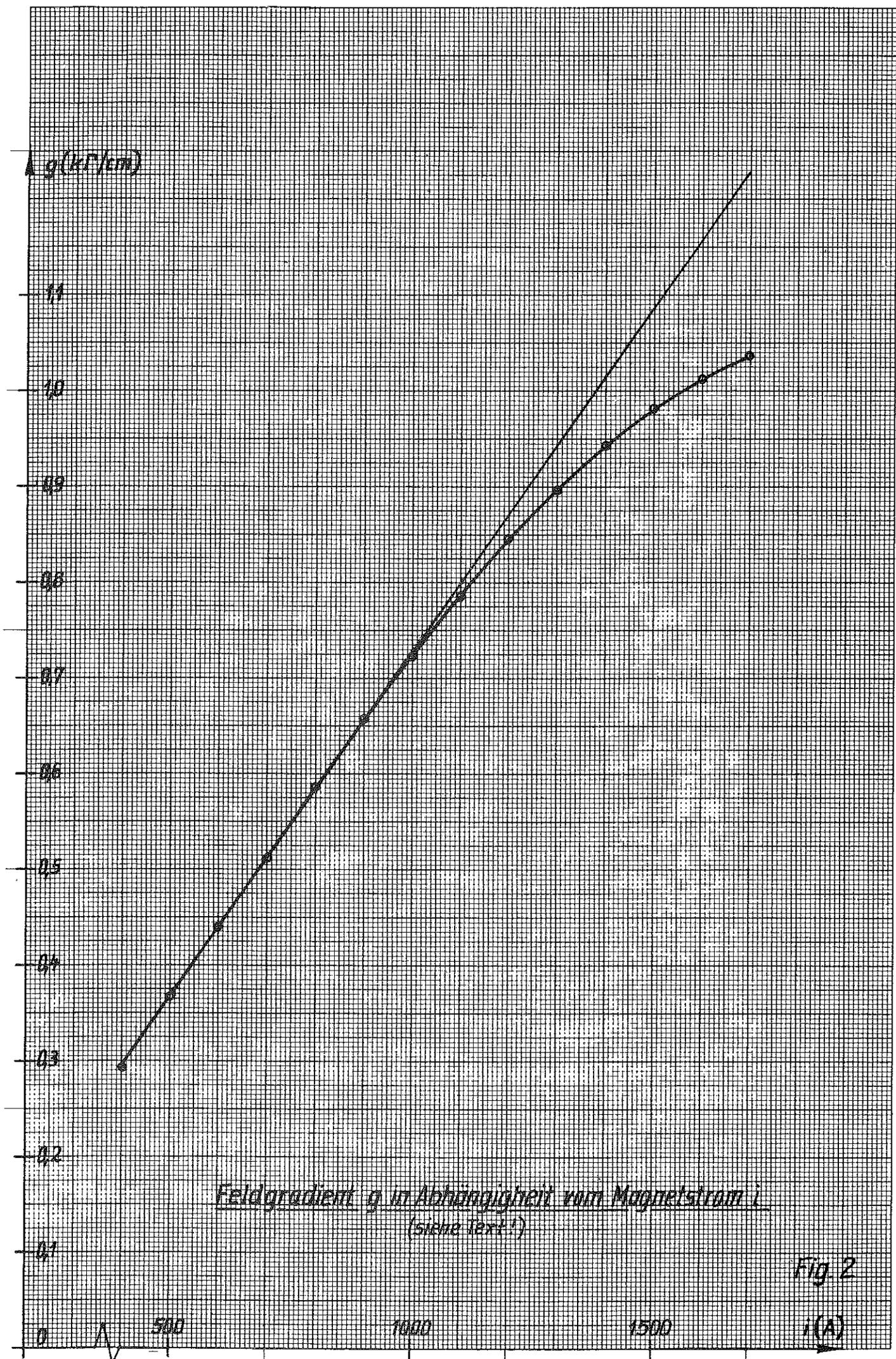
4. Aufbau für Ausmessung des QA-Magneten



In der Targetposition ist der Draht an einem kardanischen Winkelmeßgerät aufgehängt, das von H. Hultschig (siehe interner Bericht E4,5-9 vom 10. 4. 1964) beschrieben wurde. Damit werden Horizontal- und Vertikalwinkel des Drahtes mittels der auf dem Kardan angebrachten Spiegel über eine Lichtanzeige gemessen.

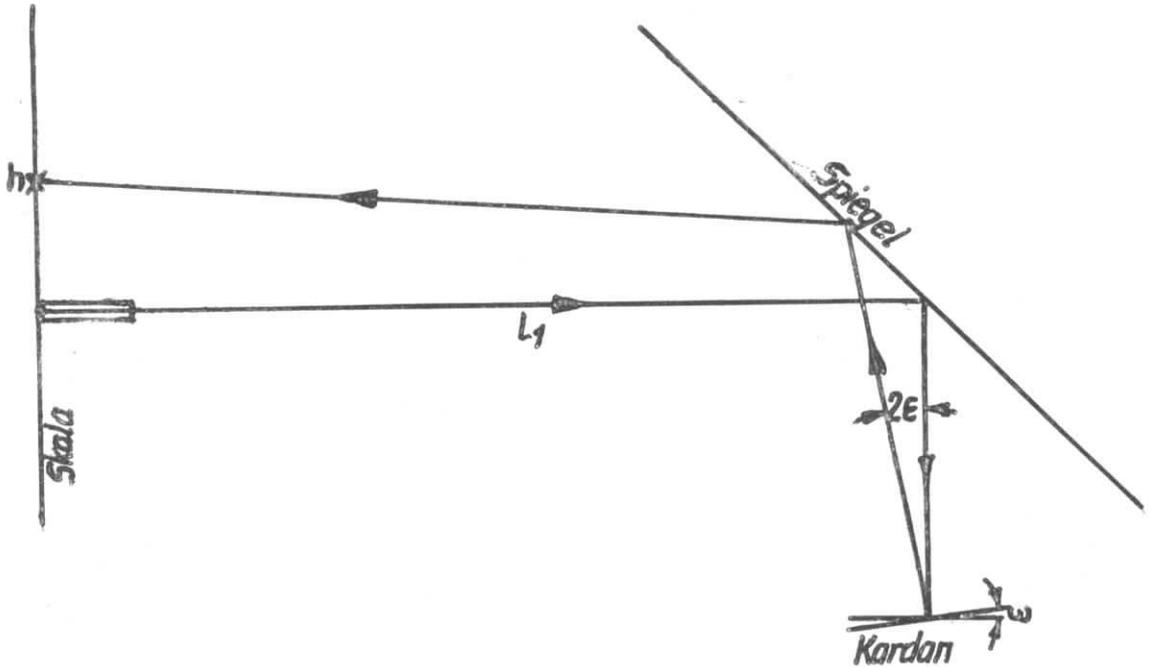
Für den Zusammenhang zwischen dem Skalenwert h (bzw. v) und dem Winkel ϵ_H (bzw. ϵ_V) gilt, wie man der Skizze entnimmt,

$$h(\epsilon_H) = (\ell_1 + \ell_2) \operatorname{tg} 2 \epsilon_H \quad (7)$$



Feldgradient g in Abhängigkeit vom Magnetstrom i
(siehe Text!)

Fig. 2



Mit den numerischen Werten des Experiments heißt das:

horizontal: $\epsilon_H(\text{Grad}) = 2,829 \cdot 10^{-2} \frac{h}{\text{mm}}$

vertikal : $\epsilon_V(\text{Grad}) = 2,751 \cdot 10^{-2} \frac{v}{\text{mm}}$

Dieser Aufbau gestattet eine Bestimmung der Eintrittswinkel mit einer Genauigkeit von größenordnungsmäßig 1 mrad.

Auf der Bildseite läuft der mit dem Gewicht T belastete Draht über eine Rolle ($\emptyset = 6 \text{ cm}$), die so reibungsarm gelagert ist, daß die Zusatzkräfte auf Grund der Lagerung vernachlässigbar sind.

Die Rolle läßt sich vermittels eines Meßtisches in definierter Weise vertikal (Koord. V) und horizontal (Koord. H) senkrecht zur Q-A-Achse verschieben. Die Ablesegenauigkeit beträgt 0,2 mm; die Reproduzierbarkeit bei Verschiebung jeweils in der gleichen Richtung (Spiel in der Führung) ist von der gleichen Größenordnung.

Zwischen Magnet und Rolle wurde mit Hilfe eines Winkelmeß-

mikroskops die Drahtrichtung, später nur noch die Position des Drahtes in der Horizontalen gemessen. Der Mikroskopisch war auf dem Meßtisch montiert, jedoch gegen diesen in definierter Weise verschiebbar (Koordinaten M_H und M_V). Die Winkelbestimmung mittels der Mikroskope war bei einer jeweils 5-fachen Messung auf ca. 0,5 mrad möglich.

Wegen der bekannten Entfernung Mikroskop-Rolle war das System überbestimmt, was eine Kontrolle der Messung ermöglichte. Wegen der befriedigenden Übereinstimmung zwischen direkt gemessenen und aus der bloßen Lagebestimmung berechneten Austrittswinkel α wurde bei der eigentlichen Messung auf die Winkelmeßmikroskope verzichtet.

Öffnungsfehler des Magneten sollten sich als Abweichung vom linearen Zusammenhang zwischen Ein- und Austrittswinkel einerseits und horizontaler Verschiebung der Rolle andererseits bemerkbar machen. Da nur geringfügige Abweichungen festgestellt wurden, wurde schließlich darauf verzichtet, die Lage des Bildpunktes in einer Horizontalebene ($V = \text{const}$) aus einer Vielzahl von Meßpunkten zu bestimmen. Statt dessen wurden in vielen verschiedenen Horizontalebene nur jeweils einige Punkte gemessen. Die geringere Genauigkeit der Einzelmessung wurde somit durch eine größere Zahl von Meßpunkten ausgeglichen, mit der die Bildkurve belegt werden konnte.

Um den Einfluß des Drahtgewichtes weitgehend auszuschalten, wurde erstens eine große Drahtlast $T = 200$ pont gewählt, zum anderen aber der Drahtstrom so gepolt, daß der interessierende Austrittswinkel in der Horizontalebene gemessen werden konnte. Eine Testmessung ohne Magnetfeld und Drahtstrom hatte gezeigt, daß sich der Vertikalwinkel mit von 100 auf 190 pont steigender Belastung linear um 1,8 mrad änderte.

5. Lage der Bildpunkte

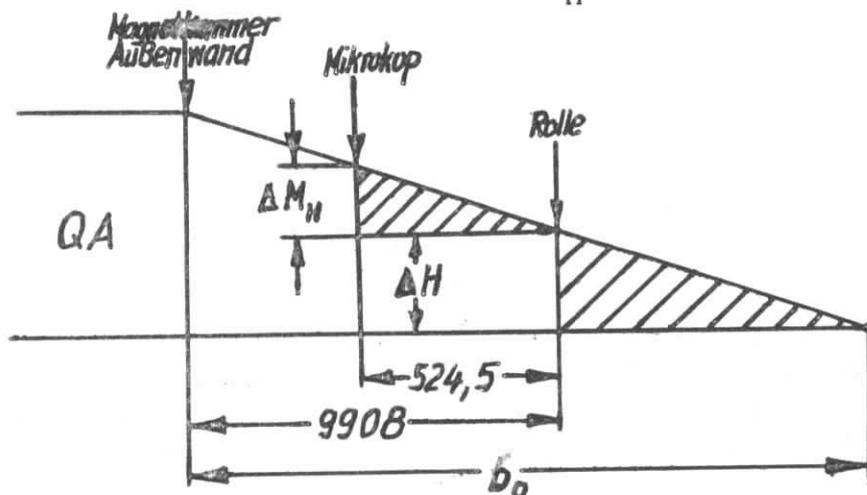
5.1 Messung der Bildpunkte für $p = \text{const}$

($i = 500 \text{ A}$; $J = 477 \text{ mA}$; $T = 200 \text{ pont}$; $p = 1,23 \text{ GeV/c}$)

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Einzelmessungen zusammengestellt. Die Lage der QA-Achse wurde als diejenige Lage des Drahtes ermittelt, in der das Ein- und Ausschalten des Drahtstromes keinen Einfluß zeigte. Wegen der begrenzten Verschiebbarkeit des Meßtisches mit der Rolle wurde nur die obere Hälfte des Magneten ausgemessen, wobei sich in der Mittellage die Messungen auch nur auf einer Seite bis an den Rand der Vakuumkammer erstreckten.

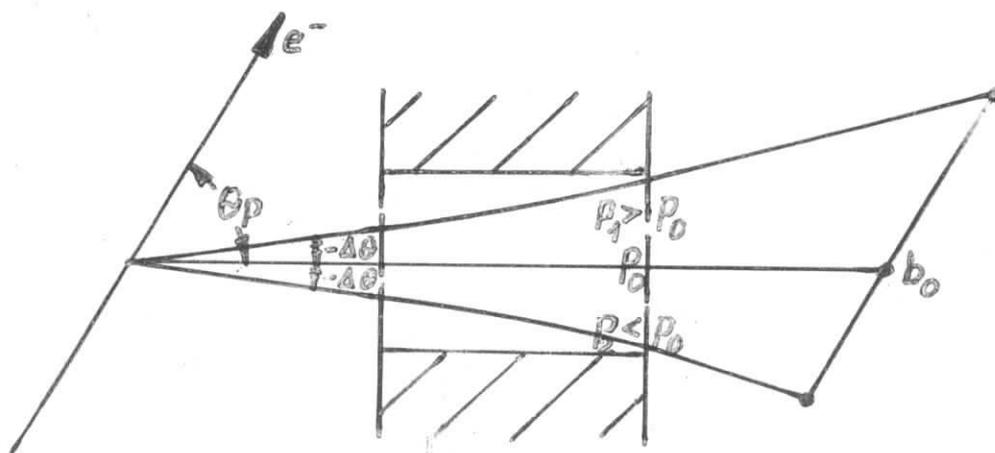
Aus den in den vorhergehenden Abschnitten angegebenen Entfernungen ergibt sich für die Bildpunktberechnung die Gleichung

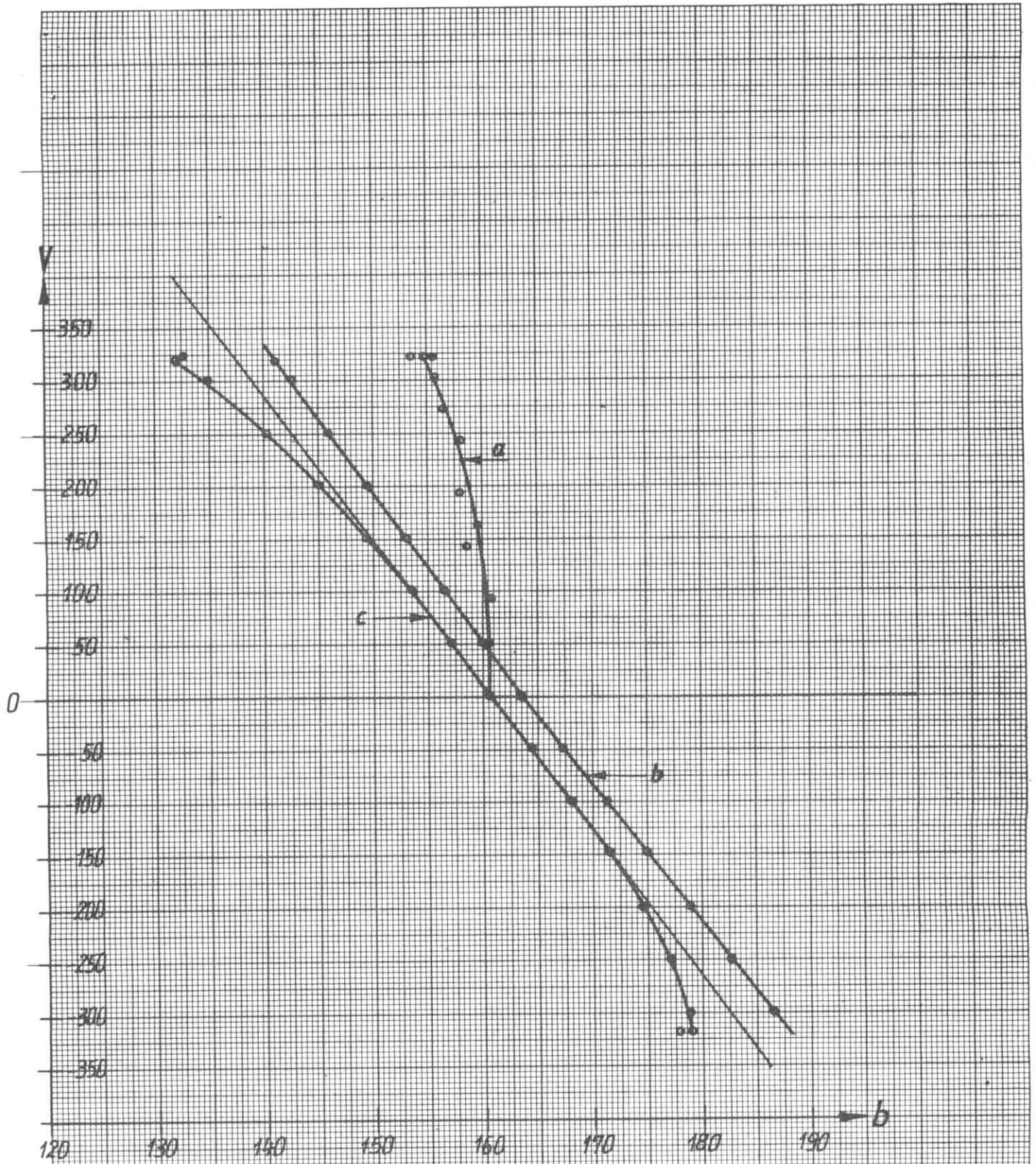
$$b_0 = 990,8 + 524,5 \frac{\Delta H}{\Delta M_H} (1 \pm 2 \cdot 10^{-2})$$



Nr.	V	ΔH	ΔM_H	b_o (mm)
1	324.1	28.4	26.6	1551
2	302.5	25.0	23.1	1558
3	322.5	25.0	23.2	1556
4	324.1	25.0	23.7	1544
5	323.5	25.0	23.7	1544
6	0	101.0	86.7	1601
7	162.5	60.0	52.0	1596
8	322.5	25.0	24.1	1535
9	0	100.0	85.2	1606
10	92.5	100.0	85.2	1606
11	142.5	75.0	66.2	1585
12	192.5	55.0	48.2	1580
13	242.5	45.0	40.1	1580
14	272.5	35.0	32.0	1565
15	322.5	25.0	24.1	1535

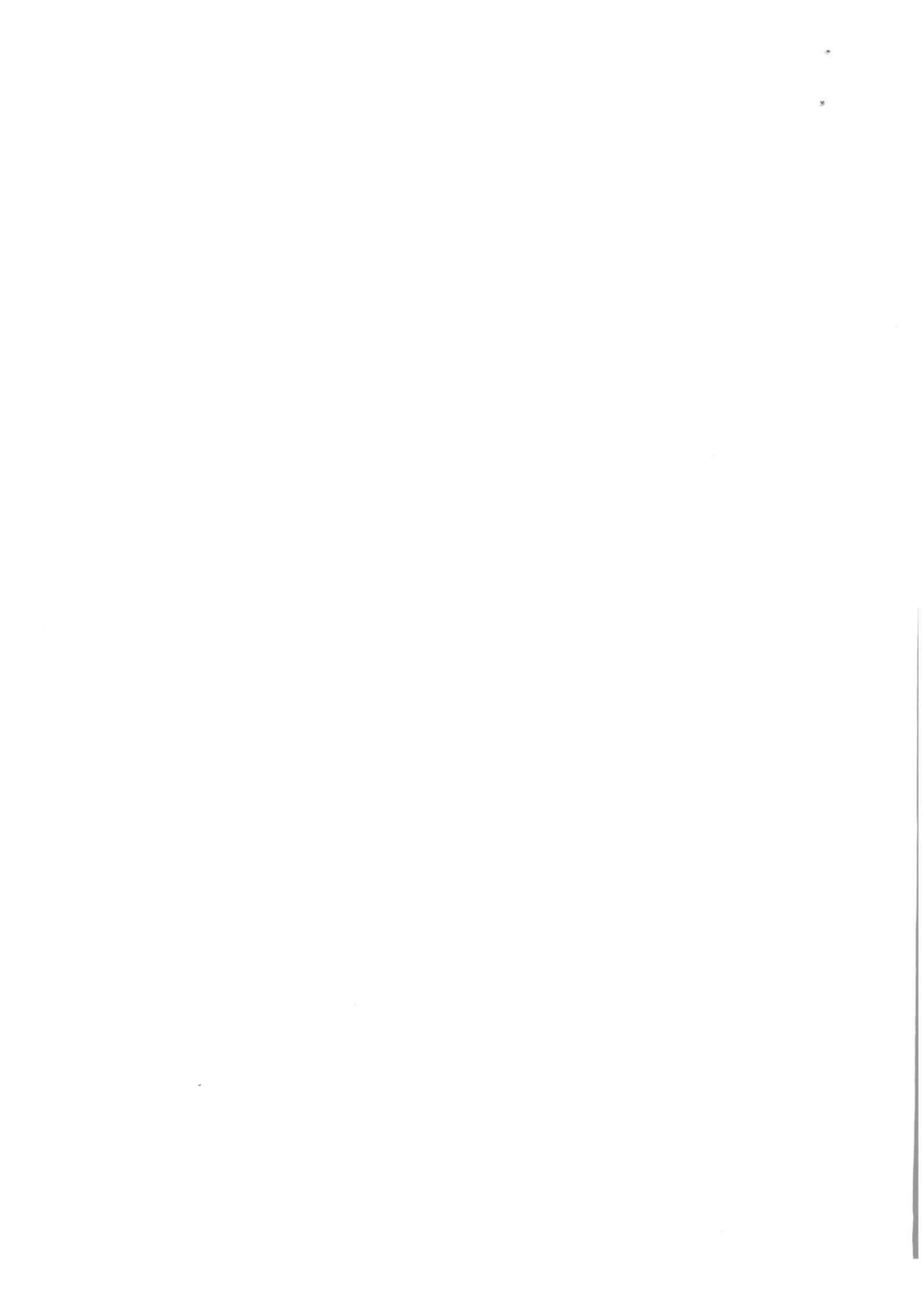
5.2 Einfluß des "slope" auf die Bildentfernung





Lage der Bildpunkte (siehe Text!)

Fig. 3



Die Steigung der $p-\theta_p$ -Kurve ist für die vorgesehenen Messungen etwa

$$\frac{\partial p}{\partial \theta_p} \approx - 0.03 \cdot p$$

Um dem bei der Messung Rechnung zu tragen, könnte man in jeder Horizontalebene den entsprechenden Impuls simulieren, das heißt etwa den Drahtstrom als $J(V)$ variieren. Tatsächlich wurden nur die beiden Extrema auf diese Weise gemessen, und zwar hatte die Messung des maximalen Öffnungswinkels des akzeptierten Strahlenbündels in der defokussierenden Ebene

$$2 \vartheta = 4,0^\circ$$

ergeben, so daß ein "slope" von - 3% pro Grad zu folgenden Messungen führte:

V	J(mA)	$p(\frac{\text{GeV}}{c})$	ΔH	ΔM_H	b
322.5	510	1.18	23	36	132.6
319.5	450	1.31	36	24	177.7

Aus den Messungen des Eintrittswinkels erhält man unter Zugrundelegung dieses "slopes" den Zusammenhang

$$\frac{dp}{dV} = \frac{dp}{d\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dV} = - 2,276 \cdot 10^{-4}$$

Andererseits berechnet man aus den Gleichungen (2) und (3) den Zusammenhang $\hat{b}(p)$ ohne Berücksichtigung der sphärischen Bildfehler, die sich in der gemessenen Krümmung der Bildkurve ausdrücken.

Aus dieser Kurve (vgl. Fig. 3, Kurve b) entnimmt man dann die einem vorgegebenen V entsprechenden Bildentfernungen $\hat{b}(V)$. Bezeichnet man mit $\Delta b(V)$ die Differenz zwischen dem "Sollwert" $\hat{b}(V=0)$ auf der optischen Achse und der gemessenen Bildweite $b_0(V)$, so erhält man die endgültige Bildkurve als

$$b(V) = \hat{b}(V) - \Delta b(V)$$

Die Werte für $b_0(V)$ werden dabei zweckmäßigerweise der Ausgleichskurve (Fig. 3a) entnommen.

Die gute Übereinstimmung der Kurvenendpunkte mit den gemessenen Extrema rechtfertigt das Verfahren und erhöht gleichzeitig das Vertrauen, das man in die Meßergebnisse setzen kann. In der folgenden Tabelle sind die der Fig. 3c zugrundeliegenden Daten zusammengestellt.

(Tabelle siehe Seite 13)

Nach Aussage der Kurve müßte ein aus drei linearen Stücken zusammengesetzter Zähler eine hinreichend gute Anpassung an die Bildkurve gewährleisten.

V	$\hat{b}(V)$	$b_0(V)$	b(V)	Messg.
320	141.0	154.2	131.8	132.6
300	142.6	155.5	134.7	
250	145.9	157.6	140.1	
200	149.3	158.9	144.8	
150	153.0	159.7	149.3	
100	156.5	160.2	153.3	
50	160.0	160.5	157.1	
0	163.4	160.6	160.6	160.6
- 50	167.1	160.5	164.2	
- 100	171.1	160.2	167.9	
- 150	175.0	159.7	171.3	
- 200	178.9	158.9	174.4	
- 250	182.6	157.6	176.8	
- 300	186.4	155.5	178.5	
- 320	188.0	154.2	178.8	177.7

6. Bestimmung der Winkelakzeptanz des QA

Für die gleichen experimentellen Bedingungen wurde die Winkelakzeptanz gemessen. Dafür wurde die Rolle jeweils so eingestellt, daß der Draht den Magneten gerade noch nicht berührte. Für diese Einstellungen wurden die Koordinaten V und H, die Eintrittswinkel ν und h und die Eintrittskordinaten x, y in der Ebene der Vakuumkammer-Frontplatte gemessen (siehe Figur 4).

Um den Einfluß des "slopes" auf Größe und Form des Eintrittsfensters abschätzen zu können, wurde die gleiche Messung für verschiedene Drahtströme durchgeführt. Daraus sieht man,

daß eine durch den "slope" bedingte geringfügige (1 - 2 mm) Verschiebung der seitlichen Kanten des Eintrittsfensters eine Korrektur am Raumwinkel verursacht, die in der Größenordnung von $\leq 1\%$ liegen wird.

Die Ausmessung von Fig. 4 führt zu einem Raumwinkel

$$d\Omega = 7,91 \text{ msterad}$$

In Figur 4 sind neben unseren Meßpunkten auch die Ergebnisse einer von Basar durchgeführten Rechnung eingetragen. Die Übereinstimmung ist als gut zu bezeichnen.

E. Ganßauge

