

DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON
(DESY)

Hamburg-Gr. Flottbek 1, Flottbeker Drift 56

DESY-Bibliothek

H. Hultschig

Desy-Notiz A 2.76

Hamburg, den 20. April 1961
M 8-Dr. Hu/VM

ZUR ENTWICKLUNG DER QUADRUPOLLINSEN II

1. Aufgabenstellung

1.1. Verminderung der Leistung

In der Desy-Notiz A 2.73* wurden Quadrupollinsen angegeben, die unter Berücksichtigung des Kupferfüllfaktors und der Windungsköpfe einen Leistungsverbrauch von 600 bzw. 1000 kW für 1 bzw. 2 m Länge und $g = \frac{1 \text{ k} \sqrt{\text{r}}}{\text{cm}}$ haben. Unter Berücksichtigung der Kosten für die Stromversorgungsgeräte führt dieser Leistungsverbrauch zu sehr hohen Investitionskosten. Es muß daher Sorge getragen werden, den Leistungsbedarf der Linsen zu vermindern, das heißt den Spulenquerschnitt zu vergrößern.

1.2. Vereinfachung der Spulen

In I hat der Windungsquerschnitt eine dreieckige Form. Dies führt besonders unter Berücksichtigung der Kühlung zu sehr komplizierten Spulenkonstruktionen. Es soll erreicht werden, im wesentlichen mit einer rechteckigen Spulenform auszukommen.

1.3. Symmetrische Linse

In I wurden verschiedene Linsenformen zur Diskussion gestellt. Wir tendieren jetzt zum symmetrischen Typ aus folgenden Gründen:

*) im folgenden als I zitiert

- a) Bei der symmetrischen Ausführung verschwinden gewisse Linsenfehler (auch der niedrigster Ordnung).
- b) Durch einen symmetrischen Bau werden die Windungsköpfe n -facher.
- c) Eine symmetrische Linse kann hohe schmale und breite flache Strahlquerschnitte aufnehmen ohne daß sie gekippt werden muß.

Die symmetrische Ausführung hat folgende Nachteile:

- a) größeres Eisengewicht,
- b) etwas größere Leistung (durch längere Windungsköpfe),
- c) größere Breite, wenn sie für hohen und flachen Strahlquerschnitt benutzt wird.

2. Theoretische Überlegungen

2.1. Linsenquerschnitt

Mit den unter 1. gestellten Forderungen erhält man einen Linsenquerschnitt, wie ihn etwa Abbildung 1) zeigt.

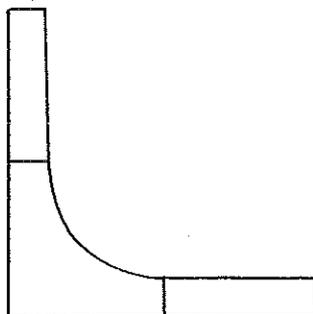


Abb. 1

(etwa Desy II)

2.2. Forderungen für ein exaktes Quadrupolfeld

Um im Innenraum ein exaktes Quadrupolfeld zu erhalten, müssen die folgenden Forderungen erfüllt werden:

- a) Die Eisenkontur am Innenraum muß hyperbelförmig sein.
- b) Das Feld am Übergang zwischen Innen- und Spulenraum muß ein Quadrupolfeld sein.
- c) Im Eisen muß $\mu_{\text{Eisen}} = \infty$ bei den benutzten Flußdichten eine gute Näherung sein.

2.3. Spule

Im Innern einer einseitig unendlich breiten, von Eisen umschlossenen Flachspule (Abb. 2) hat die magnetische Feldstärke die Komponenten

$$\begin{aligned} B_x &= 0 \\ B_y &= j \cdot s \end{aligned}$$

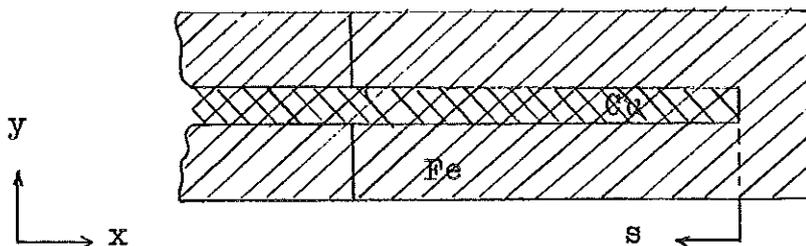


Abb. 2

Zur Erfüllung der Randbedingung 2.2.b) muß das Spulenfeld am offenen Ende verändert werden. Dies ist möglich durch shims oder geeignete Zusatzwindungen.

3. Messungen

3.1. Verwendete Methode

Um ohne große Rechnungen gewisse Informationen über den Potentialverlauf zu gewinnen, wird eine Stahlplattenvariante des elektrolytischen Troges verwendet. Die Anordnung war ursprünglich für die Messung des Einflusses von Spulenfehlern bei dreieckigen Spulen gedacht. Für diese Messungen war die erreichte Genauigkeit von etwa 5 % für den Betrag der Feldstärke völlig ausreichend. Für die hier zur Diskussion stehenden Messungen wäre eine Genauigkeit von etwa 0,5 % wünschenswert.

3.2. Verwendete Profile

Zunächst wurde das einfache Profil, das in 2.1. angegeben wurde, benutzt (Abb. 3a). Erwartungsgemäß zeigt dieses Profil Feldfehler, die zunächst durch Einschnitte korrigiert wurden (s. Abb. 3b). Später wurde ein neues Profil benutzt, bei dem anstelle dieser Einschnitte geeignete Nasen angebracht waren (Abb. 3c).

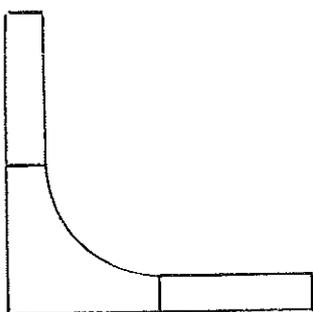
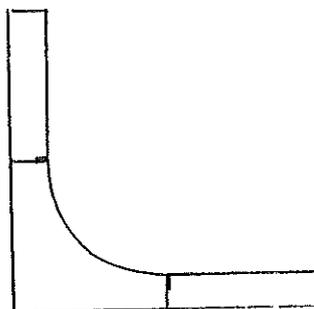
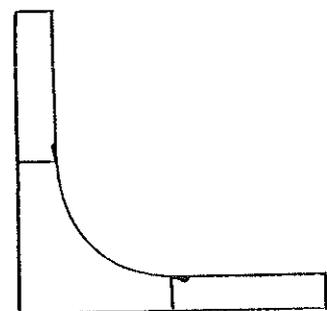


Abb. 3 a)



b)



c)

3.3. Meßergebnisse

Die Abbildung 4a zeigt die gemessenen Potentiallinien für das Profil 3a und verschiedene Windungslagen. Außerdem sind einige Punkte für ein exaktes Quadrupolfeld angegeben.

Die Abbildung 4b zeigt entsprechende Potentiallinien für Profil 3b und Einschnittiefen von 2 bzw. 5 mm. Die Kurven zeigen, welche Korrektur mit diesen Einschnitten erreicht wurde. Die Korrektur erfolgt zwar im richtigen Sinn, die Kurvenform wird jedoch nicht richtig wiedergegeben.

Die Abbildung 4c zeigt die Potentiale für die Profillinie 3c für die hinteren und vorderen (kürzeren) Lagen getrennt. Die Potentiallinien der gesamten Spule stimmen innerhalb der Meßgenauigkeit mit denen des exakten Quadrupolfeldes überein (wie Abbildung 4 c zeigt). Die Fehler der beiden ersten Lagen tragen zur Korrektur der Fehler der hinteren Lagen bei.

4. Flußdichte im Eisen

4.1. Annahmen über die Randfeldstärken bei der Berechnung der Flußdichte

Im Innenraum wurde für die Randfeldstärke ein exaktes Quadrupolfeld angesetzt. Für den Spulenraum wurde der Ansatz 2.3 benutzt, der trotz der Korrekturnase noch eine befriedigende Näherung darstellen sollte.

4.2. Ergebnis

In Abbildung 5 sind die notwendigen Eisenstärken für verschiedene Spulenbreiten (100, 200, 300 mm) dargestellt.

Für die Flußdichte ist dabei der maximale Wert im Innenraum angesetzt worden. Die erste Kurve zeigt die notwendige Eisenstärke für den Fluß aus der Spule, und die Differenz zur zweiten Kurve (für $x \geq \sim 250$) zeigt die Eisenstärke für den Fluß aus dem Innenraum. Für $x \sim 250$ ist im Gebiet des Innenraumflusses die Flußdichte geringer als die maximale. Die maximale Flußdichte wird im Joch im Gegensatz zu den CERN-Linsen nicht überschritten.

5. Zusammenfassung

In der Abbildung 6 ist ein Quadrant der Quadrupollinse mit Spulenkorrektur und 200 mm langer Spule angegeben. Sein Profil wurde im Analogmodell ausgemessen (siehe Abb. 4c), und die Potentiallinien zeigen innerhalb der Meßgenauigkeit von etwa 5 % ein Quadrupolfeld. Es besteht die Hoffnung, daß Abweichungen dieser Größenordnungen an einem Prototyp durch Anbringen zusätzlicher shims beseitigt werden können. Allerdings dürfte es im Gegensatz zu den CERN-Erfahrungen hier auf die Form des shim ankommen, weil das Feld bereits in der Nähe des shim benutzt wird und dadurch auch die höheren Ordnungen eine Rolle spielen.

Bei den hier angeführten Überlegungen ist zunächst noch ein freier Parameter, nämlich die Spulenbreite, übrig geblieben. Dieser Parameter wird zusammen mit der Linsenlänge optimiert werden können, sofern gewisse Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Akzeptanz und Linsenlänge abgeschlossen sind. Bei der oben gewählten Spulenbreite von 200 mm

ist der Spulenraum etwa doppelt so groß wie bei den in I angegebenen Linsen. Entsprechend ergibt sich ein Leistungsbedarf von etwa 300 bzw. 500 kW für 1 bis 2 m lange Linsen bei $g = \frac{1 \text{ kV}}{\text{cm}}$.

Es besteht grundsätzlich noch die Möglichkeit, den Spulenquerschnitt bei konstanter Linsenlänge zu vergrößern und damit den Leistungsbedarf herabzusetzen. In erster Näherung kann nach außen die Spule um die Differenz zwischen der Mindest-Eisenkontur und der Winkelhalbierenden verbreitert werden (siehe Abb. 5). Vorerst sind nähere Überlegungen in dieser Richtung nicht angestellt worden, weil dadurch von dem einfachen Spulenquerschnitt abgegangen werden müßte und zusätzliche Korrekturen notwendig würden.

- für 5. und alle hinteren
 Lagen
 - für 1. Lage
 - für 2. Lage
 • für 3. Lage

- für 2mm Einschnitt
 - für 5mm Einschnitt

- für 5. und alle hinteren
 Lagen
 - für 1. Lage
 • für 1. Lage mit Stromkorrek-
 tur (1,5-facher Strom) an
 der äußeren Windung

* Setzwerte (für Quadrupolfeld)

4c

4b

4a

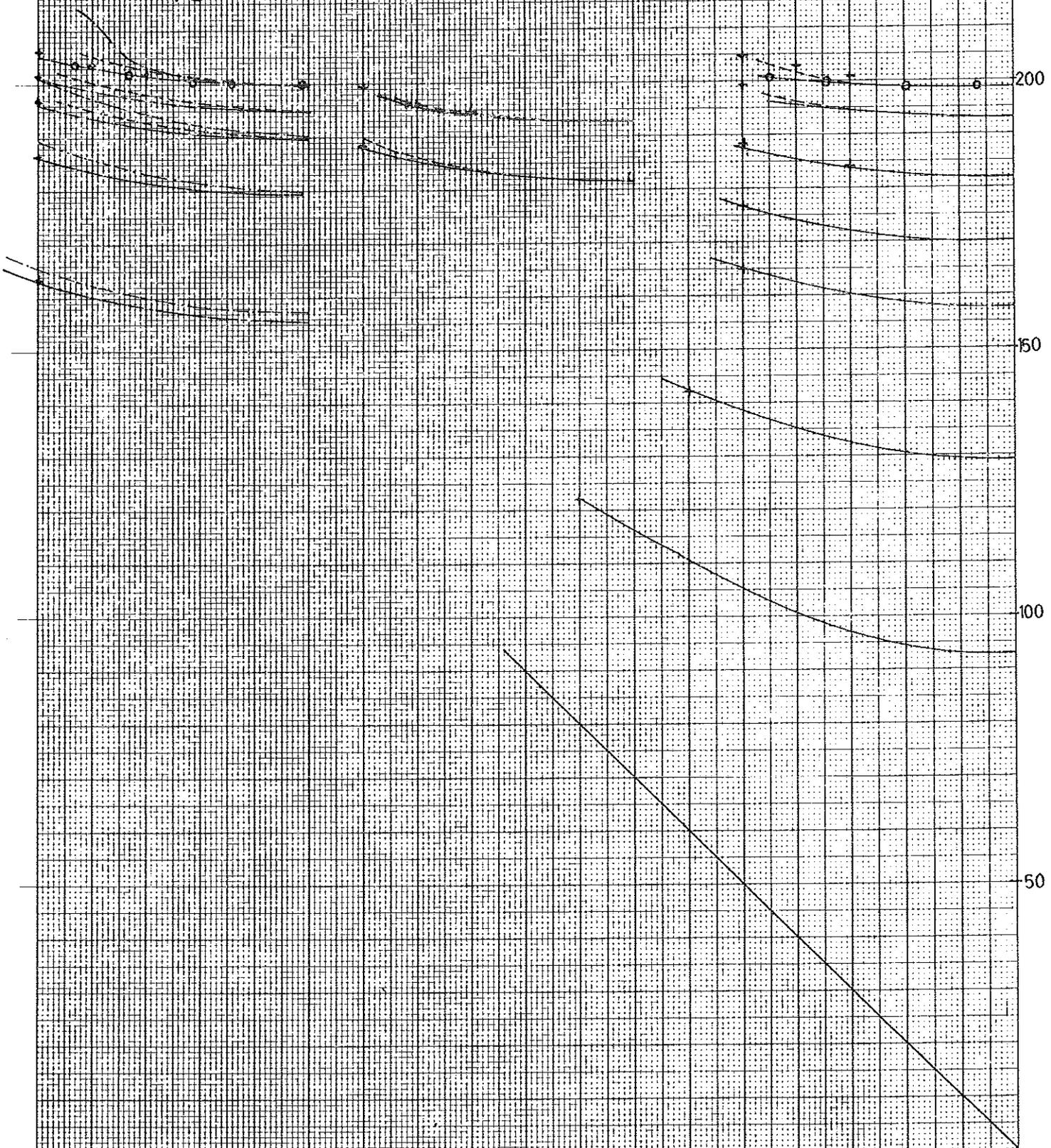
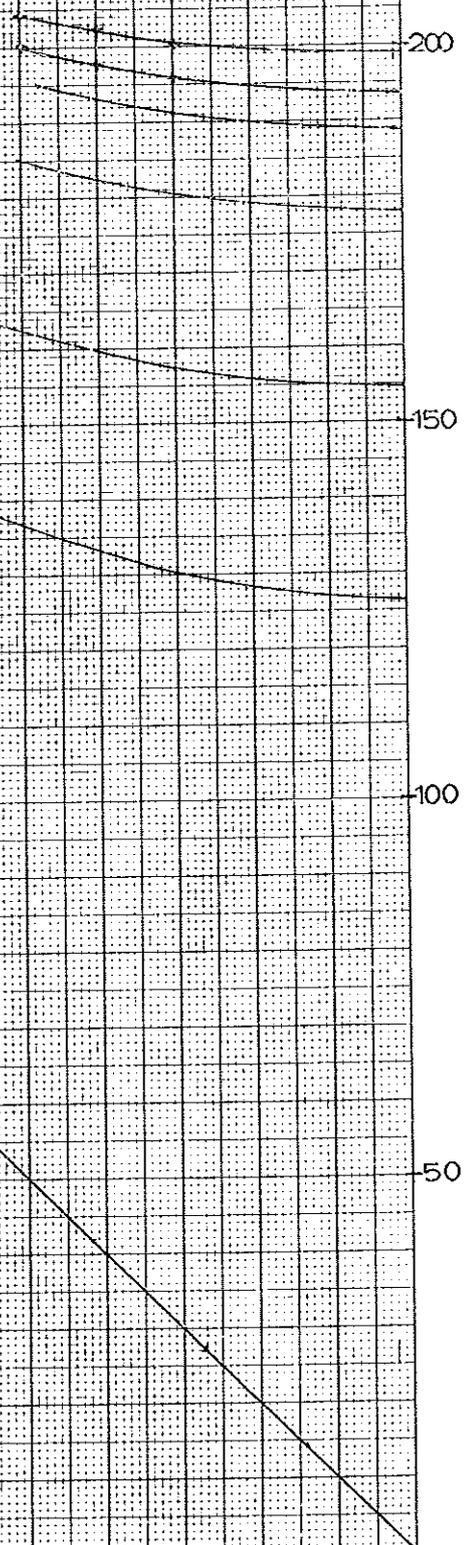


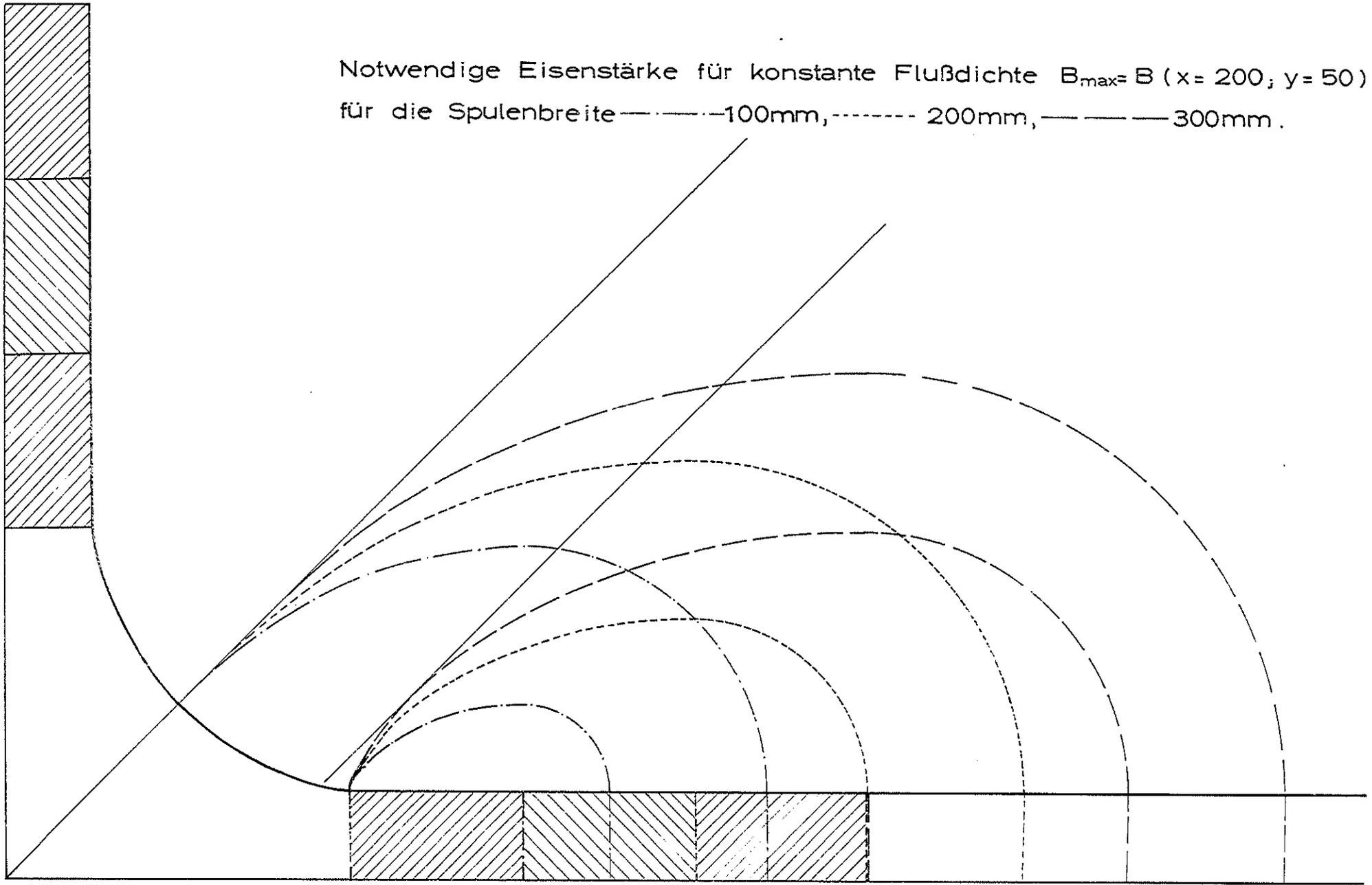
Abb. 4c

Potentiallinien für Gesamtschule

* Sollwerte (für Quadrupolfeld)



Notwendige Eisenstärke für konstante Flußdichte $B_{\max} = B(x = 200, y = 50)$
für die Spulenbreite ——— 100mm, - - - - - 200mm, — · — · — 300mm.



0 100 200 300 400 500mm

Abb. 5

Quadrant der Linse mit Spulenbreite = 200mm,
Leitungsquerschnitt 12^2mm^2 und Korrektornasen
+ Mittelpunkt der Leiter
◦ Stromeinspeisungspunkte für Analogmessungen

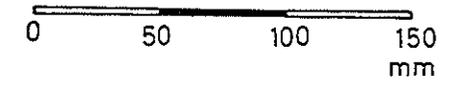
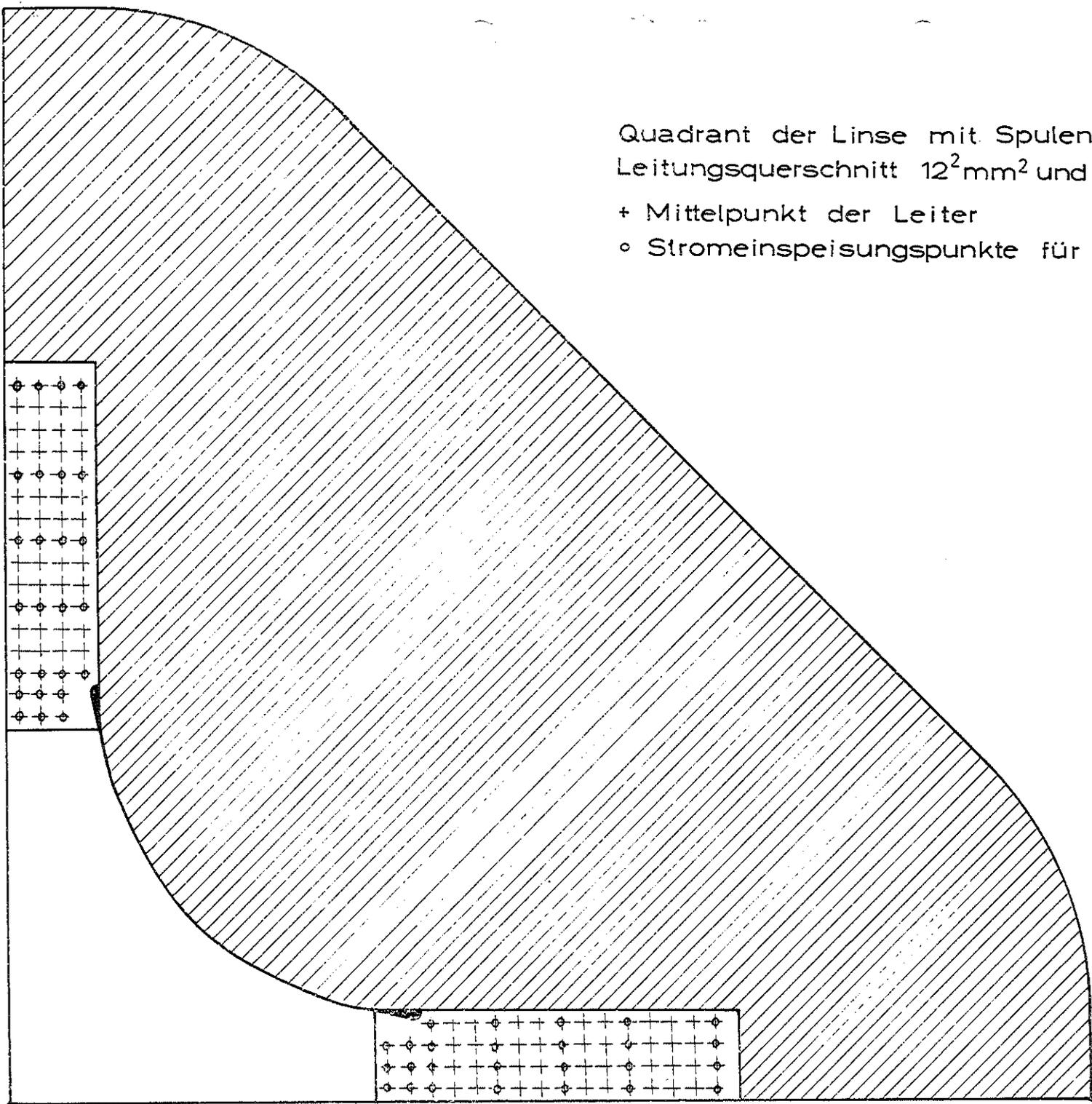


Abb. 6