

# Versuch: Magnetische Linsen

**Hinweis:** Das Netzteil ist für alle Messungen auf 1 Ampere einzustellen.

## **a) Helmholtzfeld**

Positioniert man zwei Stromringe koaxial im Abstand  $d$  ihres Radius  $R$ , so nennt man ein so erzeugtes Magnetfeld "Helmholtzfeld". Dieses zeichnet sich durch eine besonders gute Homogenität im achsennahen Bereich zwischen beiden Stromringen aus.

### **Aufgaben:**

1. Messen Sie:

- Die Homogenität (Konstanz) des Magnetfeldes in der Mittelebene zwischen den beiden Ringen  $B_z (r, z=0)$
- Die Homogenität (Konstanz) des Magnetfeldes auf der Zylinderachse  $B_z (z, r=0)$
- Die Abweichung von der Homogenität, wenn Sie den Abstand  $d$  jeweils etwas kleiner und etwas größer wählen ( etwa 25 %).

Die Windungszahl der Spulen beträgt  $N=100$ .

Für den Spezialfall  $d=R$  gilt:  $H_z (z = 0, r = 0) = \frac{R^2 NI}{\left(\frac{5}{4} R^2\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \left[\frac{A}{m}\right] \quad (1)$

2.

- Beweisen Sie die Homogenität des Helmholtzfeldes theoretisch und zeigen Sie dabei, daß sich die Formel (1) mit Hilfe des Biot-Savart'schen Gesetzes herleiten läßt.

Zu 2:

Mögliches Beweisprinzip:

a) Ableitung der Formel für die axiale Feldkomponente auf der Achse bei einem Stromring

$$H_z(\zeta, r=0) = \frac{2\pi R^2 I}{(\sqrt{R^2 + \zeta^2})^3}$$

aus dem Biot-Savart'schen Gesetz

$$\vec{H} = I \oint \frac{d\vec{s}' \times (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

b) Das gibt für zwei Stromringe (Abstand  $d$ ) auf der Achse ( $r=0$ ) den Ausdruck

$$H_z(z, r=0) = \frac{1}{2} R^2 I \left( \frac{1}{\left(\sqrt{R^2 + \left(\frac{d}{2} + z\right)^2}\right)^3} + \frac{1}{\left(\sqrt{R^2 + \left(\frac{d}{2} - z\right)^2}\right)^3} \right) \quad (a2)$$

( $z=0$  liegt in der Mitte zwischen den beiden Stromringen)

c) Andererseits gestattet Zylindersymmetrie eine allgemeine Reihenentwicklung der Azimutalkomponente des Vektorpotentials außerhalb der Achse

$$A_\phi(r, z) = \sum_{\nu=0}^{\infty} \frac{(-1)^\nu}{\nu!(\nu+1)!} \frac{\partial^{2\nu} H_z}{\partial z^{2\nu}} \Big|_{r=0, z} \left(\frac{r}{2}\right)^{2\nu+1}$$

Für das homogene Feld müssen alle Differentialquotienten

$\frac{\partial^{2\nu} H}{\partial z^{2\nu}}$  ( $\nu > 0$ ) verschwinden, d. h. es muß  $A_\phi = H \frac{r}{2}$  gelten.

d) Nun läßt sich durch Differentiation zeigen, daß (a2) bei  $z=0$  nur dann einen Flachpunkt hat, wenn man  $R=d$  setzt.

## b) Elektronenlinse

Zylindersymmetrische elektrische oder magnetische Felder wirken auf Elektronenstrahlen wie optische Linsen auf Licht, d. h. Sie können mit Elektronenstrahlen optische Abbildungen vermitteln. Darauf beruht schließlich auch die Wirkungsweise des Elektronenmikroskops.

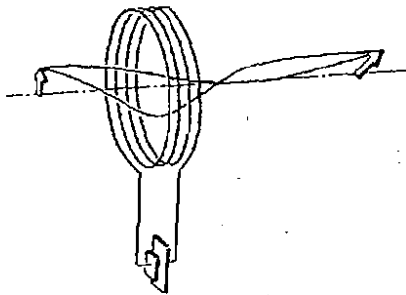
Im Gegensatz zur elektrischen Linse bleibt der Geschwindigkeitsbetrag der Elektronen beim Durchgang durch eine magnetische Linse konstant.

Während das reelle Bild, das man mit einer elektrischen Linse erzeugt, immer ein umgekehrtes Bild ist (wie in der Lichtoptik), ist das mit einer magnetischen Linse erzeugte Bild verdreht. Bei einer langen Spule ist, im Gegensatz zur kurzen Spule, der Abbildungsmaßstab 1:1.

In einer langen Spule bleiben achsenparallele Strahlen achsenparallel. Deshalb kann man ein solches abbildendes System nicht ohne weiteres als Linse bezeichnen, denn es hat hier keinen Sinn von einer Brennweite zu sprechen.

Erst begrenzte inhomogene magnetische Felder ergeben eigentliche magnetische Linsen:

Vor dem Eintritt und nach dem Austritt aus einer solchen kurzen Spule erfährt auch ein achsenparallel fliegendes Elektron eine Lorentzkraft, weil die konvergierenden bzw. divergierenden Feldlinien hier nicht parallel zum Geschwindigkeitsvektor sind. Diese Kraft zwingt dem Elektron eine azimuthale Geschwindigkeitskomponente auf, und diese führt zu einer Lorentzkraft, die das Elektron radial, und zwar immer zur Achse hin, ablenkt.



kurze magnetische Linse

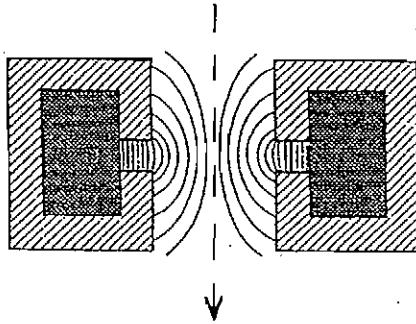
Für kurze Linsen (d. h. die Brennweite ist groß gegenüber der Linsenlänge) läßt sich mit Hilfe der "Busch'schen Brennweitenformel" näherungsweise eine Brennweite berechnen:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{4} \cdot \left( \frac{e}{m \cdot v} \right)^2 \cdot \int B_z^2(z) dz \quad (2)$$

Hierbei ist  $z$  die axiale Koordinate der zylindersymmetrischen Anordnung,  $B_z$  die Axialkomponente der Magnetfeldstärke,  $e/m$  die spezifische Ladung des Elektrons,  $v$  die Elektronengeschwindigkeit,  $f$  die Brennweite.

Ein technischer Vorteil der elektronenoptischen Linsen gegenüber lichtoptischen Glaslinsen ist folgender: Durch Änderung der Elektrodenspannungen bei elektrischen Linsen bzw. des Spulenstroms bei magnetischen Linsen läßt sich die Brennweite in weiten Grenzen variieren. Somit kann hier eine Scharfstellung ohne mechanische Bewegung der Abbildungselemente erfolgen.

Die praktischen Anwendungen im Elektronenmikroskop erfordern magnetische Linsen mit sehr kurzer Brennweite. Da deswegen die Länge des Feldes nur klein sein darf, muß die Feldstärke sehr groß sein. Man verwendet dazu eisengekapselte, mit einem schmalen Schlitz versehene Spulen, deren Feld in Abb. "kurzbrennweitige Linse" dargestellt ist.



Die eisengekapselte Spule als kurzbrennweitige Linse.

### Aufgaben:

3. Nehmen Sie den axialen Verlauf  $B_z(z, r=0)$  mit der Hallsonde (Längssonde) auf.
4. Nehmen Sie den radialen Verlauf  $B_z(z=0, r)$  mit der Quersonde auf.  
Vergleichen Sie beide Messungen an der Stelle  $r=0$  und  $z=0$  (Eichung!).
5. Berechnen Sie die Brennweite der Linse mit der Formel (2) auf Grund einer Planimetrierung der Kurve  $B_z^2(z, r=0)$  bei dem Erregungsstrom 1A und der Elektronenenergie 50 keV.
6. Muß man hier relativistisch rechnen?
7. Ist das Resultat von 5. mit der Formel (2) verträglich?

## Literatur:

- 1) E. Brüche, O. Scherzer  
Geometrische Elektronenoptik  
Berlin: 1934
- 2) W. Glaser  
Grundlagen der Elektronenoptik  
Wien: 1952
- 3) J. D. Jackson  
Classical Electrodynamics  
New York, London, Sydney: John Wiley & Sons, 1967
- 4) Bergmann, Schäfer  
Lehrbuch der Experimentalphysik  
Band 3, Optik  
Berlin, New York 1987
- 5) Walter Greiner  
Theoretische Physik, Bd.3  
Elektrodynamik



# **Institut Dr. Förster**

## Beschreibung und Bedienungsanleitung für den Magnetfeldmesser Typ 1.581

Institut für angewandte Physik

Volltransistorisiertes Gerät für Netzanschluß zur  
schnellen und genauen Messung von Magnetfeldern  
und Magnetfelddifferenzen.

# I n h a l t

	<u>Seite</u>
Positionstafel .....	3
Blockschaltbild .....	4
1.0 Arbeitsweise .....	5
1.1 Erläuterung zum Blockschaltbild .....	5
2.0 Bedienung .....	7
2.1 Inbetriebnahme .....	7
2.2 Messung von Magnetfeldern .....	7
2.3 Messung von Magnetfeld-Gradienten .....	10
3.0 Technische Daten .....	15
3.1 Meßbereiche .....	15
3.2 Meßgenauigkeit .....	15
3.3 Magnetfeldkompensation .....	15
3.4 Hallgeneratoren .....	16
3.5 Sonden .....	16
3.6 Schreiber Ausgang .....	16
3.7 Oszillographenausgang .....	17

## Anhang

Hallgeneratoren Allgemein  
Schaltbild  
Sondendatenblatt

Umschalter  
Feld - Gradient

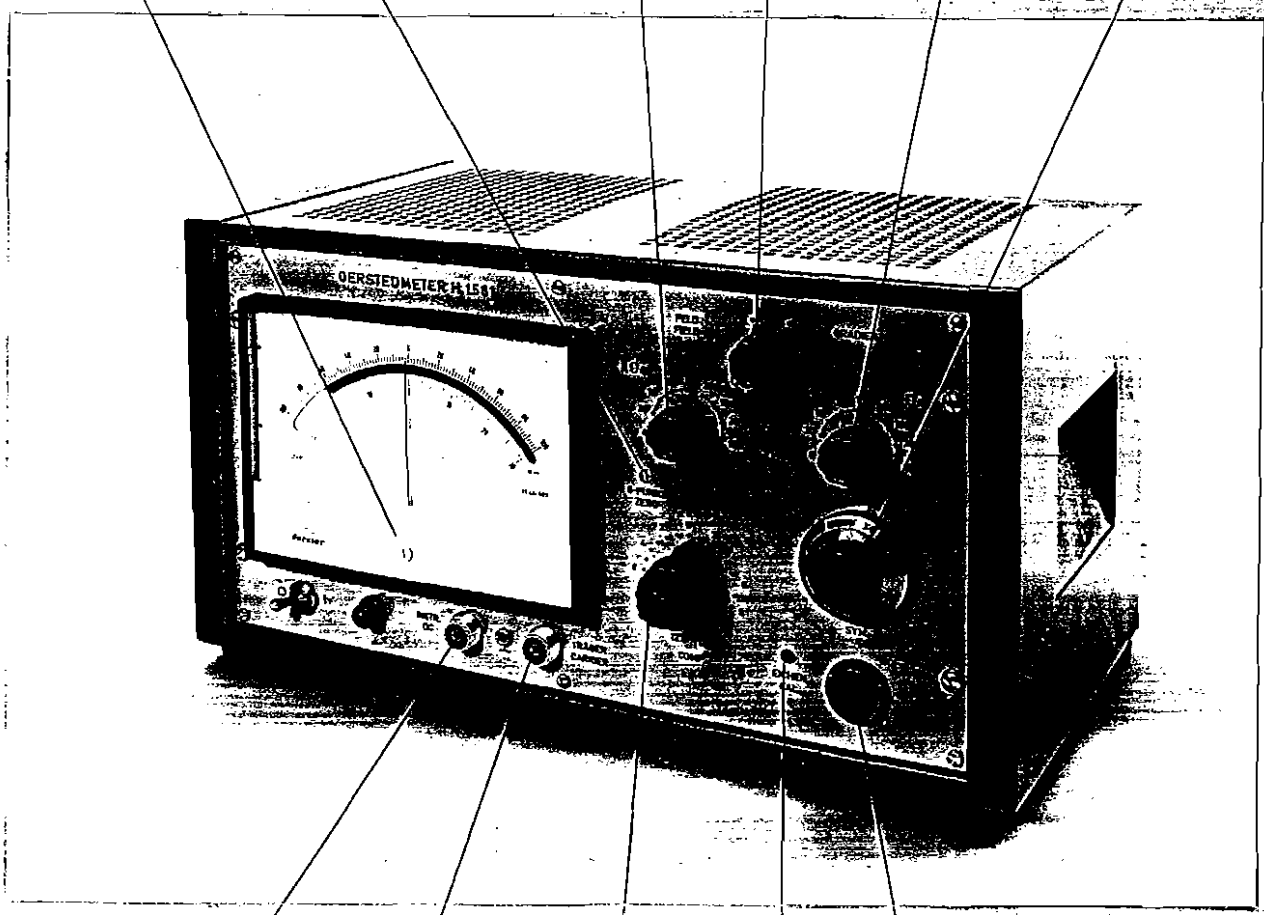
Stellschraube  
für mech.  
Nullpunkt

Stellschraube  
für elektr.  
Nullpunkt

Bereichschalter  
für Feldmessung

Bereichschalter  
für Gradienten-  
Messung

Symmetrie-  
steller



Schreiber  
Ausgang

Oszillographen-  
Ausgang

Steller für  
Feldkompensation

Stellschraube  
Eichen

Sondenanschlußdose

Positionstafel für Oerstedmeter H Typ 1.581



Diese Zeichnung darf ohne Genehmigung weder vervielfältigt noch  
 dritten Personen im Original oder als Kopie ausgehändigt werden.  
 Eigentums- und Urheberrecht vorbehalten.

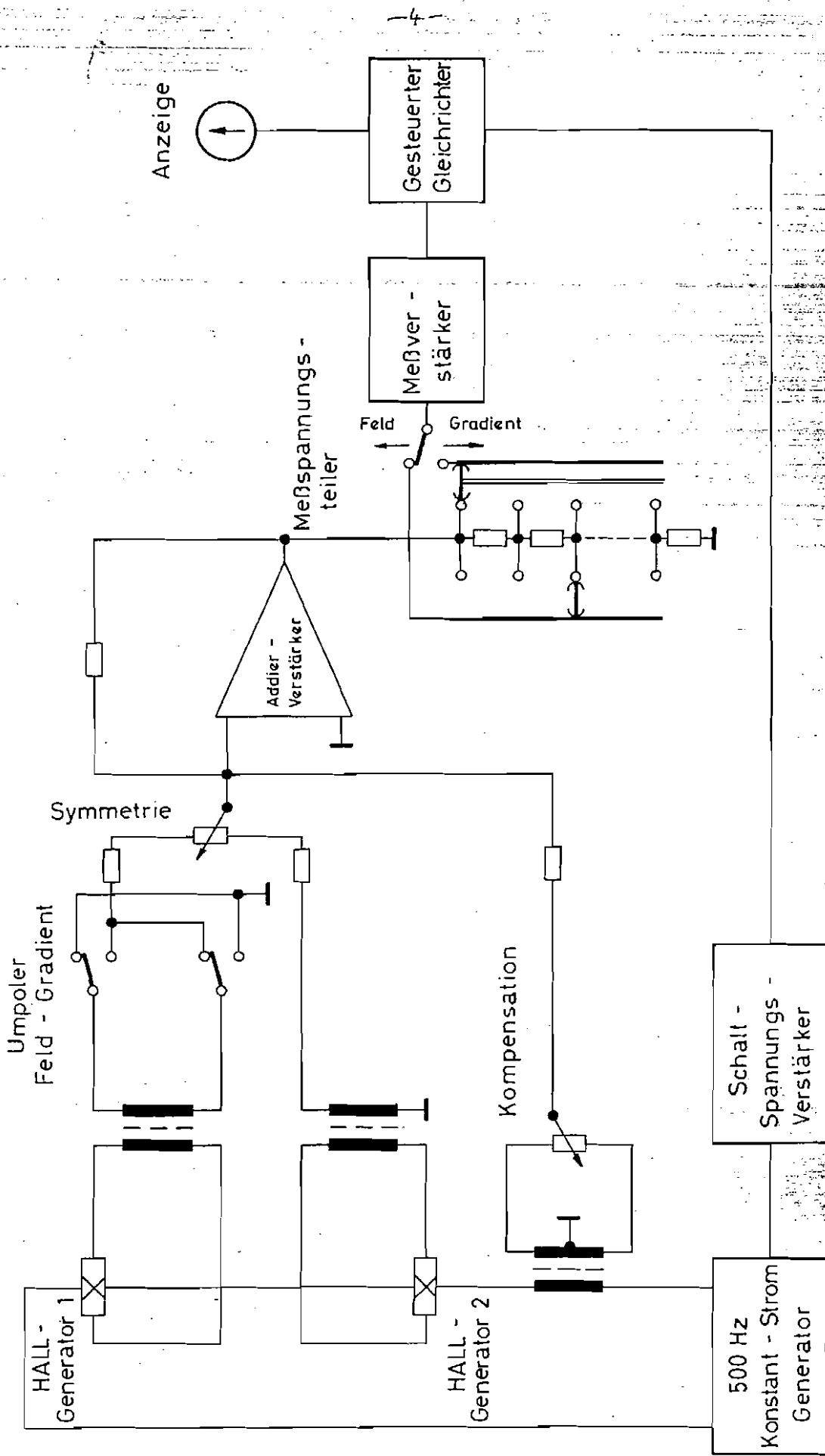


Bild 1.1.a

Institut Dr. Förster Reutlingen		
gez.	31. 3. 66	<i>Flora A</i>
gepr.		
des.		

Blockschaltbild des  
Magnetfeldmesser

1.581
Blatt von

Abt.
Ausg.
Dat.

## 1.0 Arbeitsweise des Magnetfeldmessers Typ 1.581

### 1.1 Blockschaltbild

Bild 1.1 a zeigt ein Blockschaltbild des Magnetfeldmessers. Ein Generator erzeugt einen eingepprägten Wechselstrom der Frequenz 500 Hz, welcher als Steuerstrom der in Serie geschalteten Hallgeneratoren dient. Wirkt auf die Hallgeneratoren ein Magnetfeld, so tritt an deren Hallspannungsklemmen eine Wechselspannung mit der Frequenz des Erregerstromes auf, deren Größe dem Produkt aus Magnetfeldstärke und Steuerstromstärke proportional ist. Beide Hallgeneratoren sind über Anpaßtransformatoren mit dem Eingang eines Addierverstärkers verbunden. Mit Hilfe eines Umpolers kann die Ausgangsspannung eines Hallgenerators zu der des anderen addiert oder auch davon subtrahiert werden. Am Ausgang des Addierverstärkers tritt Wechselspannung auf, deren Größe der Summe oder der Differenz der auf die beiden Hallgeneratoren wirkenden Feldstärke proportional ist, je nach Stellung des Umpolers. Der Betrieb des Gerätes mit 2 Hallsonden erlaubt es, Feldunterschiede zwischen zwei verschiedenen Orten mit räumlich getrennten Sonden zu messen, aber auch Gradientenmessungen auszuführen. Zu diesem Zweck sind die Hallgeneratoren in einer Halterung sehr nahe beieinander eingebaut. Da man einen der beiden Hallgeneratoren umpolen kann, ist es möglich, mit einer Sonde sowohl Gradienten als auch absolute Felder zu messen. Die Meßempfindlichkeit kann dabei für beide Betriebsarten getrennt gewählt werden, und schaltet sich automatisch um, wenn man z.B. von Feldmessung auf Gradientenmessung schaltet.

Sollen nur Absolutfeldstärken gemessen werden, so wird das Gerät mit nur einem Hallgenerator betrieben, der zweite Eingang bleibt unbenutzt.

Am Ausgang des Addierverstärkers liegt ein Präzisionsspannungsteiler, welcher durch zwei Schalter abgegriffen wird, einmal durch den Schalter, der bei Feldmessungen die Empfindlichkeit bestimmt, dann durch den Schalter, der bei Gradientenmessungen eine evtl. andere Empfindlichkeit bestimmt.

Die Ausgangsspannung des Spannungsteilers wird einem Meßverstärker zugeführt und mit einem phasengesteuerten Gleichrichter für die Anzeige gleich gerichtet. Der phasengesteuerte Gleichrichter gibt die Möglichkeit, sowohl die Größe, als auch die Richtung des gemessenen Magnetfeldes zu bestimmen. Die Schalt- oder Referenzspannung, die dem Gleichrichter zugeführt werden muß, wird aus dem Sondenerregerstrom abgeleitet.

Hallgeneratoren liefern an ihren Ausgangsklemmen auch eine, verhältnismäßig kleine, Spannung, ohne daß ein Magnetfeld auf sie einwirkt. Damit diese Spannung keine Anzeige hervorruft, muß sie kompensiert werden. Es ist zu diesem Zweck ein Transformator in Serie zu den beiden Hallgeneratoren geschaltet, an dessen Sekundärwicklung eine Wechselspannung der Frequenz 500 Hz auftritt. Ein Teil dieser Spannung wird auf den Eingang des Addierverstärkers geschaltet und kompensiert die Störspannung der Hallgeneratoren.

Auch Magnetfelder, die auf die Sonde einwirken, aber keine Anzeige hervorrufen sollen, können, bis zu einer bestimmten Größe, kompensiert werden.

## 2.0 Bedienung

### 2.1 Inbetriebnahme des Gerätes

Vor dem Einschalten des Netzschalters muß der Zeiger des Meßinstrumentes auf Null stehen (mechanischer Nullpunkt).

Nach Anschluß der Meßsonde und Einschalten am Netzschalter ist das Gerät sofort betriebsbereit (keine Anheizzeit, da transistorbestückt).

### 2.2 Messung von Magnetfeldern

Zur Messung von Magnetfeldern sind folgende Bedienungsvorgänge auszuführen.

2.2.1 Umpoler auf Stellung "Feld"

2.2.2 linker Bereichschalter auf Stellung "0"

2.2.3 Zeiger des Meßinstrumentes auf Null stellen, falls notwendig, und zwar an der Schlitzwelle, welche nahe der Nullstellung des linken Bereichschalters liegt. (Elektrischer Nullpunkt)

2.2.4 Meßsonde in feldfreien Raum bringen, linken Bereichschalter auf Stellung 10 Oe. Am Kompensationsschalter mittels Grob- und Feinsteller Zeiger des Meßinstrumentes auf Null stellen. (Kompensation der ohm'schen Nullkomponente des Hallgenerators)

2.2.5 Eichen des Gerätes

#### 2.2.5.1 Allgemeines

Für die Eichung des Gerätes stehen verschiedene Eichnormalien zur Verfügung. Diese Eichnormalien

enthalten Permanentmagnete und haben einen Luftspalt, in dem, innerhalb eines abgegrenzten räumlichen Bereichs, ein homogenes Magnetfeld herrscht.

Größte Meßgenauigkeit wird erzielt, wenn die Stärke des Magnetfeldes des Eichnormalis in der gleichen Größenordnung liegt, wie das zu messende Feld. Bild 2.2.5 a soll dies erläutern.

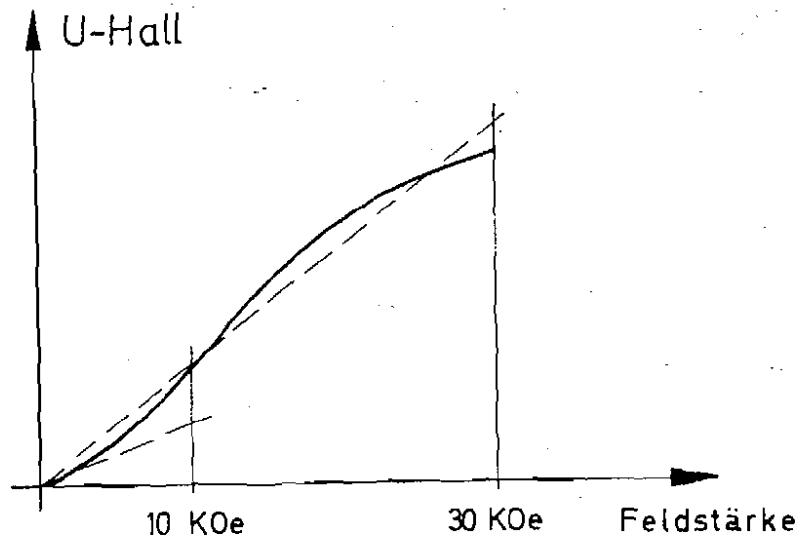


Bild 2.2.5 a

Es ist die Ausgangsspannung (Hallspannung) eines Hallgenerators in Abhängigkeit von der auf ihn wirkenden Magnetfeldstärke dargestellt. Wie die ausgezogene Kurve zeigt, ist der Zusammenhang zwischen Hallspannung und Feldstärke nicht ganz linear (im Bild 2.2.5 a ist die Kurve übertrieben gekrümmt gezeichnet). Die Kurve schlängelt sich, bei richtigem Anschlußwiderstand des Hallgenerators, um die ideale gerade Linie. (Siehe dazu auch Siemens Halbleiter Datenbuch für Industrie Typen, Kapitel 2.11 "Hallgeneratoren".) Wird eine Sonde z.B. (siehe Bild 2.2.5 a) bei 10000 Oersted geeicht,

an einem Punkt also, wo beispielsweise zufällig die nicht ideale Kurve die ideale Gerade schneidet, so liegt dieser Eichung die Steilheit der idealen Geraden zugrunde. Soll mit dieser Eichung im empfindlichsten Bereich des Gerätes, dem 10 Oersted Bereich gemessen werden, wird sich eine etwas zu kleine Anzeige einstellen, weil die Steilheit der Kurve im Ursprung nicht mit der Steilheit der idealen Geraden übereinstimmt. Die zu erwartenden Abweichungen sind bei den einzelnen Hallgeneratortypen, je nach Anwendungszweck, verschieden. Für Feldstärken bis etwa 3000 Oersted bestehen die oben beschriebenen Probleme nicht, weil das in diesem Bereich liegende Stück der Kurve im Bild 2.2.5 a mit sehr guter Näherung stets als Gerade angenommen werden kann.

Für jeden Hallgenerator wird auf Wunsch eine genaue Eichkurve bis zu einer Feldstärke von 30 000 Oersted geliefert.

#### 2.2.5.2 Maßeinheit für die magnetische Feldstärke

Der Feldstärkemesser Typ 1.581 ist in Oersted geeicht.

$$\text{Es ist} \quad 1 \text{ Oersted} = 0,796 \frac{\text{A}}{\text{cm}}$$

Häufig wird die magnetische Feldstärke in Gauß also der Maßeinheit für die magnetische Induktion, angegeben. In Luft ist die magnetische Feldstärke in Oersted maßzahlgleich der magnetischen Induktion in Gauß; weil die relative Permeabilität von Luft den Wert 1 hat. Die magnetische Feldstärke H und die Induktion B sind aber zwei physikalisch vollkommen verschiedene Begriffe und es muß stets daran erinnert werden, daß die Maßzahlgleichheit nur in Luft besteht.

#### 2.2.5.3 Vorgang der Eichung

Meßbereichschalter auf einen Bereich stellen, in den, der auf das Eichnormal gedruckte Feldstärkewert fällt.

Sonde in den Spalt des Eichmagneten halten. Der angezeigte Wert kann, falls nötig, an der Schlitzwelle, welche links neben dem Sondenstecker liegt, korrigiert werden.

Nach diesen Vorbereitungen ist das Gerät für Magnetfeldmessungen bereit.

## 2.3 Messung von Magnetfeld-Gradienten

### 2.3.1 Allgemeines

Zur Messung von Gradienten verwendet man zwei Hallgeneratoren, deren Meßsystem einen möglichst geringen Abstand voneinander haben. Die von diesen Generatoren gelieferten Hallspannungen werden voneinander subtrahiert, so daß keine Meßanzeige erfolgt, wenn die ganze Meßsondenanordnung einem homogenen Magnetfeld ausgesetzt wird. Dies gilt jedoch nur, wenn bei beiden Hallgeneratoren die Hallspannung ideal linear von dem auf sie wirkenden Magnetfeld abhängt. Derartige Hallgeneratoren gibt es nicht.

Bild 2.3.1 a zeigt, stark übertrieben, das Verhalten wirklicher Hallgeneratoren.

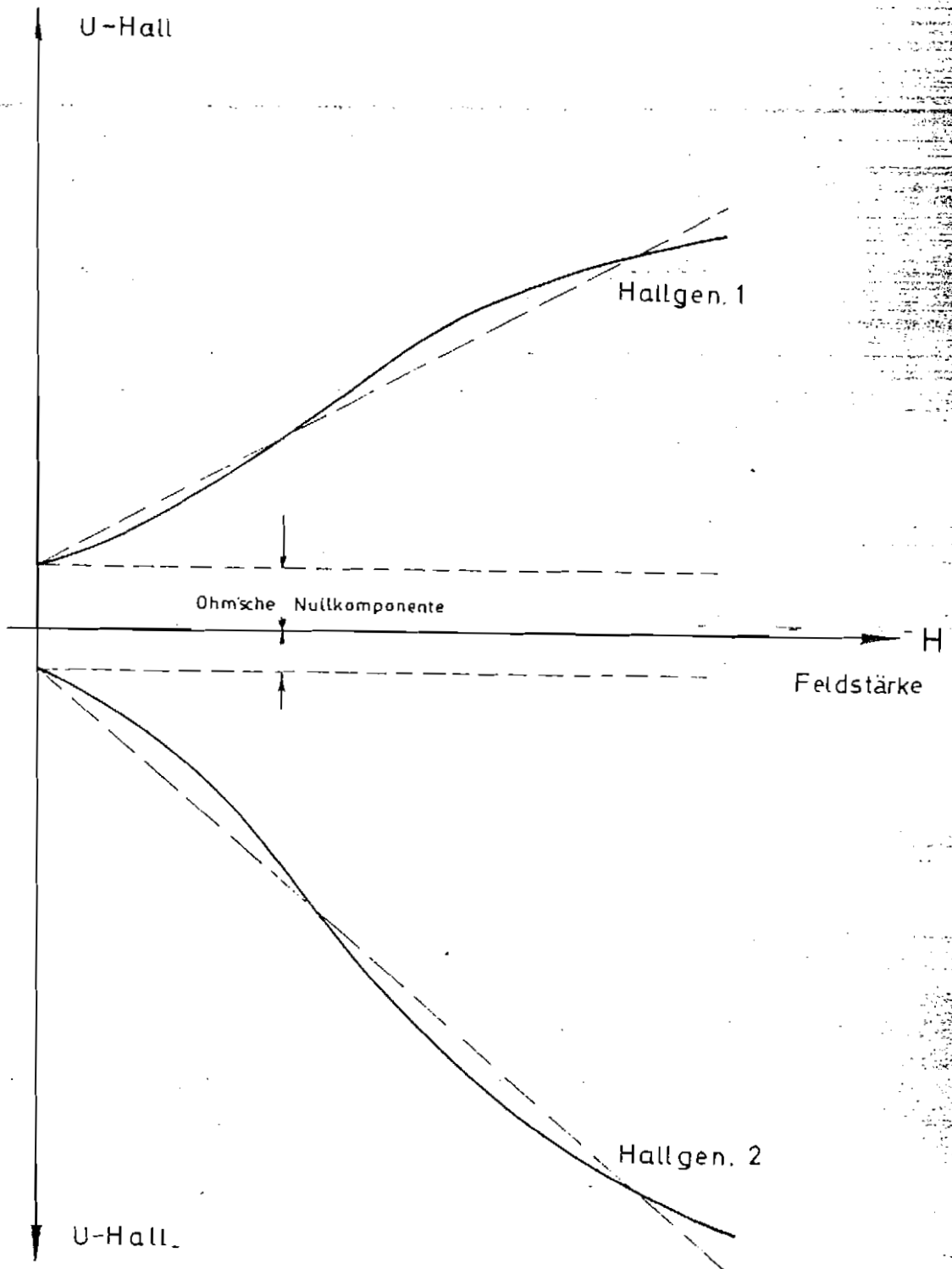


Bild 2.3.1 a Kennlinien von Hallgeneratoren



Es treten die folgenden Abweichungen vom idealen Verhalten auf:

Jeder Hallgenerator hat eine sog. ohm'sche Nullkomponente, d. h. er liefert Spannung, ohne daß ein Magnetfeld auf ihn wirkt. Die Polarität dieser Spannung, bezogen auf das Meßfeld, liegt nicht fest.

Diese Spannung, oder auch die Summe beider Spannungen, bei Verwendung zweier Generatoren, wird mit einer einstellbaren Spannung kompensiert. In der Größenordnung entspricht sie etwa einer Hallspannung, die durch ein Magnetfeld von einigen Oersted erzeugt wird. Die ohm'sche Nullkomponente hat also nur Bedeutung, wenn verhältnismäßig kleine Magnetfelder gemessen werden sollen; ihre Temperaturabhängigkeit kann beträchtlich sein.

(Ca. 0,1 Oe / °C)

Weiterhin haben Hallgeneratoren unterschiedliche Empfindlichkeiten, was sich in Bild 2.3.1 a durch verschiedene Neigungen der gestrichelten Geraden ausdrückt. Setzt man also zwei Hallgeneratoren einem homogenen Magnetfeld aus und subtrahiert deren Spannungen, so erhält man nicht die Differenz Null, d. h. es wird ein Gradienten vorgetäuscht.

Der Ungleichheit begegnet man dadurch, daß man die Hallspannungen nicht gleich verstärkt. Diesem Zweck dient der "Symmetrie-Steller". Verstellt man diesen, so nimmt z.B. die Verstärkung der von dem einen Hallgenerator kommenden Spannung zu, die der von dem anderen Hallgenerator kommenden Spannung aber ab. Auf diese Weise läßt sich die Differenz zu Null machen.

Die Hallspannung, in Abhängigkeit von dem, auf den Hallgenerator wirkenden, Magnetfeld, ist keine genau lineare Funktion. Dies ist in Bild 2.3.1 a durch die ausgezogenen Kurven dargestellt. Die Folge ist, daß der oben beschriebene Symmetrie-Ableich nur bei einem einzigen Wert des, auf die Hallgeneratoren wirkenden, Magnetfeldes ideal möglich ist.

Umpoler auf Stellung "Feld". An der mit "Eichen" bezeichneten Schlitzwelle den Feldwert einstellen, der auf dem Eichmagneten angegeben ist. Umpoler wider auf Stellung "Gradient" stellen. Rechten Bereichschalter auf Stellung 300, 100 oder 30 Oe stellen und an dem Symmetrie-Steller den Ausschlag des Meßinstrumentes auf "Null" bringen.

Das Gerät ist jetzt für Messung von Gradienten, die bei einer Absolutfeldstärke, welche kleiner oder gleich der Feldstärke des Eichmagneten ist, auftreten, zur Messung bereit.

Es ist zu beachten, daß die genaue Paarung der Hallgeneratoren nur für die Magnetfeldrichtung richtig ist, welche auf dem Anzeigeinstrument bei Umpolerstellung "Feld" einen positiven Ausschlag des Anzeigeinstrumentes hervorruft.

#### 2.3.2.5 Sehr genaue Messungen von Gradienten.

Sehr genaue Messungen von Gradienten, welche die nicht ideale Paarung der Hallgeneratoren berücksichtigen und den dadurch entstehenden Fehler ausschalten, erfordern einen größeren Aufwand. Es wird ein Elektromagnet mit Luftspalt benötigt, in dem sich alle Feldstärkenwerte, in denen ein Gradient gemessen werden soll, einstellen lassen. An dem Ort, an dem ein Gradient gemessen werden soll, wird zuerst die Absolutfeldstärke gemessen. Dies kann mit der kombinierten Feld- und Gradientensonde Typ 1599-103 geschehen. Sodann wird ein Feld gleicher Stärke, das aber homogen ist, in dem Elektromagneten erzeugt und die Sonde in dieses Feld eingebracht. Der Umpoler des Feldmessers ist auf Stellung "Gradient" zu legen und danach der Ausschlag auf dem Meßinstrument, bei hoher Empfindlichkeit des Gerätes, am Symmetriesteller auf Null zu bringen. Wichtig ist, daß die Sonde in Stellung "Feld" genau geeicht wurde und das Feld im Luftspalt des Elektromagneten wirklich in hohem Maße homogen ist.

Nach dieser Einstellung sind die Hallgeneratoren bei dem einen Feldstärkewert ideal gleich gemacht. Da jetzt kein Gradient mehr vorgetäuscht wird, durch Ungleichheit der Hallgeneratoren, lassen sich auch kleine Gradienten mit guter Genauigkeit bestimmen.

Für jede andere Absolutfeldstärke müssen alle Einstellungen, wie oben beschrieben, erneut vorgenommen werden.

Als Beispiel sei genannt, daß sich mit dieser Methode ein Gradient von 10 Ge/mm in einem Absolutfeld von 25 000 Oersted, bei sorgfältiger Einstellung, noch mit einer Genauigkeit von ca. 5 % bestimmen läßt.

### 3.0 Technische Daten

#### 3.1 Meßbereiche

Meßbereiche für Felder und Felddifferenzen an zwei Bereichschaltern getrennt einstellbar.

Wählbare Bereiche: 10, 30, 100, 300, 1000, 3000,  
10 000, 30 000 Oersted.

#### 3.2 Meßgenauigkeit

Die Meßgenauigkeit hängt nicht von dem Meßgerät, sondern nur von der verwendeten Sonde ab. Sie ist dem jeweiligen Datenblatt, das jeder Sonde beigegeben wird, zu entnehmen.

#### 3.3 Feldkompensation

Magnetfelder, die auf die Sonde wirken können, je nach verwendeter Sonde, bis zu einer Größe von 200 - 1000 Oersted kompensiert werden. Hierzu ist ein Grobsteller mit  $\pm$  12 Stufen und ein 10 gängiger Feinsteller vorhanden.

### 3.4 Verwendbare Hallgeneratoren

Es lassen sich alle Hallgeneratoren mit dem Gerät betreiben, welche einen steuerseitigen Innenwiderstand nicht größer als 45 Ohm haben, und deren Empfindlichkeit größer als 40 mV/A.KOe ist. (Alle Hallgeneratoren, welche von der Firma Siemens hergestellt werden, erfüllen diese Forderungen außer den Typen mit Aufdampfschicht. (Siehe Siemens Halbleiter Datenbuch Industrietypen (Seite 502 ff.) Werden zwei Hallgeneratoren gleichzeitig betrieben, so darf die Summe der steuerseitigen Innenwiderstände nicht größer als 45 Ohm sein.

### 3.5 Liste der lieferbaren Sonden und der darin eingebauten Hallgeneratoren.

<u>Sondentyp</u>	<u>Hallgenerator-Typ</u>	
1599 - 013	TC 21	Siemens
1599 - 023	TC 21	Siemens
1599 - 033	RHY 10	Siemens
1599 - 043	RHY 10	Siemens
1599 - 053	SBV 525	Siemens
1599 - 063	SBV 525	Siemens
1599 - 073	RHY 19	Siemens
1599 - 083	FA 22 e	Siemens
1599 - 093	FC 33	Siemens
1599 - 103	2 x TC 21	Siemens

### 3.6 Schreiber Ausgang

Der Schreiber Ausgang des Gerätes, der mit "Instr." bezeichnet ist, liefert für Skalenvollausschlag eine Gleichspannung von 1 Volt  $\pm$  1 %. Der Innenwiderstand ist kleiner als 1 Ohm, der maximal entnehmbare Strom 2 mA, entsprechend 500 Ohm Belastungswiderstand. Der lineare Bereich am Schreiber Ausgang reicht bis 2 V, die Spannung ist also bei Übersteuerung bis auf 2 volle Skalen des Meßinstrumentes noch proportional dem Magnetfeld, das auf die Sonde wirkt.

Eichmagnete für Oerstedmeter (5) Hallgeneratoren

Typ	Feldstärke im Spalt	Genauigkeit	Luftspalt	geeignet für Sonden	Förster Typ
RFL HB 16572	100 oder 200 oder 500 Oe	± 1 %	3,96 mm	-053, -063, -073 -083, -093, -103	1.596-001
RFL HB 16574	1000 oder 2000 Oe	± 0,75 %	3,96 mm	-053, -063, -073 -083, -093, -103	1.596-002
RFL HB 16576	5000 Oe	± 0,75 %	3,96 mm	-053, -063, -073 -083, -093, -103	1.596-003
RFL HB 16655	5 oder 10 oder 20 Oe	± 1,5 %	8,7 mm	-053, -063, -073 -083, -093, -103	1.596-004
RFL HB 16570	50 oder 100 oder 200	± 1 %	8,7 mm	-053, -063, -073 -083, -093, -103	1.596-005
RFL HB 9657	10 000 Oe	± 0,75 %	1 mm	-063, -073, -083	1.596-006
LMM	12 500 Oe	± 1 %	2,5 mm	-063, -073, -083 -093, -103	1.596-007
Magna Ohm	ca. 15 000 Oe	± 1,5 %	3 mm	-063, -073, -083 -093, -103	1.596-008
LMM	20 000 Oe	± 1 %	2 mm	-063, -073, -083	1.596-009
IFR	1000 Oe	± 2 %	4 mm	-013, -023	1.596-010
RFL HB 11279	100 oder 500 Oe	± 1,5 %	7,94 mm Ø	-033, -043	1.596-011
RFL HB 21990	1000 oder 2000 Oe	± 1,5 %	7,94 mm Ø	-033, -043	1.596-012

Spezial-eichmagnete auf Anfrage

### 3.7 Oszillographenausgang

An dem Oszillographenausgang, der mit "Träger" bezeichnet ist, steht die verstärkte Ausgangsspannung des Hallgenerators, eine Wechselspannung der Frequenz 500 Hz. Ihr Wert beträgt 600 mV eff.  $\pm 5\%$  für Skalenvollausschlag. (Bei den empfindlichen Meßbereichen kann dieser Wechselspannung noch eine Störspannung überlagert sein, welche durch das Meßinstrument nicht angezeigt wird).

Wirkt ein magnetisches Wechselfeld auf die Meßsonde, so erscheint diese Wechselspannung moduliert. Aus der Modulationstiefe läßt sich mit dem Oszillographen die Stärke des Wechselfeldes bestimmen, allerdings mit verringerter Genauigkeit und nur für Feldfrequenzen bis ca. 60 Hz.

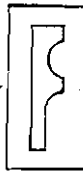
3.8 Stromversorgung: 220 V 35 Watt

### 3.9 Abmessungen, Gewicht

Länge:	400 mm
Tiefe:	235 mm
Höhe:	230 mm
Gewicht:	9 kg

Institut für angewandte Physik

Fortgeschrittenen-Praktikum



# Institut Dr. Förster

## 4.0 Hallgeneratoren

### Fortgeschrittenen-Praktikum

#### Allgemeines

#### 4.0.1 Grundsätzliches

Hallgeneratoren sind Bauelemente der Elektrotechnik, die auf der technischen Ausnutzung des Halleffektes beruhen. Als Halleffekt wird folgende Erscheinung (Bild 1) bezeichnet.

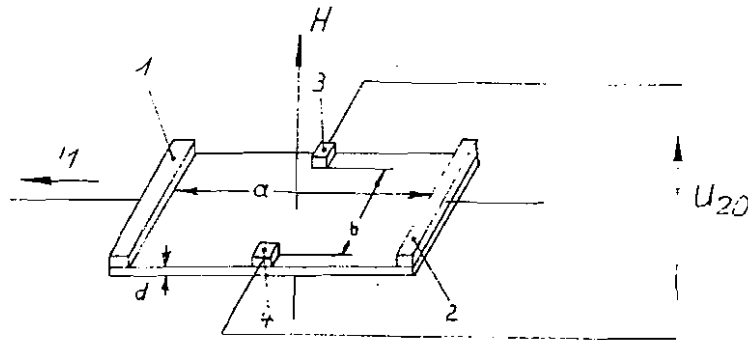


Bild 1

Ein langgestrecktes Plättchen aus geeignetem Material von der Dicke  $d$  wird in der Längsrichtung von einem Strom  $i_1$  (Steuerstrom) durchflossen und senkrecht zur Fläche von einem Magnetfeld  $H$  (Steuerfeld) durchsetzt. Bei gleichzeitiger Einwirkung dieser beiden Steuergrößen entsteht zwischen den Punkten 3 und 4 eine Potentialdifferenz. (Leerlaufhallspannung  $U_{20}$ ), deren Größe gegeben ist durch

$$(1) \quad U_{20} = \frac{Rh}{d} \cdot i_1 \cdot H$$

$R_h$  ist eine Materialkonstante (Hallkonstante).

Formel (1) zeigt das für die Anwendung wesentlichste Merkmal des Halleffektes, nämlich die Darstellung des Produktes zweier elektrischer Größen (Strom und magnetische Feldstärke) wieder als elektrische Größe.

#### 4.0.2 Aufbau der Hallgeneratoren

Das Plättchen mit seinen metallisch leitenden Elektroden und den Zuführungsdrähten wird "elektrisches System" des Hallgenerators genannt. Die Elektroden 1 und 2 sind für die Zuführung des Steuerstromes, die Elektroden 3 und 4 für die Abnahme der Hallspannung ausgebildet.

Die Dicke des Plättchens beträgt normalerweise 0,1 mm oder weniger. Zum Schutz gegen mechanische Beanspruchung ist das Plättchen von einem Mantel von Gießharz oder Keramik umgeben.

#### 4.0.3 Abschlußwiderstand für lineare Anpassung im Steuerfeldbereich $H = 0$ bis $H = H_n$ ( $H_n = 30000$ Oe)

Bild 2 zeigt die Abhängigkeit der Hallspannung vom Steuerfeld  $H$  für verschiedene Abschlußwiderstände  $R_z$  eines Hallgenerators der Type TC 21. Auf der Y-Achse ist die Ausgangshallspannung und auf der X-Achse das Steuerfeld  $H$  aufgetragen. Wie man sieht, wird die beste Linearität nur bei einem bestimmten  $R_z$  erreicht.

Der Abschlußwiderstand  $R_z$  ist im Sondenanschlußstecker untergebracht.



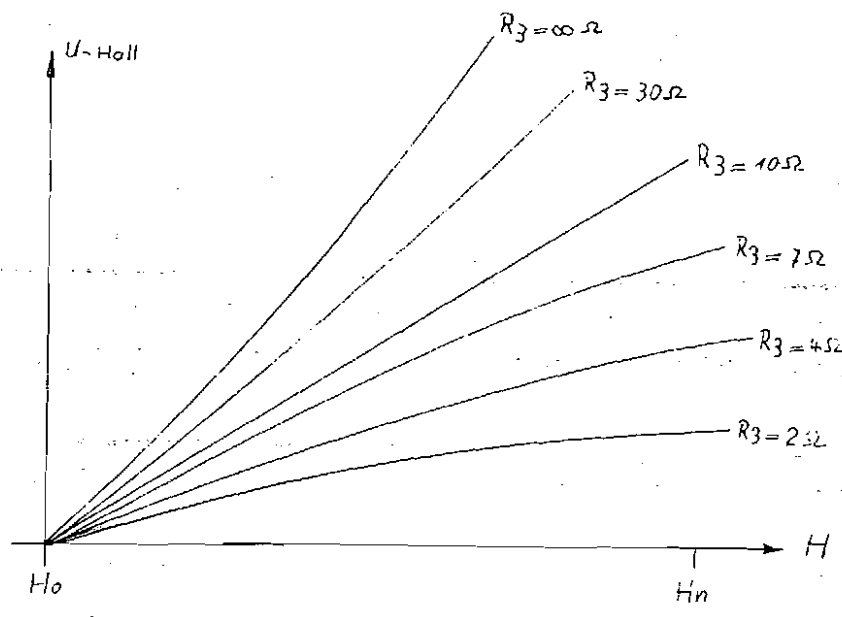


Bild 2

4.0.4 Wirksame Meßfläche

Die wirksame Meßfläche des Hallgenerators wird gebildet aus der Länge  $a$  und der Breite  $b$  aus Bild 1.

4.0.5 Die Ohmsche-Nullkomponente

Aus fertigungstechnischen Gründen ist der Hallspannung im Allgemeinen noch ein kleiner ohmscher Spannungsanteil überlagert. Sein Steuerfeld  $H_0$  steht daher an den Hallelektroden eine Spannung. Diese Spannung kann positiv oder negativ gerichtet sein.

$$U_{RO} = R_0 \cdot i_1$$

#### 4.0.6 Nullpunktdrift

Die Nullpunktdrift kommt von der Temperaturabhängigkeit der Ohmschen Nullkomponente. Ihr Wert beträgt etwa  $0,01 - 0,1 \text{ Ge}/^\circ \text{C}$ .

#### 4.0.7 Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Temperatur

Die Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit ist bei jedem Hallgeneratoren-Typ verschieden. Sie schwankt etwa zwischen  $0,04 - 0,1 \text{ \%}/^\circ \text{C}$ .

#### 4.0.8 Linearisierungsfehler

Der Linearisierungsfehler sagt aus, welcher max. Meßfehler über den ganzen Bereich gesehen auftreten kann, bezogen auf den Bereichsendwert  $I_H$ .

#### 4.0.9 Linearitätsabweichung E

Auch bei bester Linearisierung nach Absatz 4.0.3 ist die Arbeitskennlinie des Hallgenerators nicht ganz linear.

Es wird eine Gerade so durch die wirkliche Hallkennlinie gelegt, daß die Abweichung E nach oben oder unten gleich groß ist.

Die Abweichung von der Idealkennlinie an irgend einem Punkt zwischen  $H=0$  und  $H=H_n$  wird als E bezeichnet.