

**Verwertung  
magnetischer Messungen  
zur Mutung  
von  
Dr. A. Nippoldt**

**Verwertung magnetischer Messungen  
zur Mutung**

# Verwertung magnetischer Messungen zur Mutung

für Geologen und Bergingenieure

Von

Professor Dr. Alfred Nippoldt

Leiter des Magnetischen Observatoriums  
Potsdam-Niemegk

Mit 19 Abbildungen im Text  
und 36 Tafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1930

ISBN 978-3-662-35457-5      ISBN 978-3-662-36285-3 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-36285-3

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Copyright 1930 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1930.  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1930

## Vorwort.

Das vorliegende Buch ist für Praktiker geschrieben, für Leute, die aus magnetischen Messungen über Tage auf den Bau der obersten Erdkruste Schlüsse ziehen wollen, also für Bergingenieure und Geologen. Es ist dementsprechend nach praktischen Gesichtspunkten verfaßt und arbeitet auf eine Weise, die ein Mann dieser Berufe ohne weitere Vorstudien versteht.

Die Methode, wie es arbeitet, ist neu: der einzige Ausgangspunkt ist alter Besitz der Wissenschaft. Die Ergebnisse decken sich in den Fällen, die schon in der Literatur behandelt worden sind, vollkommen mit den auf schwierigere Denkweisen hin erhaltenen. Das liegt an der günstigen Tatsache, daß die Reihenfolge der logischen Schlüsse für das Resultat nebensächlich ist, wenn die Prämissen gleich sind.

Natürlich kann nicht die ganze Fülle der in der Natur vorhandenen Möglichkeiten erschöpft werden, sondern es ist eine Auswahl zu treffen. Hoffentlich ist sie so geschickt besorgt, daß sich das Buch auch hierin als für den Praktiker brauchbar erweist. Darüber hinaus wird aber jeder in die Lage versetzt und befähigt, sich die Typen, die seinem Sonderfall am besten entsprechen, selbst abzuleiten, wenn er es wünscht, und zwar stets auf die eine einzige einfache Methode, mit der die Typen, die das Buch bringt, erhalten sind.

Für das Verfahren, aus geophysikalischen Messungen den Bau der Erdrinde zu ergründen, gebrauchen wir das Wort „Mutung“. Der Ausdruck stammt aus der deutschen Bergmannssprache. Muten heißt, aus allerlei Anzeigen Schlüsse auf die Lage von nützlichem Gestein zu ziehen. Die Schlüsse können jedoch offenbar auch gezogen werden, wenn die Gesteine nicht unmittelbar bergmännisch nützlich sind; wir muten auch auf den Bau, wenn wir nur überhaupt irgendwelche geologischen Interessen haben. Das ist indirekt ebenfalls nützlich, und so paßt das Wort Mutung gut für den Zweck des Verfahrens. Das andere bergmännische Wort „Schürfung“, das auch vorgeschlagen wird, enthält schon die Vorstellung des Weg-grabens, rückt also das unmittelbar materiell Nützliche zu sehr in den Vordergrund. Die Bezeichnung „Aufschlußverfahren“, die jetzt immer mehr sich durchdrücken will, ist mir sprachlich zu unschön, als daß ich sie weiter empfehlen möchte.

Das Buch befaßt sich nur mit der Technik, aus magnetischen Messungen zu muten; es befaßt sich nicht damit, Anleitungen zu magnetischen Beobachtungen zu geben.

Solche Anleitungen gibt es schon in vielen der neuerlich sehr zahlreichen Werke über geophysikalische Aufschlußverfahren. Darüber verbreiten sie sich meist sehr ausführlich; dagegen schweigen sie oft über die Kunst der Verwertung der Messungen zur wirklichen Deutung vollkommen — weil dies das Geschäftsgeheimnis der Mutungsfirmen ausmacht. Gerade hierin aber ruht die Kraft der ganzen Mutungstechnik. Nur einzelne Werke und Abhandlungen von Gelehrten äußern sich zu diesem Teil der Aufgabe.

Der Hauptinhalt unseres Buches besteht in den Tabellen und Kurven der typischen Einzelfälle. Der begleitende Text versucht stilistisch so einfach wie möglich zu sein, damit auch der Ausländer ihn leicht versteht. Es ist nun einmal Tatsache, daß die geophysikalischen Mutungen am meisten draußen auf der ganzen Erde angewandt werden und weniger in den europäischen Mutterländern, wo sie entstanden sind. Die gewählte Sprache enthält daher mehr im Deutschen entbehrliche Fremdworte als der Verfasser sonst zu gebrauchen pflegt. Es ist eben überall der praktische Gesichtspunkt zum maßgebenden gemacht worden.

Das Buch legt die Grundlinien eines neuen Verfahrens fest, kann dabei sich auf eine gewisse Erfahrung des Verfassers stützen, braucht aber zur endgültigen Beurteilung seiner Brauchbarkeit die Erfahrungen der Männer, die praktisch damit arbeiten wollen. Man darf nicht vergessen, daß mit den geophysikalischen Methoden sich etwas Neues anbahnt, daß wir erst am Anfang einer neuen Technik stehen, daß jede Technik sich erst heranbilden muß, und zwar aus gemeinsamem Bemühen von Theoretiker und Praktiker. Soweit sind wir hier heute noch nicht, vornehmlich aber deshalb, weil der Theoretiker die Werkzeuge — das Gezähe — noch nicht so handgerecht gemacht hat wie es der Praktiker verlangt.

Möge das vorliegende Buch dies Ziel erreichen!

Es ist mir ein Bedürfnis, der Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin, den besten Dank für ihr Eingehen auf die Wünsche des Verfassers bezüglich Satz und figürliche Ausstattung des Werkes auszusprechen. Auch hier waren die Anforderungen der Praxis ausschlaggebend. Insbesondere war es sehr wünschenswert, die Tafeln herausnehmbar zu heften, damit sie neben die textliche Beschreibung zu liegen kommen.

Berlin, im September 1930.

**Alfred Nippoldt.**

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung . . . . .	1
Der Einzelpol . . . . .	6
Polfolgen . . . . .	15
Der Magnet . . . . .	25
Die magnetische Platte . . . . .	37
Anwendung der Methode . . . . .	49
Der topographische Effekt. Elimination des Normalfeldes . . . .	62
Namen- und Sachverzeichnis . . . . .	73
Tabelle I und II sowie Tafeln I bis XXXVI in der Tasche am Schluß des Buches.	

## Einleitung.

Das in folgendem entwickelte Verfahren nimmt an, daß der Gang der magnetischen Intensitäten für Profile gemessen sei, d. h. für gerade oder annähernd gerade Linien quer durch das Untersuchungsgebiet.

Man kann die Beobachtungspunkte von vornherein auf solchen Querschnitten anordnen; man kann aber auch das Netz von Stationen flächenhaft anlegen, am besten das Gebiet schachbrettartig in Quadrate zerlegen und an allen Eckpunkten beobachten. Aus solchen flächenhaften Netzen kann man dann die auf einem Profil liegenden Punkte heraussuchen und so das magnetische Profil zeichnen.

In jedem Falle gelangt man zu solchen Profilen, und diese sind nun zu deuten, d. h. man hat Schlüsse auf die Gestalt, Teufe und Grenzen des störenden Körpers zu ziehen. Die Teufe ist nun offenbar dieselbe, einerlei ob man das Profil in dieser oder in jener Richtung gezogen hat. Aber die Urteile über Grenzen und die Gestalt des störenden Körpers werden meist sehr von der Richtung abhängen. Ist z. B. der Körper ein zylindrischer Stab, so wird er im Querschnitt senkrecht gegen seine Hauptachse nur ein schmales Störungsgebiet vermuten lassen, parallel zu der Längsachse wird er als Platte erscheinen.

Daraus ergibt sich die praktische Regel, an den wichtigen Stellen Profile in verschiedener Richtung zu ziehen und die Ergebnisse der Mutung zu vereinigen.

Als günstigstes Profil ist stets das anzusehen, was die schnellsten Änderungen der magnetischen Intensität aufweist. Unter Umständen wird man so lange messen, bis man diese Richtung gefunden hat. Das nächstwichtigste Profil ist das senkrechte dazu. Bezeichnet man wie üblich das Verhältnis der Änderung des magnetischen Elements zu der Entfernung auf der Erdoberfläche als den Gradienten, so heißt das: das beste Profil ist das mit dem größten Gradienten, das nächste beste jenes senkrecht dazu.

Kennt man die geologischen Zustände wenigstens in den Hauptzügen, so weiß man von Anfang an, in welcher Richtung die stärksten Gradienten zu erwarten sind. Sucht man z. B. den Einfluß einer Verwerfung, so wird man senkrecht gegen sie vorgehen. Sollte sich die Verwerfungslinie krümmen, so stehen dann die Profile nicht parallel zueinander.

Über einem eng umschriebenen störenden Vorkommen wird meist ein einzelnes solches Profilkreuz genügen; wo nicht, so mag man parallel zum ersten Profil ein zweites etwas seitlich anlegen. Aus dem Typus des Einzelpols ersehen wir, daß selbst ein idealer punktförmiger Pol nicht nur gerade über sich eine Störung hervorruft, sondern auch zur Seite wirkt. Diese Seitenwirkung muß natürlich auch bei einem seitlichen Profil zum Ausdruck kommen.

Aus den Besprechungen der einzelnen Typen geht hervor, daß allerlei einzelne Merkmale für die Deutung wichtig sind, vor allem Amplitudenwerte, namentlich die Maximal- oder Minimalstörungen, oft aber auch die kleinen Amplituden am Rande. Es ist notwendig, daß diese Daten sicher beobachtet werden, um so sicherer, je kleiner die Störung ist. Das benutzte Instrument muß somit die für die Zwecke geeignete Empfindlichkeit haben und die Beobachtungspunkte müssen an den wichtigen Stellen dicht genug liegen.

Hierbei kommt es nicht nur auf die eigentliche Empfindlichkeit an, also das Verhältnis von Intensitätsänderung zur Skalenteilung, sondern auch darauf, daß das Instrument, wieder an den gleichen Ort gebracht, und wenn nötig auf die inzwischen eingetretenen zeitlichen Variationen des Erdmagnetismus reduziert, stets denselben Stand zeigt. Bei wohl allen heute vorhandenen Meßapparaten für Lokalaufnahmen ist das nicht so ohne weiteres der Fall. Der Transport von einem zum anderen Ort kann Verlagerungen der beweglichen Massen hervorrufen oder der Lager, auf denen sich die Magnete drehen. Darum muß ein Profil mehrere Male durchreist werden, bis über den Wert der Störungen an jedem Beobachtungsort kein Zweifel mehr besteht. Der schlimmste Feind ist die Veränderlichkeit der Temperatur; der Temperatureinfluß muß daher genau bekannt sein. Es ist die wichtigste Aufgabe der Industrie, Instrumente zu schaffen, die von dem Einfluß der Standänderungen und der Temperatur frei sind. Daß der Beobachter absolut selbst eisenfrei ist, kann nicht oft genug betont werden, da namentlich der Anfänger hierin zu sorglos ist. Unsere übliche Kleidung enthält mehr Eisen, als der Laie vermutet.

Wir kombinieren alle untersuchten Magnetisierungen in diesem Buche aus Einzelpolen. Das ist natürlich eine Näherung. An sich sind Einzelpole unwirkliche Fiktionen etwa von der Art der Idee eines Schwerpunkts, der (z. B. bei einem Ringe) nicht immer einem materiellen Punkte entspricht. Aus den Einzelpolen entstehen Polpaare ungleichen Vorzeichens, d. h. schematische Magnete. Auch diese sind noch reine Fiktionen, gewisse Abbilder für die tatsächliche Magnetisierung. Wir dürfen nicht erwarten, daß solche Fiktionen die Natur vollendet darstellen, sie bleiben Annäherungen. Allein, es kann behauptet werden, daß sie praktisch brauchbare Annäherungen ergeben.

In unserem Buche ist keinerlei Annahme über die Ursache der Magnetisierung gemacht, sie kann Eigenmagnetismus, Induktionsmagnetismus oder ein Gemisch aus beiden sein. Es bedarf darüber gar keiner Entscheidung, um die Typen zu erhalten. Es ist Tatsache, daß in den meisten Fällen reiner Induktionsmagnetismus vorliegt. Wenn man in neuerer Zeit meist von vornherein Induktionsmagnetismus annimmt, um den Einfluß eines störenden Körpers zu finden, so liegt dies an einem eigentlich äußerlichen Grund, nämlich daran, daß die formelmäßige Darstellung gelingt. Allerdings gilt auch dies nur für Körper, die nur von Flächen ersten oder zweiten Grades begrenzt sind, da nur sie homogene Magnetisierung tragen können. Nun sind die natürlichen Zustände meist so, daß die störenden Körper von diesen Idealformen weit abweichen und auch inhomogen magnetisiert sind. Mithin haben wir es auch nach diesen Verfahren mit Annäherungen zu tun.

J. Koenigsberger hat derart besonders die Kugel und das Ellipsoid als Form des Störungskörpers untersucht und verschiedene russische Forscher Zylinder beliebigen Querschnitts. Sie nähern dann die wirklichen Gestalten durch Kombinationen solcher Ellipsoide oder Zylinder an. Das Verfahren ist gewiß ein sehr geistreiches und in der Hand von darin ausgebildeten Fachleuten auch von praktischem Wert. Dasselbe ist über die Methode von H. Haalck zu sagen, die darauf hinauskommt, die Integration über die Form des Körpers durch eine mechanische Quadratur mit Hilfe eines geeigneten Nomogramms zu leisten, ähnlich wie man das früher schon für gravimetrische Mutungen entwickelt hatte. Die Auswertung geht recht schnell vor sich und kann ebenfalls als sehr einfach und leicht bezeichnet werden, gerade wie die in diesem Buche entwickelte Methode. Nur ist diese letztere noch etwas beweglicher, da sie auch inhomogene Magnetisierung erfaßt und rechnerisch noch viel elementarer arbeitet. Die Annäherung an die Natur kann viel weiter getrieben werden. Trotzdem sei auf die anderen Verfahren ausdrücklich hingewiesen und die Beschäftigung mit ihnen empfohlen<sup>1</sup>.

Die Hypothese, es liege Induktionsmagnetismus vor, bringt es mit sich, daß die Orientierung des induzierten Körpers zum magnetischen Erdfeld wichtig wird. Bei unserer Methode spielt dies keine Rolle; man erhält eben ein Profil stärksten Gradientes, ohne daß es für den Berg-

<sup>1</sup> Koenigsberger, J.: Zur Deutung der Karten magnetischer Isanomalien und Profile. *Gerlands Beitr.* 19, 241—291 (1928). — Gamburzeff, G. A.: Bestimmung der Elemente eines durch einen unendlich langen Zylinders hervorgerufenen magnetischen Feldes und eines Gravitationsfeldes. *Ebenda* 19, 210—218 (1928). — Gamburzeff, G. A., u. M. Polikarpoff: Beitrag zur Frage der Ursachen der Kursker magnetischen und gravimetrischen Anomalie. *Ebenda* 19, 219—230 (1928). — Haalck, H.: Zur Frage nach der Ursache von lokalen gravimetrischen und erdmagnetischen Störungen und ihre wechselseitigen Beziehungen. *Z. Geophys.* 4, 209—219, 263—272 (1928).

fachmann wesentlich ist, ob es in die Ebene der Totalintensität fällt oder nicht. Ob das Feld durch reine Induktion zu erklären ist, bleibt eine Frage, die mehr ausschließlich den Geophysiker interessiert, nicht den Praktiker. Hier ist sie allerdings wichtig, aber auch erst dann zu lösen, wenn man Gestalt und Teufe des Körpers sowie die Suszeptibilität des Gesteins kennt, d. h. die bergtechnische Mutung schon vollendet ist. Dies bildet quasi den Schlußstein seiner Tätigkeit.

Wir beschränken uns auf die Mutung mit Hilfe der Vertikal- und der Horizontalintensität. Beide zusammen geben die Inklination und die Totalintensität, die jedoch wenig oder gar keine Bedeutung für die Technik des Mutens haben. Die technisch wichtigste Komponente ist meist die Vertikalintensität, wie man aus den geometrischen Eigenschaften der einzelnen Typen ersehen kann. Dies gilt nicht nur in jenen Breiten, wo sie an sich die stärkere ist, sondern auch in den mehr äquatoriellen Gegenden. Sofern die Magnetisierung nur durch Induktion erzeugt ist, wird jeder störende Körper am Äquator in der Horizontalen magnetisiert sein, d. h. die beiden Pole des äquivalenten schematischen Magneten in der Horizontalen tragen. Die Folge ist, daß hier der Typus des horizontalen Magneten häufiger sein wird als der des senkrechten (wie am Pol) oder des schiefen (wie in den Zwischenbreiten). Wie ein Vergleich zwischen den Typen 9 und 18 zeigt, überwiegt auch beim horizontalen Magneten noch die maximale Amplitude der Vertikalintensität jene der horizontalen. Allerdings tritt die Bedeutung der Horizontalintensität für Mutungszwecke mit abnehmender geographischer Breite immer mehr in den Vordergrund.

Zwischen den beiden Komponenten bestehen feste zahlenmäßige Beziehungen, wenn der Störungskörper bekannt ist. Es läßt sich also die eine aus der anderen berechnen. Bei der Mutung aber kennt man die Gestalt und Teufe der störenden Masse zu Anfang nicht. Da bietet nun jedes Profil für sich, jenes über  $Z$  und jenes über  $H$ , wie es die Beobachtungen liefern, ein selbständiges Hilfsmittel. Darin liegt der Vorteil der Beobachtung beider Elemente: beide Mutungen müssen zu dem gleichen Ergebnis über Sitz und Gestalt der Körper führen.

Von vornherein sei nachdrücklich betont, daß die magnetischen Mutungen zweckmäßig ergänzt werden durch andere geophysikalische Mutungsverfahren, namentlich gravimetrische. Die gravimetrischen Kräfte zeichnen sich nämlich dadurch aus, daß sie mit den magnetischen dann in enger quantitativer Verbindung stehen, wenn die in beiden Fällen störenden Körper identisch sind, und die Magnetisierung eine homogene induktorische ist. Das mag in vielen Fällen genügend angenähert der Fall sein, oft aber wird zwar der Körper derselbe sein, die Magnetisierung aber ungleichmäßig sein, denn sie ist erfahrungsgemäß von Stelle zu Stelle sehr variabel.

Der Hauptvorteil der magnetischen Mutung ist leichte Beweglichkeit der Apparate und ihr schnelles Arbeiten; hierdurch wird sie billig im Betrieb und kann rasch so ausgedehnt werden, daß sie genügend viel Stationen über das Gebiet anlegt. Die Kunst des Beobachtens ist nicht sehr schwer zu erlernen, auch für Beobachter, die keine physikalische Vorbildung genossen haben. Der einzige Punkt, der immerhin noch eingehende physikalische und mathematische Fähigkeiten verlangte, war die Deutung des Gemessenen, die eigentliche Mutung.

Es ist der Zweck dieses Buches, auch hier die letzte Schwierigkeit zu beheben und auch diesen Teil der Mutung auf elementarste Vorkenntnisse zurückzuführen.

## Der Einzelpol.

Es sei (Abb. 1)  $M$  der Ort des Einzelpols und seine Intensität,  $r_o$  seine Tiefe unter der Erdoberfläche  $AE$ ,  $A$  der „Aufpunkt“ senkrecht über  $M$ ,  $E$  ein Beobachtungspunkt auf der Erdoberfläche,  $r_n$  seine Entfernung von  $M$ ,  $e_n$  sein Abstand von  $A$ ,  $J$  die Neigung von  $r_n$  gegen  $AE$  und damit die Inklination.

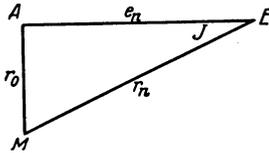


Abb. 1.

Die magnetische Kraft in  $E$  ist

$$K_E = \frac{M}{r_n^2}. \quad (1)$$

Ein frei beweglicher Magnet eines Meßinstruments stellt sich in  $E$  unter dieser Kraft parallel  $r_n$ , bekommt demnach die Neigung  $J$  gegen den Horizont. Die Praxis der Messungen hat sich dahin entwickelt, daß selten  $J$  beobachtet wird, sondern mit verschiedenen Apparaten die beiden Komponenten der Intensität, die Vertikalintensität  $Z$  und die Horizontalintensität  $H$ . Und zwar ist

$$Z = K_E \sin J, \quad H = K_E \cos J. \quad (2)$$

Aus dem rechtwinkligen Dreieck  $AEM$  läßt sich ablesen, daß

$$\sin J = \frac{r_o}{r_n} \quad \text{und} \quad \cos J = \frac{e_n}{r_n}. \quad (3)$$

Setzt man (3) in (2) ein, so wird

$$Z_n = \frac{M}{r_n^3} r_o \quad \text{und} \quad H_n = \frac{M}{r_n^3} \sqrt{r_n^2 - r_o^2}. \quad (4)$$

Man kann nun  $r_n$ , den jeweiligen radius vector, als eine Funktion von  $r_o$ , der Teufe, auffassen, und zwar sei  $r_n = \frac{r_o}{\lambda}$ , so daß  $\lambda = \frac{r_o}{r_n}$  höchstens = 1, sonst stets ein echter Bruch ist; und zwar ist

$$\lambda = \frac{r_o}{\sqrt{r_o^2 + e_n^2}}, \quad (5)$$

wie sich aus Anwendung des Pythagoras auf unser rechtwinkliges Dreieck  $AEM$  ergibt.  $\lambda$  ist stets eine reine Zahl. Setzen wir dies in (4) ein, so erhalten wir

$$Z_n = \frac{\lambda_n^3}{r_o^2} M \quad \text{und} \quad H_n = \frac{M}{r_o^2} \lambda_n^3 \sqrt{\frac{1}{\lambda_n^2} - 1}. \quad (6)$$

Nun ist nach (1)  $M/r_0^3$  die Vertikalkomponente in dem Punkt A, da er sich vertikal über dem Pol befindet; folglich ist

$$Z_n = \lambda_n^3 Z_0 \quad \text{und} \quad H_n = \lambda_n^2 \sqrt{1 - \lambda_n^2} Z_0. \quad (7)$$

Hieraus geht zunächst hervor, daß  $Z$  und  $H$  rein rechnerisch miteinander verbunden sind. Liegt eines beobachtet vor, so ist die Größe des anderen rechnerisch abzuleiten. Trotzdem wird man, wo es irgend angeht, beide Komponenten beobachten, da die Mutung mit dem einen Element, jene mit dem anderen unterstützt; außerdem kontrolliert das eine die Beobachtungen des anderen, was richtig durchgeführt, von ganz erheblichem Werte sein kann. Es findet sich in der Literatur bisher meines Wissens keine Stelle, wo dieser Vergleich vorgenommen ist.

Nach Gleichung (6) wachsen  $Z_n$  und  $H_n$  proportional  $M$ ; verdoppelt sich die Stärke oder Intensität des Pols, so verdoppelt sich auch sein Einfluß auf die Komponenten  $Z$  und  $H$ .

Wächst die Teufe  $r_0$ , so verringern sich beide Komponenten im Verhältnis des Quadrats. Ist das neue  $r_0$  zweimal größer, so werden die Komponenten viermal kleiner.

Um den allgemeinsten Fall zu erhalten, setzen wir  $M = 1$  und ebenso  $r_0 = 1$ , unsere Formeln (7) werden dann

$$Z_n = \lambda_n^3, \quad H_n = \lambda_n^2 \sqrt{1 - \lambda_n^2}. \quad (8)$$

Die Kurven  $\lambda_n^3$  und  $\lambda_n^2 \sqrt{1 - \lambda_n^2}$  charakterisieren das Verteilungsgesetz der beiden Komponenten über die ganze Erdoberfläche hin längs der Linie von  $e_n = -\infty$  bis  $+\infty$ , d. h. längs eines „Profils“ durch das Gebiet hindurch. Wir bezeichnen diese beiden „Charakteristiken“ oder „Leitlinien“ mit  $L_Z$ , bzw.  $L_H$  und haben

$$L_Z = \lambda_n^3, \quad L_H = \lambda_n^2 \sqrt{1 - \lambda_n^2}. \quad (9)$$

Sie liefern den Typus des Einzelpols.

Er ist ausschließlich eine rein geometrische Funktion; aus ihr setzen sich alle weiteren Typen zusammen, die wir noch behandeln werden oder die sonst noch gesucht werden sollten. Wegen dieser fundamentalen Bedeutung der Charakteristiken des Einzelpols müssen wir uns mit ihren Eigenschaften noch etwas näher befassen.

Die Berechnung geschieht nach Formel (5), indem wir  $r_0 = 1$  setzen und haben

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + e_n^2}}. \quad (10)$$

Dies liefert sowohl  $\lambda^3$  wie  $\lambda^2 \sqrt{1 - \lambda^2}$ , d. h.  $L_Z$  und  $L_H$ .

$L_Z$ . Aus (10) ergibt sich, daß für  $e_n = 0$ , d. h. für den Punkt A  $\lambda = 1$  und folglich auch  $\lambda_0^3 = 1$ , d. h. der größte Wert, den die Cha-

rakteristik für den Einzelpol für die Vertikalkomponente erreichen kann, ist eins; und dies erreicht sie im Punkte  $e_n = 0$ , d. h. in  $A$ . Für  $e_n = \pm \infty$  wird  $\lambda$  und damit  $L_Z = 0$ . Dazwischen ist  $L_Z$  immer positiv; je ein Wendepunkt liegt bei  $e_n = \pm 1/2$ , also sehr nahe beim Maximalwert. Überhaupt ist der Abfall der Charakteristik der Vertikalintensität ein sehr schneller. In  $e_n = 0,8$  ist  $Z_n$  schon auf die Hälfte gesunken, in  $\pm 1,95$ , also einer Entfernung vom Aufpunkt von nicht ganz zweimal der Teufe des Pols schon auf  $1/10$  des Maximalwerts. Dieser rasche Abfall ist einer der Hauptvorteile der Vertikalintensität für die Zwecke der Mutung.

$L_H$ . Aus (9) findet sich, daß für  $e_n = 0$ , also im Aufpunkt  $A$ , die Charakteristik für die Horizontalintensität Null wird. Durch Einsetzen von (10) in (9) finden wir als Extreme die Werte  $\pm 0,3841$  bei  $e_n = \pm 0,75$ ; sie sind also beiderseits des Aufpunktes  $A$  in  $3/4$  der Teufe gelegen. Von da an fällt die Charakteristik  $L_H$  nach beiden Seiten nach dem Unendlichen zu asymptotisch zu Null ab. Dieser Abfall geschieht langsamer als bei  $L_Z$ . Entsprechend der Gleichung (8) beträgt der Einfluß des Pols auf die Horizontalintensität in dem Intervall  $e_n = \pm 1$  weniger als auf die Vertikalintensität, sie muß also genauer gemessen werden als  $Z$ , wenn man mit ihr allein muten wollte. An der Grenze dieses Intervalls durchschneiden sich beide Charakteristiken; sie sind hier, absolut genommen, gleich; das Verhältnis beider ist demnach 1.

Nun ist aber 
$$\frac{Z}{H} = \operatorname{tg} J,$$

mithin hier  $\operatorname{tg} J = 1$ , d. h.  $J = 45^\circ$ . Das Wesentliche ist, daß dies in einer Entfernung  $e_n = 1$  vom Aufpunkt stattfindet, d. h. dort, wo die Entfernung auf der Erdoberfläche vom Aufpunkt der Teufe des Pols gleich ist.

Hierauf beruht der altbekannte Satz, daß der Beobachtungsort, welcher die Störungsinclination von  $45^\circ$  zeigt, so weit vom Aufpunkt entfernt ist, wie das störende Vorkommen unter ihm liegt.

Heutzutage mißt man die Inklination nur noch selten und schreibt daher den Satz in der Form: Derjenige Punkt auf der Erdoberfläche, welcher, vom Vorzeichen abgesehen, für die vertikale und die horizontale Komponente gleiche Beträge ergibt, liegt vom Aufpunkt so weit entfernt, wie die Teufe des Pols unter dem Aufpunkt.

Mutet man allein mit der Vertikalintensität, so entspricht dem nach (5), indem wir  $r_0 = 1$ ,  $e_1 = 1$  setzen, ein  $\lambda = 1/\sqrt{2}$ , also ein  $L_Z = \lambda_n^3$  von 0,3535. Die Regel lautet dann: Derjenige Punkt auf der Erdoberfläche, welcher nur noch 0,3535 der maximalen Störung der Vertikalintensität besitzt, liegt vom Aufpunkt so weit entfernt, wie die Teufe des Pols unter dem Aufpunkt.

Mit dieser Regel werden wir vornehmlich arbeiten.

Da das Maximum von  $L_H$ , wie wir eben sahen, 0,3841 ist, also größer als 0,3535, so finden wir auf der Charakteristik der Horizontalintensität im ganzen vier  $e_n$  mit dem Werte 0,3535; nur die äußeren Stellen können zu einem ähnlichen Schluß auf die Teufe des Pols benutzt werden.

Wegen der fundamentalen Bedeutung der Charakteristiken der beiden Komponenten des Einzelpols bringen wir in Tafel I und Tab. I das graphische Bild des Typus des Einzelpols und die numerischen Werte für Stufen von  $0,1e$ , also Zehntel der Teufe.

**Graphische Darstellung.** Hier — und wenn nichts anderes bemerkt ist — auch bei allen anderen Typen entsprechen dem Intervall  $e = 1$  10 mm in Abszisse, während in der Ordinate 5 mm 0,1 Einheiten in  $L$  entsprechen. Die Charakteristik der Vertikalintensität ist stets voll ausgezogen, jene der Horizontalintensität gestrichelt.  $M$  bezeichnet den Sitz des Pols.

**Numerische Tabelle.** Die Werte sind bis auf die fünfte Dezimale berechnet, bis auf die vierte gegeben. Da bei der weiteren Verwertung der Zahlen des Einzelpols auch zwischen den Stufen von  $0,1e$  zu interpolieren ist, gibt die Tab. II die ersten und zweiten Differenzen für  $e = 0$  bis  $e = 3,0$ . Da sowohl  $L_Z$  wie  $L_H$  zum Aufpunkt symmetrisch liegen, sind in Tab. I und II die Eingangszahlen der  $e_n$  nur als positive Zahlen bezeichnet.  $L_Z$  ist, wie gesagt, für den Einzelpol stets positiv angesetzt,  $L_H$  links vom Aufpunkt negativ, rechts positiv.

**Wahl der Vorzeichen.** Wir sind gewohnt, nach oben positive Werte aufzuzeichnen. Die Vertikalintensität ist nach allgemein in der Lehre vom Erdmagnetismus angenommenem Gebrauch positiv, wenn sie nach unten gerichtet ist. Auf der nördlichen magnetischen Halbkugel, also nördlich vom magnetischen Äquator, ist die Erdmagnetisierung süd-magnetisch, die Vertikalintensität positiv. Hat der Pol  $M$  ebenfalls Südmagnetismus, so ist auch  $L_Z$  positiv. Unsere Zeichnung entspricht demnach hier einem Südpol. Die Charakteristik eines Nordpols bekommt man durch Spiegelung der  $L_Z$ -Kurve um die Abszissenachse oder die Zahlen unserer Tabelle sind dann negativ in Rechnung zu setzen. Auf der südlichen magnetischen Halbkugel entspricht die Zeichnung einem Nordpol in  $M$ . Die Vertikalintensität ist ihrer Definition nach stets in die Vertikale fallend, auch in benachbarten Profilen.

Die Horizontalintensität ist in der Horizontalebene stets nach dem Aufpunkt gerichtet. Soweit sie mit der gleichen Komponente des ungestörten Erdfelds parallel ist, wird sie die störende  $H$ -Komponente vergrößern, wenn sie antiparallel ist, verkleinern, und zwar um ihren vollen Betrag. In allen dazwischenliegenden Lagen addiert bzw. subtrahiert sich nur die dem Normalfeld parallele Komponente der störenden Kraft. In unseren Diagrammen ist stets der rechte Zweig von  $L_H$  als positiv

angesetzt worden. Läge das Profil von links Nord nach rechts Süd, also im ungestörten magnetischen Meridian, so würde im Südpol in  $M$  links die Gesamtintensität in der Horizontalen verringern, rechts vergrößern; dem entspricht das Vorzeichen der Zeichnung.

Die Zahlen der beiden Charakteristiken sind die einzige Grundlage für alle weiteren Rechnungen in diesem Buche. Für einfache Fälle genügt schon der Typus des Einzelpols allein, den sie darstellen zur praktischen Mutung. Außerdem lassen sich auch kompliziertere Typen oft für Teile ihres Verlaufs nach dem Einzelpol verarbeiten; deshalb wollen wir die für die Mutung wichtigsten Eigentümlichkeiten des Einzelpols hier nochmals zusammenstellen und gleich vom praktischen Gesichtspunkt aus kritisieren:

Der Einzelpol liegt vertikal unter der Stelle stärkster Störung in Vertikalintensität. Daraus ergibt sich für die Praxis, daß der Maximalwert in  $Z$  gemessen wird; die Beobachtungspunkte müssen daher um den Punkt herum so dicht liegen, daß man bestimmt den Maximalwert und die Lage des Aufpunkts  $A$  festgelegt hat. Unter Umständen müssen noch weitere Beobachtungen eingelegt werden.

Die Teufe des Pols ist gleich dem Abstand des Punktes vom Aufpunkt, der nur noch eine Störung in  $Z$  von 0,3535 der maximalen besitzt. Solcher Punkte gibt es zwei; mindestens der eine muß durch Beobachtungen so sicher festgelegt sein, daß man seine Lage auf der Erdoberfläche sicher kennt.

Die Horizontalintensität geht beim Einzelpol (und einigen besonderen Spezialtypen, die wir noch kennenlernen werden) im Aufpunkt durch den Wert Null. Diese geometrische Gesetzmäßigkeit ist praktisch ohne Nutzen, denn naturgemäß läßt sich wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler das Verschwinden der Horizontalstörung nicht messen. Es ist aber bei den meisten Typen von Wert, zu wissen, welcher Abstand der Punkt des  $H = 0$  von dem besitzt, wo  $Z$  maximal ist. Man muß daher beiderseits des Punktes  $H = 0$ ,  $H$  in soviel Punkten gemessen haben (wo es noch groß genug ist), daß man den Punkt  $H = 0$  durch Zeichnung oder Interpolation ermitteln kann.

Die Extremwerte der Horizontalintensität haben beim Einzelpol (und nur bei ihm) einen Abstand von 0,75 der Teufe. Man muß daher durch eine genügende Anzahl von Beobachtungen klar über die Örtlichkeit der Extrempunkte sein. Da es bei  $H$  zwei Extrempunkte sind, so ergibt sich daraus, daß bei Mutung aus  $H$  allein mehr Beobachtungen angestellt werden müssen als bei solchen aus  $Z$  allein. Dies ist praktisch ein Nachteil der Mutungen mit  $H$  gegenüber denen aus  $Z$ .

Die Größe der Extreme in  $H$  ist nur 0,38 desjenigen von  $Z$ . Dies ist ein zweiter Nachteil von  $H$ .

Der dritte ist der langsamere Abfall der Charakteristik  $L_H$  von den Extremen nach der Seite zu.

Der vierte beruht darin, daß ein neues seitliches Vorkommen das Zustandekommen des einen Extrems stört und mithin nur das eine, ungestörte Extrem zur Mutung benutzt werden kann. Auch der Abfall nach außen ist auf der gestörten Seite auf eine längere Strecke verändert. Die Mutung mit  $Z$  allein ist dagegen (wegen der Schmalheit des Streifens maximaler Störung) bedeutend weniger von einem neuen Vorkommen getrübt.

Es sei hier gleich bemerkt, daß der Vorteil von  $H$  gegen  $Z$  darin besteht, daß  $H$  sich leichter genau beobachten läßt als  $Z$ .

Der Abstand des Punktes, in dem  $H$  absolut genommen  $= Z$ , vom Aufpunkt ist gleich der Teufe des Pols. Diese Regel hat nur dann praktischen Wert, wenn beide Elemente beobachtet werden und beide so dicht um diesen Punkt vermessen sind, daß er genau bekannt ist.

Das Einzige, was man zunächst außer den Beobachtungsergebnissen kennt, sind die Entfernungen der Meßpunkte auf der Erdoberfläche. Sie werden in Einheiten irgendeines Längenmaßes gegeben sein (Meter, Kilometer, Yards, Miles usw.). Für die Zwecke der Mutung müssen sie in Einheiten der Teufe des Pols umgerechnet werden. Dies geschieht sehr einfach durch eine der obengenannten Regeln, welche die Teufe aus dem Abfall der Beobachtungszahlen ergeben. Ist der charakteristische Punkt z. B. in der Entfernung 161 m von dem Punkt maximalen  $Z$ , so ist die Längeneinheit 161 m.

Zur Reduktion der Beobachtungszahlen auf die Charakteristik hat man den maximalen Beobachtungswert in  $Z$  gleich 1 zu setzen. Beträgt er z. B. 1440  $\gamma$ , so ist der Wert 0,5 der Charakteristik  $= 720 \gamma$ , der Wert 0,1 gleich 144  $\gamma$  usw. Hat man nur  $H$  gemessen, so ist der Maximalwert der Beobachtung  $= 0,3841$  zu setzen. Das nicht beobachtete  $Z$  erhält man nach Formel (7) aus

$$Z_n = \frac{\lambda_n}{\sqrt{1 - \lambda_n^2}} H_n .$$

Praktisch ist das allerdings ohne Wert, denn das so errechnete  $Z$  kann nichts anderes besagen als die Beobachtungen von  $H$ ; es stellt sie nur in einer anderen Form dar.

**Einzelpol bei schiefer Ebene.** Bisher war die Erdoberfläche, auf der die Beobachtungen stattfinden, als horizontal gedacht. Sie habe nunmehr eine gleichmäßige Neigung  $\alpha$ . Wir wollen den Einfluß dieser Neigung auf die beiden Charakteristiken berechnen:  $AE'$  ist die Beobachtungsebene, also die um  $\alpha$  schiefe Erdoberfläche. Alles auf sie Bezogene habe einen oberen Index. Es ist also  $E'$  ein Beobachtungsort,  $r_n'$  der Radius vector vom Einzelpol  $M$  nach  $E'$ ,  $h_n$  die vertikale Er-

hebung des Punktes  $E'$  über den Aufpunkt  $A$ , unter dem  $M$  in der Teufe  $r_0$  lagert.

Wir messen außer den magnetischen Elementen noch auf die übliche trigonometrische Weise mit Latte und Nivellierinstrument die Höhe  $h$  und damit die Neigung  $\alpha$  und die unreduzierte Entfernung  $E'$  von  $A$ .

In  $E'$  ist nach Formel (1) die

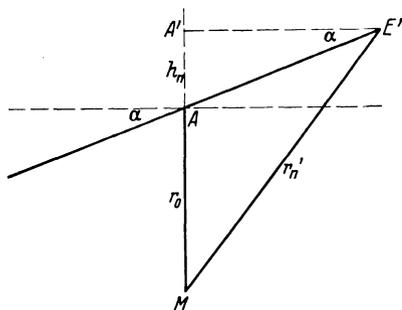


Abb. 2.

Kraft  $\frac{M}{r_n'^2}$  und

$$Z' = K \sin J', \quad H' = K \cos J'.$$

$$\sin J' = \frac{r_0 + h_n}{r_n'} \quad \cos J' = \frac{e_n}{r_n'},$$

worin  $e_n$  die Projektion von  $AE'$  auf die Horizontale ist.

$$Z' = \frac{M(r_0 + h_n)}{[(r_0 + h_n)^2 + e_n^2]^{3/2}}$$

$$H' = \frac{M e_n}{[(r_0 + h_n)^2 + e_n^2]^{3/2}}.$$

Nun ist  $h_n = e_n \operatorname{tg} \alpha$

also

$$Z' = \frac{M(r_0 + e_n \operatorname{tg} \alpha)}{[(r_0 + e_n \operatorname{tg} \alpha)^2 + e_n^2]^{3/2}} \quad H' = \frac{M e_n}{[(r_0 + e_n \operatorname{tg} \alpha)^2 + e_n^2]^{3/2}}. \quad (11)$$

Um auf die Charakteristik zu kommen, setzen wir wieder  $M = 1$  und  $r_0 = 1$ . Die Ausrechnung liefert folgende Zahlen:

Einzelpol unter schiefer Beobachtungsebene.

$e$	$Z'_n$				$H'_n$				$e$
	2,5°	5°	10°	20°	2,5°	5°	10°	20°	
-4	0,0121	0,0098	0,0046	-0,0070	-0,0587	-0,0601	-0,0620	-0,0613	-4
-3	0,0285	0,0250	0,0168	-0,0034	-0,0985	-0,1018	-0,1071	-0,1110	-3
-2	0,0859	0,0815	0,0697	0,0331	-0,1890	-0,1975	-0,2153	-0,2432	-2
-1	0,3610	0,3678	0,3788	0,3822	-0,3775	-0,4031	-0,4598	-0,6008	-1
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0
1	0,3456	0,3372	0,3196	0,2819	0,3311	0,3101	0,2717	0,2067	1
2	0,0922	0,0941	0,0961	0,0936	0,1695	0,1602	0,1421	0,1083	2
3	0,0343	0,0366	0,0400	0,0428	0,0910	0,0870	0,0786	0,0613	3
4	0,0162	0,0179	0,0207	0,0238	0,0552	0,0532	0,0486	0,0387	4

Reduktion auf horizontale Ebene.

$e$	2,5°	5°	10°	20°	2,5°	5°	10°	20°	$e$
-4	0,0022	0,0045	0,0097	0,0213	0,0016	0,0030	0,0049	0,0042	-4
-3	0,0031	0,0066	0,0148	0,0350	0,0036	0,0069	0,0122	0,0161	-3
-2	0,0035	0,0079	0,0197	0,0563	0,0093	0,0186	0,0363	0,0643	-2
-1	-0,0075	-0,0143	-0,0253	-0,0287	0,0240	0,0496	0,1064	0,2473	-1
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0
1	0,0079	0,0163	0,0339	0,0716	0,0224	0,0434	0,0818	0,1468	1
2	-0,0028	-0,0047	-0,0067	-0,0042	0,0094	0,0187	0,0368	0,0706	2
3	-0,0027	-0,0050	-0,0084	-0,0112	0,0039	0,0079	0,0163	0,0336	3
4	-0,0019	-0,0036	-0,0064	-0,0095	0,0019	0,0039	0,0085	0,0184	4

Die obere Tabelle gibt die Charakteristiken für die vier Neigungen  $2,5^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  und  $20^\circ$ , d. h. für praktisch vorkommende Gefälle. Die untere Tabelle gibt die Reduktionen der Beobachtungen auf schiefer Ebene auf die längs einer horizontalen. Hat man auf einer geneigten Ebene gemessen, so sind vor Anwendung des Typus des Einzelpols die Beobachtungen mit Hilfe dieser Reduktionsgrößen auf den Normalfall umzurechnen. Rückt man das Komma zwei Stellen nach rechts, so erhält man diese Korrekturen in Form von Prozenten der über  $A = 1$  gesetzten Vertikalkraft. Wäre diese z. B.  $1000 \gamma$ , so wäre  $1\% = 10 \gamma$ .

Die Zahlen der ersten Tabelle zeigen, daß die Symmetrie beider Charakteristiken um den Aufpunkt durch die Neigung verlorengeht. Am stärksten wird davon  $L_H$  betroffen, dessen beide Extreme, absolut genommen, sehr verschieden werden. Natürlich ist hierbei zu beachten, daß in unserer Rechnung die Neigung von der positiven Seite rechts nach der negativen links sinkt; im umgekehrten Falle würde der Wert von  $L_H$  und auch  $L_Z$  zwischen der Seite der negativen und der positiven  $e_n$  zu tauschen sein. Erhalten bleibt, daß über  $A$   $L_Z$  sein Maximum 1, und  $L_H$  seinen Nullwert erreicht. Bei größeren Neigungen (s.  $\alpha = 20^\circ$ ) tritt  $L_Z$ , was es seither nie tat, ins Negative über.

Je größer das Störungsfeld ist, desto weniger machen kleine Neigungen der Erdoberfläche aus; bei kleinen Störungen, z. B. Salzvorkommen, können sie aber erheblich werden.

Die Schiefe der Meßebene ist ihrer Natur nach zu den sog. topographischen Einflüssen zu zählen, worüber man den späteren Abschnitt S. 62 u. ff. einsehe.

Ist die Neigung unregelmäßig, so kann man nach Formel (11) für jedes  $E'$  diesen topographischen Effekt ebenfalls ableiten, und durch Vergleich mit den normalen Charakteristiken  $L_Z$  und  $L_H$  die Reduktionsgrößen.

**Isanomalen des Einzelpols auf der Erdoberfläche.** Obwohl wir in diesem Buche ausschließlich mit Profilen arbeiten, so seien doch für den grundlegenden Fall des Einzelpols auch die Gestalt der Linien gleicher Beträge der Störungen in Vertikal- und in Horizontal-Intensität gegeben, d. i. die Isanomalen von  $Z$  und  $H$  auf der Erdoberfläche. Denn gerade wie wir aus dem Profil des Einzelpols alle späteren Profile ableiten, kann man auch das Störungsfeld in der Erdoberfläche aus jenem des Einzelpols für komplizierte Magnetisierungen berechnen.

Die Linien gleicher Vertikal-Intensität in der Erdoberfläche sind offenbar Kreise um den Aufpunkt  $A$  als Mittelpunkt. Ihre Radien findet man, indem man  $L_Z$  auf die Nulllinie projiziert. Aus unserer Tafel 1 entnehmen wir daher für die

Isanomale	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
den Ort $e = \pm$	0,28	0,40	0,52	0,65	0,78	0,94	1,10	1,40	1,92	$\infty$

Wir stellen fest, daß der mutungstechnische Vorteil von  $Z$ , die großen Beträge nur innerhalb eines kleinen schmalen Streifens des Profils zu haben, auch für die Isanomalien in der Ebene gilt. Ein neues seitliches Vorkommen stört daher auch in der zweidimensionalen Ebene verhältnismäßig wenig.

Bei den Isanomalien der Horizontal-Intensität liegen die Dinge wegen des wechselnden Azimuts des horizontalen Störungsvektors schwieriger. Denken wir unser Profil  $L_H$  in der nebenstehenden Figur 3 in die Senkrechte  $X$  von unten nach oben gelegt, so hat  $H$  in ihr unten und oben die entgegengesetzte Richtung; subtrahiert es sich oben von der Horizontal-Intensität des Gesamtfelds der Erde, so addiert es sich unten. Die Vertikale  $X$  in der Figur entspricht dann dem magnetischen Meridian

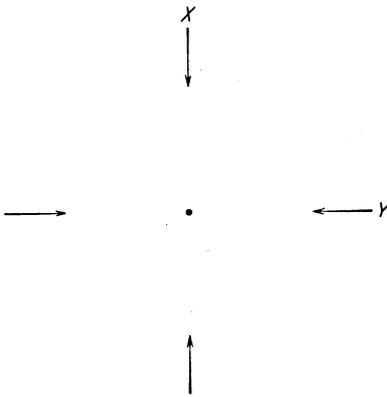


Abb. 3.

des Ortes  $A$ . In der dazu senkrechten Linie  $Y$ , der horizontalen der Figur 3, also dem ersten magnetischen Vertikal des Erdfelds, liefert der unter  $A$  verborgene Pol keinen Beitrag zu der Horizontal-Intensität des Gesamtfeldes. In jedem anderen Azimut haben wir einen Beitrag proportional  $\cos \omega$ , wo  $\omega$  das von  $X$  aus gezählte Azimut des Radiusvektor von  $A$  aus bedeutet.

Unsere Tafel II gibt die Gestalt der so berechneten Isanomalien der Horizontal-Intensität. Da die tatsächliche Durchführung der Rechnung

und noch mehr eigentlich der Zeichnung eine sehr umständliche Arbeit ist und sie zudem schon einmal von anderer Seite durchgeführt worden war, so bat der Verfasser den Autor dieser Rechnung, seinen verehrten Fachfreund Professor Dr. Arthur Wagner in Innsbruck, um gütige Überlassung seiner Ergebnisse, was dieser bereitwilligst tat. Hierfür sei ihm auch an dieser Stelle mein herzlichster Dank ausgesprochen.

Unsere Tafel II hat an der Wagnerschen Zeichnung lediglich die Maßstäbe so umgeformt, daß sie mit den in diesem Buche gewählten übereinstimmen. Es standen dazu die Originale zur Verfügung. Das Verfahren der Rechnung und eine Wiedergabe der Zeichnung in kleinem Maßstab veröffentlichte Wagner in seiner Arbeit: „Erdmagnetische Messungen zwecks Aufsuchung isolierter schwach magnetischer Erzlager“, Zeitschrift für Geophysik, einziger Band 1, Heft 8, S. 228, 1924.

Tafel II zeigt lediglich die eine Halbebene, da die andere ihr reines Spiegelbild ist. Die Isanomalien der Horizontal-Intensität sind Ovaloide, nicht etwa Ellipsen, wenn sie diesen auch ähnlich sind.

## Polfolgen.

Unter einer Polfolge wollen wir irgendeine räumliche Anordnung von magnetischen Einzelpolen verstehen. Es ist dann die Aufgabe der Rechnung, den Gesamteinfluß aller Pole über Tage zu ermitteln. Dies geschieht, indem jeder Pol für sich als Einzelpol behandelt wird.

Einzigster Ausgangspunkt der Rechnung ist daher die Charakteristik  $L_Z$  und  $L_H$  für den Einzelpol, d. h. die Zahlen unserer Tab. I. Oft können sie ohne weiteres entnommen werden, nämlich stets dann, wenn die Teufe des Pols = 1 ist und zugleich seine Intensität  $M = 1$ .

Ist die Teufe  $\kappa$ mal größer, so sind die Zahlen der Tabelle I mit dem Faktor  $\frac{1}{\kappa^2}$  zu multiplizieren.

Ist die Intensität des Pols  $\mu$  mal größer, so sind die Zahlen der Tabelle I mit  $\mu$  zu multiplizieren.

Beides ergibt sich aus der Gleichung (6), die wir für den Einzelpol von der Stärke 1 und Teufe 1 schreiben:

$$Z'_n = \frac{L_Z}{r'^2} M' \quad H'_n = \frac{L_H}{r'^2} M',$$

während sie für den anderen Einzelpol sei

$$Z''_n = \frac{L_Z}{r''^2} M'' \quad H''_n = \frac{L_H}{r''^2} M''.$$

Setzen wir in das zweite Gleichungspaar

$$r'' = \kappa r' \quad \text{und} \quad M'' = \mu M'$$

ein, so erhalten wir obige Regeln.

Es ist jedoch noch ein Umstand zu beachten!

$L_Z$  und  $L_H$  sind in der Tabelle nach Stufen von 0,1e angegeben, wo  $e$  die Einheit der Entfernung auf der Erdoberfläche bedeutet. Diese Einheit ist aber dadurch definiert, daß

$$e_1 = r_0,$$

d. h. gleich der Teufe des Pols ist. Folglich muß sich die absolute Größe von  $e$  ebenfalls mit der Teufe ändern. Daraus ergibt sich die dritte Regel:

Ist die Teufe des Pols  $\kappa$ mal größer, so ist auch der Maßstab der  $e_n$   $\kappa$ mal größer.

Es ist nicht notwendig, Beispiele für die drei Regeln zu geben, da die Besprechung der einzelnen Typen selbst solche Beispiele vorstellt.

Es ist unmöglich, hier alle denkbaren Möglichkeiten zu behandeln; es muß genügen, die wichtigsten zu schildern. Aber es ist die Hoffnung des Verfassers, daß nach dem Durchdenken der hier gegebenen Fälle

jeder in der Lage ist, sich die Typen für den Spezialfall leicht ableiten zu können, den er gebraucht. Das Rechenverfahren ist in seiner Grundlage stets dasselbe und die zu gebrauchenden Zahlen stets der Tabelle I zu entnehmen oder nach ihr und der Tabelle II zu interpolieren. Wer über  $e = \pm 10$  hinausgehen will, muß sich die Zahlen selbst ableiten, indem er hierzu die Formel (9) benutzt und bedenkt, daß  $\lambda = r_0/r_n$  ist, oder

$$\lambda_n = \sqrt{\frac{1}{1 + e_n^2}}.$$

Wir nennen die so entstehenden kombinierten Verläufe Typen und geben ihnen Nummern, um im Text sich leichter auf sie beziehen zu können. Dem Einzelpol geben wir die Nummer 1 und berechnen nun:

## 2. Zwei gleichnamige, gleichstarke Pole im gegenseitigen Abstand 2, beide in der Teufe 1.

Der linke Pol (s. Tafel III) wird unter  $e = 0$  stehend gedacht; der rechte kommt mithin unter  $e = + 2$ , da er den Abstand 2 hat. Stets habe der am weitesten links vorhandene Pol den Index ', der nächste rechts den Index '' und weitere an Zahl steigende Indizes folgen, wenn später noch mehr Pole auftreten. Als Ausgangspunkt für die Zählung der Entfernungen auf der Erde, die immer ohne Index bezeichnet ist, gelten die zu dem am weitesten links stehenden Pole gehörigen  $e$ . In den graphischen Darstellungen läuft diese  $e$ -Bezeichnung meist am unteren Rande. Die Skala am linken Rande gibt den Wert des Typus stets in dem Maßstab  $5 \text{ mm} \sim 0,1 \text{ Z}$ . Gelegentlich ist rechts oder links eine zweite Skala, die sog. Mutungsskala. Sie kommt später bei der Deutung von Beobachtungen zur Anwendung.

Bei unserem Fall befindet sich also  $M'$  in der Teufe 1 unter  $e = 0$ ,  $M''$  ebenfalls in der Teufe 1 unter  $e = + 2$ .

Von  $e = - 10$  bis  $e = + 10$  erhält man für  $M'$  die  $L_Z$ ,  $L_H$  ohne weiteres aus Tab. I. Für  $M''$  liegt sein  $e'' = 0$  offenbar unter  $e = + 2$ . Man hat also für  $e' = - 4$  von Seiten von  $M''$  den Wert von  $L_Z$ ,  $L_H$  von  $- 6$  einzusetzen, für  $e' = 0$  den Wert für  $e'' = - 2$ , für  $e' = + 3$ , den Wert für  $e'' = + 1$  usw. Irgendwelche Faktoren treten nicht auf, weil die Teufen und die Intensitäten der Pole gleich sind.

Wir geben hier, als dem ersten Fall, die Rechnung in voller Ausdehnung. Hierbei ist zu bemerken, daß an den Stellen, wo die Kurven stärkere Änderungen durchmachen, die Stufen der Rechnung kleiner gehalten werden.

Die Pole sind beim Typus 2 gleichnamig, folglich sind  $L'_Z$  und  $L''_Z$  zu addieren, ebenso  $L'_H$  und  $L''_H$ ,  $e$  und  $e'$  sind hier identisch.

$e$	$e'$	$e''$	$L'_Z$	$L''_Z$	$Z$ Typus 2	$L'_H$	$L''_H$	$H$ Typus 2	$e$
-4,0	-4,0	-6,0	0,0143	0,0044	0,0187	-0,0571	-0,0267	-0,0838	-4,0
-3,0	-3,0	-5,0	0,0316	0,0075	0,0391	-0,0949	-0,0377	-0,1326	-3,0
-2,5	-2,5	-4,5	0,0512	0,0102	0,0614	-0,1281	-0,0459	-0,1740	-2,5
-2,0	-2,0	-4,0	0,0894	0,0143	0,1037	-0,1789	-0,0571	-0,2360	-2,0
-1,5	-1,5	-3,5	0,1707	0,0207	0,1914	-0,2560	-0,0726	-0,3286	-1,5
-1,0	-1,0	-3,0	0,3535	0,0316	0,3851	-0,3535	-0,0949	-0,4484	-1,0
-0,8	-0,8	-2,8	0,4761	0,0380	0,5141	-0,3809	-0,1065	-0,4874	-0,8
-0,6	-0,6	-2,6	0,6305	0,0463	0,6768	-0,3783	-0,1203	-0,4986	-0,6
-0,4	-0,4	-2,4	0,8004	0,0569	0,8573	-0,3202	-0,1366	-0,4568	-0,4
-0,2	-0,2	-2,2	0,9428	0,0709	1,0137	-0,1886	-0,1559	-0,3445	-0,2
0,0	0,0	-2,0	1,0000	0,0894	1,0894	0,0000	-0,1789	-0,1789	0,0
0,2	0,2	-1,8	0,9428	0,1145	1,0573	0,1886	-0,2062	-0,0176	0,2
0,4	0,4	-1,6	0,8004	0,1489	0,9493	0,3202	-0,2382	0,0820	0,4
0,6	0,6	-1,4	0,6305	0,1964	0,8269	0,3783	-0,2749	0,1034	0,6
0,8	0,8	-1,2	0,4761	0,2624	0,7385	0,3809	-0,3148	0,0661	0,8
1,0	1,0	-1,0	0,3535	0,3535	0,7070	0,3535	-0,3535	0,0000	1,0
1,2	1,2	-0,8	0,2624	0,4761	0,7385	0,3148	-0,3809	-0,0661	1,2
1,4	1,4	-0,6	0,1964	0,6305	0,8269	0,2749	-0,3783	-0,1034	1,4
1,6	1,6	-0,4	0,1489	0,8004	0,9493	0,2382	-0,3202	-0,0820	1,6
1,8	1,8	-0,2	0,1145	0,9428	1,0573	0,2062	-0,1886	0,0176	1,8
2,0	2,0	0,0	0,0894	1,0000	1,0894	0,1789	0,0000	0,1789	2,0
2,2	2,2	0,2	0,0709	0,9428	1,0137	0,1559	0,1886	0,3445	2,2
2,4	2,4	0,4	0,0569	0,8004	0,8573	0,1366	0,3202	0,4568	2,4
2,6	2,6	0,6	0,0463	0,6305	0,6768	0,1203	0,3783	0,4986	2,6
2,8	2,8	0,8	0,0380	0,4761	0,5141	0,1065	0,3809	0,4874	2,8
3,0	3,0	1,0	0,0316	0,3535	0,3851	0,0949	0,3535	0,4484	3,0
4,0	4,0	2,0	0,0143	0,0894	0,1037	0,0571	0,1789	0,2360	4,0
5,0	5,0	3,0	0,0075	0,0316	0,0391	0,0377	0,0949	0,1326	5,0
6,0	6,0	4,0	0,0044	0,0143	0,0187	0,0267	0,0571	0,0838	6,0
7,0	7,0	5,0	0,0028	0,0075	0,0103	0,0198	0,0377	0,0575	7,0
8,0	8,0	6,0	0,0019	0,0044	0,0063	0,0153	0,0267	0,0420	8,0
9,0	9,0	7,0	0,0014	0,0028	0,0042	0,0121	0,0198	0,0319	9,0
10,0	10,0	8,0	0,0010	0,0019	0,0029	0,0098	0,0153	0,0251	10,0

Wie uns diese Zahlen und die graphische Darstellung in Tafel III zeigen, treten in  $Z$  zwei einander gleiche Maxima vom Werte 1,0894 auf, und zwar gerade über den Polen. Das Auftreten eines neuen Pols rechts hat also nichts daran geändert, daß sich das Maximum in  $Z$  über dem Pol befindet; bei dem gewählten Abstand 2 stört das neue Vorkommen die Lage der Extreme zum Pol nicht. Wohl aber ist der Betrag des Maximums in beiden um den Einfluß des anderen Pols gestiegen. Zwischen ihnen, genau in der Hälfte des Abstands ist als etwas Neues ein relatives Minimum entstanden (bei  $e = + 1$ ). Bieten die Beobachtungen einen solchen Verlauf von  $Z$ , so ist sofort auf das Vorhandensein eines zweiten Pols, d. h. eines zweiten magnetischen Vorkommens zu schließen. Die Lage ergibt sich ohne weiteres aus der Lage der beiden Maxima. Aber wie findet man die Teufe?

Hierbei muß man beachten, daß man nicht, wie hier in der Rechnung, die Summe der  $L'_Z$  und  $L''_Z$  kennt, sondern nur die Beobachtungen. Zu diesem Zweck ist eben rechts die „Mutungsskala“ eingetragen. Sie setzt

das Maximum gleich Eins. Der die Teufe bestimmende Wert 0,3535 des Maximums liegt bei dem rechts angegebenen Pfeil, an der Kurve da, wo ein Strich und Kreuz ( $\times$ ) eingetragen ist, bei der Ordinate  $1,0894 \times 0,3535 = 19,26$  mm oberhalb der Ordinatenachse. Dieser Punkt fällt auf die Stelle  $e = -0,995$  bzw.  $+2,995$ , d. h. hat von dem zugehörigen Maximum bei  $e = 0$ , bzw.  $e = +2$  den Abstand 0,995. Dies ist die gesuchte Teufe der Pole; sie wird also fast genau richtig wiedergegeben.

Hieraus ergibt sich die vielfach praktisch brauchbare Regel für Mutungen aus der Vertikal-Intensität:

Man suche die Teufe des Pols aus den Zweigen des Typus, wo nur der **eine** Pol stark wirkt, d. h. also aus den Außenzweigen.

Um ein Urteil über den Unterschied zwischen dem Typus 2 und dem Einzelpol zu haben, ist in Tafel III links punktiert der Verlauf des Typus 1 unter den von 2 eingetragen.

Gehen wir nun auf die Horizontal-Intensität über, so finden wir außer den Haupt- zwei Nebenextreme. Die wichtigste Abänderung gegen den — links wieder punktiert gezeichneten — Typus 1 des Einzelpols ist die Tatsache, daß der Wert  $H = 0$  aus dem Aufpunkt des linken Pols beträchtlich verschoben ist. Man würde sich um  $\frac{1}{4}e$  über die Teufe des linken Pols irren, wenn man aus  $H = 0$  die Lage des Pols finden wollte. Auch die dritte Nullstelle links vom rechten Pol führt zu demselben Irrtum. Dazwischen liegt genau auf Punkt  $e = +1$  eine zweite Nullstelle in bezug auf welche die ganze  $H$ -Kurve symmetrisch ist; er gibt die Mitte zwischen den beiden Polen und wäre somit zur Ermittlung der Teufe — Abstand von  $e = 0$  und  $e = +2$  — und ihre Lage geeignet, wenn nicht das Eintreten eines Wertes  $H = 0$  aus Beobachtungen schlecht zu erhalten wäre.

Die Hauptextreme liegen bei  $e = -0,65$  und  $e = +2,65$ ; der Abstand vom Ort der Maxima in  $Z$  ist also 0,65 statt 0,75 beim Einzelpol, mithin auch hier die Ermittlung der Teufe unsicher, und zwar auf 0,1 des Betrages, d. h. 10%.

Muten wir nach der Regel, daß der Ort, wo vom Vorzeichen abgesehen,  $H = Z$  ist, so weit vom Aufpunkt entfernt ist wie die Teufe, so stellen wir fest, daß dies links bei  $e = -0,85$ , rechts bei  $e = +2,85$  eintritt, die Teufe demnach 0,85 wäre; die Mutung ist also um 15% falsch.

Aus alledem ersehen wir, daß die Mutung mittels der Vertikal-Intensität jener durch die horizontale vorzuziehen ist. Wir sehen den Grund dafür in der Tatsache, daß das neue Vorkommen die Horizontal-Intensität bedeutend mehr stört als die vertikale.

### 3. Zwei gleichnamige, gleichstarke Pole im gegenseitigen Abstand 1 in der Teufe 1.

Der linke Pol (s. Tafel IV) wird unter  $e = 0$  stehend gedacht; der rechte kommt mithin unter  $e = + 1$ , da er den Abstand 1 hat. Da  $M' = M''$  und die Teufe beide Male  $= 1$ , so treten an die Zahlen der Tab. I keine weiteren Faktoren heran. Für  $M'$  werden sie unmittelbar I entnommen und zu den gleichen  $e_n$  eingesetzt; bei  $M''$  ist um eine Einheit nach rechts zu verschieben, so daß der Wert zu  $e_n$  der Tabelle bei  $e'_n = e_{n+1}$  einzusetzen ist.

Es ergeben sich so folgende zusammengehörige Werte:

$e$	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$e'$	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$e''$	—11	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

und folgende Zahlergebnisse:

$e$	Typus 3 $Z$	Typus 3 $H$	$e$	Typus 3 $Z$	Typus 3 $H$	$e$	Typus 3 $Z$	Typus 3 $H$
—4,0	0,0218	—0,0948	0,2	1,4189	—0,1923	2,4	0,2533	0,4115
—3,0	0,0459	—0,1520	0,4	1,4309	—0,0581	2,6	0,1952	0,3585
—2,5	0,0719	—0,2007	0,6	1,4309	0,0581	2,8	0,1525	0,3127
—2,0	0,1210	—0,2738	0,8	1,4189	0,1923	3,0	0,1210	0,2738
—1,5	0,2219	—0,3841	1,0	1,3535	0,3535	4,0	0,0459	0,1520
—1,0	0,4429	—0,5324	1,2	1,2052	0,5034	5,0	0,0218	0,0948
—0,8	0,5906	—0,5871	1,4	0,9968	0,5951	6,0	0,0119	0,0644
—0,6	0,7794	—0,6165	1,6	0,7794	0,6165	7,0	0,0072	0,0465
—0,4	0,9968	—0,5951	1,8	0,5906	0,5871	8,0	0,0047	0,0351
—0,2	1,2052	—0,5034	2,0	0,4429	0,5324	9,0	0,0033	0,0274
0,0	1,3535	—0,3535	2,2	0,3333	0,4707	10,0	0,0024	0,0219

Der Fall unterscheidet sich vom Typus 2 nur dadurch, daß die Pole näher aneinander gerückt sind, und doch ist das Bild sofort ein ganz anderes. Vor allem fällt auf, daß die Unruhe in  $H$  verschwunden ist und daß in  $Z$  sich nur ein Extrem ausbildet.

Bei noch weiterem Aneinanderrücken geht der Typus offenbar in den eines Einzelpols von der Stärke  $M' + M''$ , also 2 über; alle Ordinaten wären dann doppelt so groß als im Typus 1, dem Einzelpol, aber die geometrische Gestalt dieselbe.

Würde man umgekehrt die Pole weiter als 2 auseinanderschieben, so entstünde mehr und mehr der Typus zweier gleichnamiger, gleichstarker Pole nebeneinander, ohne daß der eine den anderen stört.

Es liegt dann der Typus zweier Einzelpole nebeneinander ohne gegenseitige Einwirkung vor, der hier nicht behandelt ist, weil er gegenüber dem Einzelpol nichts Neues bringt.

Zwischen diesen beiden Möglichkeiten verlaufen alle Typen gleichstarker, gleichnamiger Pole in gleicher Teufe.

Wir wenden uns wieder Typus 3 zu und stellen fest, daß das Näherücken der Pole das relative Minimum des  $Z$  in Typus 2 nicht zur Ausbildung kommen läßt, dafür aber das Extrem des Einzelpols verflacht.  $H$  bekommt zwischen seinen beiden Extremen eine schwache Wellung.

Das wichtigste Kennzeichen dafür, daß nicht ein, sondern zwei Pole nur nahe beieinander wirksam sind, ist die Abflachung der Spitze des Maximums in Vertikal-Intensität. Sein Wert ist 1,4310 und liegt bei  $e = + 0,5$ . 0,3535 des Maximums ist 0,5059, d. h. da, wo in Tafel IV die  $\times$  angebracht sind, d. i. der Ort  $e = - 0,85$  bzw.  $e = + 1,85$ , also vom Ort des Maximums entfernt um 1,35 statt 1,00. Die Abflachung verdirbt demnach die bei Typus 2 benutzte Regel. Die  $H$ -Extreme liegen bei  $e = - 0,6$  und  $+ 1,6$  statt  $- 0,75$  und  $+ 1,75$ , sind also hier besser zu benutzen; etwas weniger gut die Stellen der Gleichheit von  $Z$  und  $H$ , denn sie liegen bei  $e = - 0,80$  und  $+ 1,80$ .

In einem solchen Falle wird man die Stellen der Extreme von  $H$  besonders gut durch Beobachtungen festlegen, sie durch eine Gerade verbinden und so den Punkt bestimmen, wo diese Gerade die Abszissenachse durchschneidet: dieser Punkt ist die Mitte zwischen den beiden Polen. Denselben Punkt erhält man aus  $Z$  allein als die Stelle des Maximums, allein nicht so scharf, weil die Abflachung die exakte Festlegung stört. Dieser Punkt ist von der Stelle der Extreme in  $H$  fast um die Teufe des Pols abstehend, nämlich um 1,1, gibt sie also auf 10% sicher an.

#### 4. Drei gleichstarke, gleichnamige Pole im gegenseitigen Abstand 1 in der Teufe 1.

Dieser Typus fügt zu dem vorangegangenen Typus 3 einen weiteren Pol zu. Wir haben folgende zusammengehörige Werte:

$e = e'$	-10	- 9	- 8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$e''$	-11	-10	- 9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$e'''$	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8

Zur Berechnung benutzen wir die Zahlen des Typus 3, denen wir nur noch jene für  $e'''$  hinzufügen und haben:

$e$	Typus 4 $Z$	Typus 4 $H$	$e$	Typus 4 $Z$	Typus 4 $H$	$e$	Typus 4 $Z$	Typus 4 $H$
-4,0	0,0262	-0,1215	0,2	1,5334	-0,3985	2,4	1,0537	0,7317
-3,0	0,0534	-0,1897	0,4	1,5798	-0,2963	2,6	0,8257	0,7368
-2,5	0,0821	-0,2466	0,6	1,6273	-0,2168	2,8	0,6286	0,6936
-2,0	0,1353	-0,3309	0,8	1,6813	-0,1225	3,0	0,4745	0,6273
-1,5	0,2426	-0,4567	1,0	1,7070	0,0000	4,0	0,1353	0,3309
-1,0	0,4745	-0,6273	1,2	1,6813	0,1225	5,0	0,0534	0,1897
-0,8	0,6286	-0,6936	1,4	1,6273	0,2168	6,0	0,0262	0,1215
-0,6	0,8257	-0,7368	1,6	1,5798	0,2963	7,0	0,0147	0,0842
-0,4	1,0537	-0,7317	1,8	1,5334	0,3985	8,0	0,0091	0,0618
-0,2	1,2761	-0,6593	2,0	1,4429	0,5324	9,0	0,0061	0,0472
0,0	1,4429	-0,5324	2,2	1,2761	0,6593	10,0	0,0043	0,0372

Das Gesamtbild (Taf. V) ist dem Typus 3 nicht unähnlich; auch hier ist die Spitze von  $Z$  abgeflacht, nur ist dem doch noch eine kleine Spitze aufgesetzt. Dieses schwache Kennzeichen ist das alleinige Mittel, zu unterscheiden, ob 2 nahe Einzelpole oder 3 vorhanden sind.  $H$  bestimmt sich fast genau so wie bei Typus 3.

Die beiden Außenpole liegen da, wo die Kurve von  $Z$  in der Nähe der Spitze einen Knick aufweist; man muß also  $Z$  hier genau genug beobachten. Die gerade Verbindungslinie der  $H$ -Extreme und die Spitze von  $Z$  definieren die Mitte der Pole, also den mittelsten Pol. Die Teufe der Pole ist aber nicht mehr aus dem Abstand der  $H$ -Extreme zu finden; sie liegen um  $\pm 0,5$  nach außen.

Der Typus 4 führt auf den später zu behandelnden der magnetischen Platte hin (vgl. die Typen 23—31).

### 5. Vier gleichstarke, gleichnamige Pole im gegenseitigen Abstand 2 in der Teufe 1.

Der Typus 5 lehnt sich an den Typus 2 an. Die zusammengehörigen Werte der  $e$  sind:

$e=e'$	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$e''$	—12	—11	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$e'''$	—14	—13	—12	—11	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6
$e''''$	—16	—15	—14	—13	—12	—11	—10	—9	—8	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4

und liefern folgende Zahlwerte:

$e$	Typus 5 $Z$	Typus 5 $H$	$e$	Typus 5 $Z$	Typus 5 $H$	$e$	Typus 5 $Z$	Typus 5 $H$
—4,0	0,0216	—0,1089	0,6	0,8554	—0,0056	3,0	0,7702	0,0000
—3,0	0,0433	—0,1645	0,8	0,7717	—0,0538	3,5	0,9581	—
—2,5	0,0665	—0,2104	1,0	0,7461	—0,1326	4,0	1,1931	0,0571
—2,0	0,1100	—0,2780	1,2	0,7850	—0,2133	4,5	0,9476	—
—1,5	0,1994	—0,3774	1,4	0,8828	—0,2678	5,0	0,7461	0,1326
—1,0	0,3954	—0,5059	1,6	1,0171	—0,2665	5,5	0,9126	—
—0,8	0,5257	—0,5490	1,8	1,1406	—0,1905	6,0	1,1081	0,2627
—0,6	0,6898	—0,5649	2,0	1,1931	—0,0571	6,5	0,7804	—
—0,4	0,8719	—0,5283	2,2	1,1447	0,0757	7,0	0,3954	0,5059
—0,2	1,0301	—0,4217	2,4	1,0254	0,1496	8,0	0,1100	0,2780
0,0	1,1081	—0,2627	2,6	0,8957	0,1473	9,0	0,0433	0,1645
0,2	1,0787	—0,1086	2,8	0,8030	0,0877	10,0	0,0216	0,1089
0,4	0,9739	—0,0174						

Wir erkennen leicht (Taf. VI) die Ähnlichkeit mit Typus 2. Die Maxima von  $Z$  liegen stets über den Polen, deren Lage also einfach gefunden ist. Die Teufe des ersten und des letzten Pols erhalten wir wie bei Typus 2 aus dem Wert  $0,3535 \times$  Wert des ersten und letzten Maximums.

Das Kennzeichen dafür, daß man vier in gleicher Teufe liegende Pole vor sich hat, ergeben die vier Partialextreme; daß sie weiter auseinanderliegen die drei relativen Minima in  $Z$ .

Auch Typus 5 nähert die magnetische Platte an.

Der Rand der Platte ist gegeben durch die Orte des ersten und letzten Maximums in  $Z$ , die Mitte durch das mittlere Minimum von  $Z$ . Die relativen Maxima von  $H$  liegen auf einer Geraden, ebenso die relativen Minima. Diese Geraden sind einander parallel und die mittlere Äquidistante zu ihnen geht durch den Ort (+ 3), der in der Mitte der Platte liegt.

Die Teufe ermittelt man aus den Außenzweigen genau wie bei Typus 2.

## 6. Zwei ungleichstarke, gleichnamige Pole im gegenseitigen Abstand 2 in der Teufe 1.

Wir gehen nun dazu über, den einen Pol stärker anzunehmen, und zwar setzen wir stets den rechten doppelt so stark an als den linken. Die Folge ist, daß wir die Werte aus der Tab. I für diesen Pol mit 2 zu multiplizieren haben. Die Übertragung auf ein anderes Stärkeverhältnis wird keine Schwierigkeiten bieten und wird daher nicht behandelt.

Der Typus 6 ist in Parallele zu setzen zu Typus 2, da sich an ihm nur die Stärke des einen Pols verändert hat. In der Tafel VII ist dies dadurch gekennzeichnet, daß der rechte Pol zweimal umkreist ist.

Die zugehörigen  $e$ ,  $e'$ ,  $e''$  sind dieselben wie bei Typus 2. Die Rechnung liefert:

$e$	Typus 6 $Z$	Typus 6 $H$	$e$	Typus 6 $Z$	Typus 6 $H$	$e$	Typus 6 $Z$	Typus 6 $H$
-4,0	0,0231	-0,1105	0,4	1,0982	-0,1562	2,8	0,9902	0,8683
-3,0	0,0466	-0,1703	0,6	1,0233	-0,1715	3,0	0,7386	0,8019
-2,5	0,0716	-0,2199	0,8	1,0009	-0,2487	3,5	0,3621	0,5846
-2,0	0,1180	-0,2931	1,0	1,0605	-0,3535	4,0	0,1931	0,4149
-1,5	0,2121	-0,4012	1,2	1,2146	-0,4470	4,5	0,1127	0,3020
-1,0	0,4167	-0,5435	1,4	1,4574	-0,4817	5,0	0,0707	0,2275
-0,8	0,5521	-0,5939	1,6	1,7497	-0,4022	6,0	0,0330	0,1409
-0,6	0,7231	-0,6189	1,8	2,0001	-0,1710	7,0	0,0178	0,0952
-0,4	0,9142	-0,5934	2,0	2,0894	0,1789	8,0	0,0107	0,0687
-0,2	1,0846	-0,5004	2,2	1,9565	0,5331	9,0	0,0070	0,0517
0,0	1,1788	-0,3578	2,4	1,6577	0,7770	10,0	0,0048	0,0404
1,2	1,1718	-0,2238	2,6	1,3073	0,8769			

Eine gewisse Verwandtschaft mit Typus 2 ist wohl noch da und besonders an dem Auftreten des relativen Minimums in  $Z$  zu erkennen; auch die Gestalt von  $H$  bietet noch Ähnlichkeiten. Es überwiegt aber jetzt die doppelte Stärke des rechten Pols. Die Extreme von  $Z$  geben noch genau den Ort der Pole sowohl bei  $e = 0$  wie  $e = + 2$ . Sucht man aus dem linken Außenzweig die Teufe, so findet man  $1,1788 \times 0,3535 = 0,4167$  bei  $e = - 1,0$ , aus dem rechten  $2,0894 \times 0,3535 = 0,7386$  bei  $e = + 3$ , also beide Male scharf richtig. Die Hauptextreme von  $H$  liegen links 0,60, rechts 0,65 vom Ort des Poles ab; also stimmt auch

diese Regel noch einigermaßen. Die Gleichheit von  $Z$  und  $H$  tritt links mit dem Wert 0,6000 bei  $e = -0,75$ , rechts mit 0,8200 bei  $e = +2,95$  ein, d. h. links um 25, rechts um 5% falsch gegen die Regel.

Ein solcher Fall ist in der Natur vorhanden, wenn z. B. links das magnetisierte Gestein dünner ist wie rechts.

### 7. Zwei gleichstarke, gleichnamige Pole, der linke in der Teufe 1, der rechte in der Teufe 2 unter $e = +2$ .

Die Pole sind wieder gleich stark, doch stehen sie geneigt zueinander; der Winkel ist bei der gewählten Anordnung  $26^{\circ}35'$ .

Wegen der zweimal so großen Teufe von  $M''$  sind die Zahlen der Charakteristik des Einzelpols durch 4 zu dividieren. Die  $e'$ -Skala ist natürlich identisch mit jener der  $e$ . Für  $M''$  ist  $r_0 = 1 = 2$  der  $e$ -Skala (s. S. 15).  $M''$  befindet sich unter  $e = +2$ ; dies ist offenbar  $e' = 0$ , und  $e' = 1$  liegt bei  $e = +4$ . Es ergeben sich daher die in untenstehender Tabelle gebrachten Zusammenstellungen von  $e'$  und  $e''$ .

$e'$	$e''$	$L'_Z$	$L''_Z$	Typus 7 $Z$	$L'_H$	$L''_H$	Typus 7 $H$	$e$
-4,0	-3,0	0,0143	0,0079	0,0222	-0,0571	-0,0237	-0,0808	-4,0
-3,0	-2,5	0,0316	0,0128	0,0444	-0,0949	-0,0320	-0,1269	-3,0
-2,5	-2,2	0,0512	0,0177	0,0689	-0,1281	-0,0390	-0,1671	-2,5
-2,0	-2,0	0,0894	0,0224	0,1118	-0,1789	-0,0447	-0,2236	-2,0
-1,5	-1,8	0,1707	0,0286	0,1993	-0,2560	-0,0515	-0,3075	-1,5
-1,0	-1,5	0,3535	0,0427	0,3962	-0,3535	-0,0640	-0,4175	-1,0
-0,8	-1,4	0,4761	0,0491	0,5252	-0,3809	-0,0687	-0,4496	-0,8
-0,6	-1,3	0,6305	0,0567	0,6872	-0,3783	-0,0737	-0,4520	-0,6
-0,4	-1,2	0,8004	0,0656	0,8660	-0,3202	-0,0787	-0,3989	-0,4
-0,2	-1,1	0,9428	0,0761	1,0189	-0,1886	-0,0837	-0,2723	-0,2
0,0	-1,0	1,0000	0,0884	1,0884	0,0000	-0,0884	-0,0884	0,0
0,2	-0,9	0,9428	0,1027	1,0455	0,1886	-0,0924	0,0962	0,2
0,4	-0,8	0,8004	0,1190	0,9194	0,3202	-0,0952	0,2250	0,4
0,6	-0,7	0,6305	0,1374	0,7679	0,3783	-0,0962	0,2821	0,6
0,8	-0,6	0,4761	0,1576	0,6337	0,3809	-0,0946	0,2863	0,8
1,0	-0,5	0,3535	0,1789	0,5324	0,3535	-0,0894	0,2641	1,0
1,2	-0,4	0,2624	0,2001	0,4625	0,3148	-0,0800	0,2348	1,2
1,4	-0,3	0,1964	0,2197	0,4161	0,2749	-0,0659	0,2090	1,4
1,6	-0,2	0,1489	0,2357	0,3846	0,2382	-0,0472	0,1910	1,6
1,8	-0,1	0,1145	0,2463	0,3608	0,2062	-0,0246	0,1816	1,8
2,0	0,0	0,0894	0,2500	0,3394	0,1789	0,0000	0,1789	2,0
2,2	0,1	0,0709	0,2463	0,3172	0,1559	0,0246	0,1805	2,2
2,4	0,2	0,0569	0,2357	0,2926	0,1366	0,0472	0,1838	2,4
2,6	0,3	0,0463	0,2197	0,2660	0,1203	0,0659	0,1862	2,6
2,8	0,4	0,0380	0,2001	0,2381	0,1065	0,0800	0,1865	2,8
3,0	0,5	0,0316	0,1789	0,2105	0,0949	0,0894	0,1843	3,0
4,0	1,0	0,0143	0,0884	0,1027	0,0571	0,0884	0,1445	4,0
5,0	1,5	0,0075	0,0427	0,0502	0,0377	0,0640	0,1017	5,0
6,0	2,0	0,0044	0,0224	0,0268	0,0267	0,0447	0,0714	6,0
7,0	2,5	0,0028	0,0128	0,0156	0,0198	0,0320	0,0518	7,0
8,0	3,0	0,0019	0,0079	0,0098	0,0153	0,0237	0,0390	8,0
9,0	3,5	0,0014	0,0052	0,0066	0,0121	0,0181	0,0302	9,0
10,0	4,0	0,0010	0,0036	0,0046	0,0098	0,0143	0,0241	10,0

Wir bringen die Rechnung wieder in extenso, weil sie für viele kommende ein Beispiel ist. Man sieht, wie durch die Division mit 4 der höchste Wert in  $L_Z$  0,2500 ist, und wie für das ganze Intervall von  $e = -4$  bis  $+10$  von der Charakteristik nur die Werte zwischen  $-3$  und  $+4$  gebraucht werden, da der Maßstab der  $e''$ -Skala doppelt so groß ist.

Tafel VIII zeigt das Ergebnis der Rechnung. Das charakteristische Gepräge erhält der Typus 7 durch die Einbuchtung über dem tieferen Pol rechts bzw. die Abflachung des rechten Zweiges von  $Z$ . Der rechte Zweig ist darum zur Mutung auf die Teufe ungeeignet geworden. Von links ergibt sich aus  $1,0884 \times 0,3535 = 0,3847$  der Ort genau bei  $-1$ ; die Teufe wird also vollkommen richtig gefunden.  $Z$  und  $H$  stimmen links überein bei  $e = -0,9$ , was auf 10% Fehler in der Teufe führt; rechts wäre eine solche Mutung gänzlich abwegig, denn Übereinstimmung ist bei  $+3,3$ .

### 8. Zwei ungleichstarke, gleichnamige Pole, der linke in der Teufe 1, der rechte in der Teufe 2 doppelt so stark unter $e = +2$ .

Der Typus 8 unterscheidet sich von 7 nur durch die doppelte Stärke des rechten Pols. Die zusammengehörigen  $e$  bleiben daher dieselben; wegen der doppelten Teufe sind die Zahlen der Charakteristik durch 4 zu dividieren und wegen der doppelten Stärke mit 2 zu multiplizieren, im ganzen also zu halbieren. Wir geben wieder nur das Resultat:

$e$	Typus 8 $Z$	Typus 8 $H$	$e$	Typus 8 $Z$	Typus 8 $H$	$e$	Typus 8 $Z$	Typus 8 $H$
-4,0	0,0301	-0,1045	0,4	1,0385	0,1297	2,8	0,4382	0,2666
-3,0	0,0572	-0,1589	0,6	0,9054	0,1859	3,0	0,3894	0,2738
-2,5	0,0866	-0,2060	0,8	0,7913	0,1917	3,5	0,2588	0,2631
-2,0	0,1341	-0,2683	1,0	0,7113	0,1746	4,0	0,1911	0,2339
-1,5	0,2280	-0,3591	1,2	0,6626	0,1547	4,5	0,1414	0,2033
-1,0	0,4388	-0,4815	1,4	0,6358	0,1431	5,0	0,0928	0,1657
-0,8	0,5743	-0,5184	1,6	0,6203	0,1439	6,0	0,0491	0,1161
-0,6	0,7438	-0,5256	1,8	0,6071	0,1569	7,0	0,0284	0,0838
-0,4	0,9316	-0,4776	2,0	0,5894	0,1789	8,0	0,0177	0,0627
-0,2	1,0950	-0,3560	2,2	0,5635	0,2052	9,0	0,0118	0,0484
0,0	1,1768	-0,1768	2,4	0,5283	0,2309	10,0	0,0081	0,0383
0,2	1,1481	0,0038	2,6	0,4857	0,2521			

Der Verlauf ist, wie die Tafel IX zeigt, dem Typus 7 ähnlich, d. h. es wird nicht so leicht zu unterscheiden sein, ob der rechte Pol nur absinkt oder zugleich stärker wird. Das ist natürlich besser, wenn der Pol mehr als doppelt so stark sein sollte oder mehr absinkt. Beobachtungen nach dem Typus 8 kommen in der Praxis oft vor.

Dem Maximum 1,1768 entspricht der Teufenordinate der Wert 0,4160; er liegt am linken Zweig bei  $e = -1,05$ . Erschwerend kommt

aber nun hinzu, daß das Maximum von  $Z$  nicht genau auf Null liegt, sondern bei  $e = 0,05$ ; der Abstand  $e = -1,05$  von der Ordinate des Maximums ist demnach 1,10 oder um 10% zu groß; dieselbe Vergrößerung der berechneten Teufe gibt auch der Punkt der übereinstimmenden Werte von  $Z$  und  $H$ . Der Ort des zweiten, stärkeren Pols ist durch nichts in den Kurven gekennzeichnet. Wie es trotzdem gelingt, ihn zu finden, wird später besprochen werden, wenn wir die quantitative Bearbeitung der Typen behandeln.

Bisher haben wir nur gleichnamige Pole angenommen. Für die Mutung kommen sie nur in Frage, wenn man die in der Natur stets noch vorhandene entgegengesetzte Magnetisierung vernachlässigen kann, also wenn die magnetisierten Vorkommen so mächtig sind, daß die entgegengesetzten Pole so tief absinken, daß sie nicht mehr wirksam werden. Auch noch in einem anderen Falle kommen unsere Typen 2 bis 8 in Anwendung, nämlich wenn der Einfluß eines magnetisierten großen Körpers aus den Beobachtungen schon abgeschieden ist und es sich nur noch um den Rest an Einfluß handelt, der durch Unregelmäßigkeiten der oberflächennahen Schichten des Körpers handelt. Bei der Besprechung des topographischen Effekts werden wir dies feststellen können.

## Der Magnet.

Haben wir eine Polfolge von Polen verschiedenen Vorzeichens und gleicher Stärke, so entsprechen je zwei einem schematischen Magneten, d. h. einem Magnetstab, der aus zwei Polpunkten, einem Nordpol und einem Südpol besteht, zwischen denen eine bestimmte Entfernung vorhanden ist, die man die Poldistanz nennt.

Der Einfluß solcher Magnetstäbe läßt sich ebenfalls aus der Charakteristik des Einzelpols berechnen.

Wir beginnen, in enger Anlehnung an das bisher Besprochene mit

### 9. Zwei gleichstarke, ungleichnamige Pole im gegenseitigen Abstand 2, beide in der Teufe 1. = horizontaler Magnet von der Poldistanz 2.

Abgesehen von der Ungleichnamigkeit der Pole stimmt dieser Fall durchaus mit 2 überein, vor allem in den geometrischen Situationen. Auch die Rechnung geht daher auf die gleiche Weise vor sich, nur daß die Spalte  $L''_Z$  von  $L'_Z$ ,  $L''_H$  von  $L'_H$  abzuziehen ist, statt zu addieren. Die Zahlen finden wir demnach aus jenen der Tabelle zu:

$e$	Typus 9 $Z$	Typus 9 $H$	$e$	Typus 9 $Z$	Typus 9 $H$	$e$	Typus 9 $Z$	Typus 9 $H$
-4,0	0,0099	-0,0304	0,2	0,8283	0,3948	2,4	-0,7435	-0,1836
-3,0	0,0241	-0,0572	0,4	0,6515	0,5584	2,6	-0,5842	-0,2580
-2,5	0,0410	-0,0822	0,6	0,4341	0,6532	2,8	-0,4381	-0,2744
-2,0	0,0751	-0,1218	0,8	0,2137	0,6957	3,0	-0,3219	-0,2586
-1,5	0,1500	-0,1834	1,0	0,0000	0,7070	4,0	-0,0751	-0,1218
-1,0	0,3219	-0,2586	1,2	-0,2137	0,6957	5,0	-0,0241	-0,0572
-0,8	0,4381	-0,2744	1,4	-0,4341	0,6532	6,0	-0,0099	-0,0304
-0,6	0,5842	-0,2580	1,6	-0,6515	0,5584	7,0	-0,0047	-0,0179
-0,4	0,7435	-0,1836	1,8	-0,8283	0,3948	8,0	-0,0025	-0,0114
-0,2	0,8719	-0,0327	2,0	-0,9106	0,1789	9,0	-0,0014	-0,0077
0,0	0,9106	0,1789	2,2	-0,8719	-0,0327	10,0	-0,0009	-0,0055

Der Verlauf ist dargestellt in Tafel X; er ist symmetrisch sowohl zur Abszissenachse wie zur Abszisse  $+1$ , der Mitte des Magneten. Die Extreme der Vertikalintensität liegen wie bei dem Einzelpol genau über den Polen, das Auftreten eines seitlichen Pols hat also auch diesmal an dieser Regel des Einzelpols nichts geändert, nur ist die Gestalt des Extrems schwach asymmetrisch geworden. Mutet man in den Außenzweigen nach der Teufe, so hat man  $0,9106 \times 0,3535 = 0,3219$ , was bei  $e = -1$  und  $+3$  liegt, also an sich in der exakt richtigen Entfernung 1 von der Achse der Extreme; weil diese aber etwas unsymmetrisch sind, so kann man sich in der Praxis doch bis etwa 10% irren. Gleichheit der absoluten Werte von  $Z$  und  $H$  tritt ein bei  $e = -1,35$  und  $+3,35$ , d. h. so erheblich verschieden gegen den Einzelpol, daß mit dieser Regel nichts mehr anzufangen ist.

Die Minima der Horizontalintensität stehen 0,8 ab von der  $Z$ -Extremordinate. Zwischen ihnen vollzieht  $H$  einen gänzlich neuartigen Gang: es steigt zu einem Maximum an, das dem von  $Z$  an Größe vergleichbar wird. Die Gesamtamplitude von  $H$  wird 0,9814, also größer wie die Elongation des  $Z$  von 0. Damit gewinnt die Beobachtung der Horizontalintensität an Wert, namentlich auch, weil ihr Maximum den Ort der Mitte des Magnets gut festlegt.

Geben die Beobachtungen diesen Typ, so wird man aus  $Z$  maximal die Orte der Pole, aus  $H$  die Mitte, aus den Außenzweigen von  $Z$  die Teufe ermuten.

Wir wollen nun den Magneten gegen den Horizont alle Neigungen von  $10$  zu  $10^0$  erteilen, bis wir zum senkrechten Magneten kommen. Es werde dabei immer festgehalten, daß die Poldistanz den Wert 2 habe. Der linke Pol liege immer in der Teufe 1 unter  $e = 0$ , der rechte Pol liegt dann im allgemeinen auf unrunder Zahlen von  $e$ , es werden daher die Werte von  $\frac{1}{x}$  und  $\mu$  ebenfalls unrunder Zahlen; das ist aber auch die einzige Komplikation.

Die sehr einfachen geometrischen Beziehungen lassen sich aus nebenstehender Abbildung 4 ableiten.

Es sei  $\rho$  die Poldistanz = 2. Die Tiefe von  $M''$  ist  $1 + z''$ , der Abstand des  $M''$  von der Ordinate 0 ist  $e''$ . Ist  $\alpha$  die Neigung gegen den Horizont, so ist

$$(z'')^2 = \rho^2 - (e'')^2 = 4 - (e'')^2$$

$$z'' = e'' \operatorname{tg} \alpha$$

folglich 
$$z'' = \frac{2}{\sqrt{\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} + 1}} = \frac{2}{\sqrt{\operatorname{ctg} \alpha + 1}}$$

$$e'' = \frac{z''}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

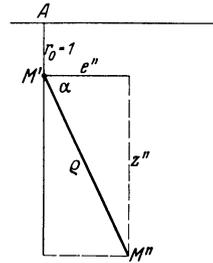


Abb. 4.

Danach findet sich folgende Übersicht:

$\alpha$	$z$	$r''_0$	$e''_0$	$\frac{1}{x}$	$\mu$	$\alpha$	$z$	$r''_0$	$e''_0$	$\frac{1}{x}$	$\mu$
10	0,3472	1,347	1,97	0,551	0,74	60	1,732	2,732	1,00	0,134	0,37
20	0,6841	1,684	1,88	0,353	0,60	70	1,880	2,880	0,68	0,121	0,35
30	1,0000	2,000	1,73	0,250	0,50	80	1,970	2,970	0,35	0,113	0,34
40	1,286	2,286	1,53	0,191	0,44	90	2,000	3,000	0,00	0,111	0,33
50	1,532	2,532	1,28	0,156	0,39						

$\frac{1}{x}$  ist nach S. 15 =  $\frac{1}{(r''_0)^2}$ . Die Werte für die  $e''$  sind nunmehr zwischen

den Zahlen der Tab. I zu interpolieren. Wer hierbei genau vorgehen will, kann dazu die Tab. II benutzen, welche die ersten und zweiten Differenzen enthält. Hier ist stets nur linear interpoliert worden.

### 10. Magnet vom Polabstand 2 unter 10° Neigung.

Wir geben die Rechnung als erstes Beispiel für den geneigten Magneten in extenso; hieraus ist zugleich die Zuordnung der  $e''$  zu den  $e'$  zu erkennen.  $1e'' = 0,74e'$ :

$e'$	$e''$	$L'_Z$	$L''_Z$	Typus 10 $Z$	$L'_H$	$L''_H$	Typus 10 $H$	$e$
—10,0	—8,86	0,0010	0,0008	0,0002	—0,0098	—0,0069	—0,0029	—10,0
— 9,0	—8,12	0,0014	0,0010	0,0004	—0,0121	—0,0082	—0,0039	— 9,0
— 8,0	—7,38	0,0019	0,0013	0,0006	—0,0153	—0,0099	—0,0054	— 8,0
— 7,0	—6,64	0,0028	0,0018	0,0010	—0,0198	—0,0121	—0,0077	— 7,0
— 6,0	—5,90	0,0044	0,0026	0,0018	—0,0267	—0,0152	—0,0115	— 6,0
— 5,0	—5,16	0,0075	0,0038	0,0037	—0,0377	—0,0196	—0,0181	— 5,0
— 4,0	—4,42	0,0143	0,0059	0,0084	—0,0571	—0,0262	—0,0309	— 4,0
— 3,0	—3,68	0,0316	0,0099	0,0217	—0,0949	—0,0366	—0,0583	— 3,0
— 2,0	—2,94	0,0894	0,0184	0,0710	—0,1789	—0,0541	—0,1248	— 2,0
— 1,5	—2,57	0,1707	0,0263	0,1444	—0,2560	—0,0675	—0,1885	— 1,5

$e'$	$e''$	$L'_Z$	$L''_Z$	Typus 10 $Z$	$L'_H$	$L''_H$	Typus 10 $H$	$e$
— 1,0	— 2,20	0,3535	0,0390	0,3145	— 0,3535	— 0,0858	— 0,2677	— 1,0
— 0,8	— 2,05	0,4769	0,0465	0,4296	— 0,3809	— 0,0951	— 0,2858	— 0,8
— 0,6	— 1,90	0,6305	0,0557	0,5748	— 0,3783	— 0,1057	— 0,2726	— 0,6
— 0,4	— 1,75	0,8004	0,0674	0,7330	— 0,3202	— 0,1177	— 0,2025	— 0,4
— 0,2	— 1,60	0,9428	0,0819	0,8609	— 0,1886	— 0,1312	— 0,0574	— 0,2
0,0	— 1,46	1,0000	0,0997	0,9003	0,0000	— 0,1452	0,1452	0,0
0,2	— 1,31	0,9428	0,1232	0,8196	0,1886	— 0,1612	0,3498	0,2
0,4	— 1,16	0,8004	0,1538	0,6466	0,3202	— 0,1778	0,4980	0,4
0,6	— 1,02	0,6305	0,1893	0,4412	0,3783	— 0,1927	0,5710	0,6
0,8	— 0,87	0,4761	0,2371	0,2390	0,3809	— 0,2055	0,5864	0,8
1,0	— 0,72	0,3535	0,2948	0,0587	0,3535	— 0,2116	0,5651	1,0
1,2	— 0,57	0,2624	0,3615	— 0,0991	0,3148	— 0,2050	0,5198	1,2
1,4	— 0,42	0,1964	0,4316	— 0,2352	0,2749	— 0,1805	0,4554	1,4
1,6	— 0,27	0,1489	0,4948	— 0,3459	0,2382	— 0,1329	0,3711	1,6
1,8	— 0,12	0,1145	0,5381	— 0,4236	0,2062	— 0,0642	0,2704	1,8
2,0	0,02	0,0894	0,5493	— 0,4599	0,1789	0,0109	0,1680	2,0
2,2	0,17	0,0709	0,5265	— 0,4556	0,1559	0,0890	0,0669	2,2
2,4	0,32	0,0569	0,4755	— 0,4186	0,1366	0,1515	— 0,0149	2,4
2,6	0,47	0,0463	0,4082	— 0,3619	0,1203	0,1909	— 0,0706	2,6
2,8	0,62	0,0380	0,3385	— 0,3005	0,1065	0,2091	— 0,1026	2,8
3,0	0,76	0,0316	0,2786	— 0,2470	0,0949	0,2107	— 0,1158	3,0
3,5	1,13	0,0207	0,1607	— 0,1400	0,0726	0,1811	— 0,1085	3,5
4,0	1,50	0,0143	0,0940	— 0,0797	0,0571	0,1411	— 0,0840	4,0
5,0	2,24	0,0075	0,0374	— 0,0299	0,0377	0,0836	— 0,0459	5,0
6,0	2,98	0,0044	0,0177	— 0,0133	0,0267	0,0474	— 0,0207	6,0

Tafel XI gibt das Ergebnis der Rechnung wieder. Die Ähnlichkeit mit dem Typus 9, dem horizontalen Magneten, ist noch sehr groß, nur die Symmetrie zur Nullachse ist gestört. Die Vertikalintensität sinkt über dem tieferen Pol nicht mehr so tief, das Maximum von  $H$  hat abgenommen.

Im übrigen wollen wir die Typen der Magnetstäbe im Zusammenhang behandeln und bringen deshalb die Berechnungen in schneller Folge.

### 11—18. Magnet vom Polabstand 2 unter 20—90° Neigung.

Die Typen der geneigten Magnete sind in den Tafeln XI bis XVIII graphisch dargestellt; der des senkrechten Magneten ( $\alpha = 90$ ) vom Polabstand 2 in der Tafel XIX. Außerdem gibt Tafel XX Zusammenstellungen von Einzelheiten der Typen.

Unter den geneigten Magneten nimmt der senkrechte (Typus 18, Tafel XIX) eine besondere Stelle ein: beide Kurven sind zur 0-Achse symmetrisch und nähern sich noch am meisten dem Typus 1 des Einzelpols, nur daß im Gegensatz zu diesem  $Z$  auswärts von  $e = \mp 2,4$  an negativ wird. Diesem Umstand ist es zuzuschreiben, daß eine Anomalie in  $Z$  stets von einem äußeren Ring negativer Störung umgeben sein muß. Es ist vollkommen verkehrt, wenn verschiedene Arbeiten der Praxis das Auftreten einer negativen Anomalie durch neue Vorkommen erklären wollen.

Diese negative Anomalie ist sehr klein gegen die positive über dem Aufpunkt,  $-0,0098$  gegen  $+0,8889$ , rund 90mal kleiner. Ist die Hauptstörung  $900 \gamma$ , so ist die negative etwa  $10 \gamma$ . Will man ihre Existenz behaupten, so muß man daher schon recht genau messen. Ist die negative Hauptstörung z. B. über Salz  $30 \gamma$ , so ist die jetzt positive Außenstörung nur  $0,3 \gamma$ , was mit den heutigen Methoden der Messung kaum zu sichern ist.

Je mehr sich die Neigung des Magnetstabes dem Werte Null nähert, desto mehr wächst die negative Zone an Bereich und Störungswert an. Wir ersehen dies besonders aus der Abb. a auf Tafel XX, die für alle hier berechneten Neigungen die Gestalt der negativen Minima zwischen  $e = +1$  und  $+4$  wiedergibt. Ihr Zweck ist zugleich der, den Mutungstechniker aus der Gestalt seiner beobachteten Kurven die Größe der Neigung des vermuteten Vorkommens interpolieren zu lassen.

Abb. b der Tafel XX zeigt zwischen  $e = 0$  und  $+4$  den Gang der Horizontalintensität, nur daß die Linien für  $\alpha = 70$  und  $80^\circ$  ausgelassen sind, weil sie den benachbarten zu nahe kommen. Wir sehen, daß mit wachsender Neigung sowohl das Maximum von  $H$  als das Minimum dem Werte nach abnehmen, bis für  $90^\circ H$  wieder so ungünstig zur Mutung wird wie bei dem Einzelpol. Abb. c zeigt zwei parabolische Kurven, wovon die obere die Gesamtamplitude, die untere den Wert des Maximums in  $H$  als Funktion der Neigung angibt. Auch dies liefert ein Hilfsmittel zur Feststellung der tatsächlich vorhandenen Neigung aus den Beobachtungen.

Wir wollen nun die Zuverlässigkeit der Mutungen der Teufe untersuchen. Es ergibt sich dann, daß außer bei  $\alpha = 0$  und  $\alpha = 90^\circ$  immer eine gewisse Unsicherheit über die Lage des höheren Pols vorhanden ist, weil das Maximum von  $Z$  leicht unsymmetrisch ist. Schon von  $40^\circ$  Neigung an aber ist diese Unsymmetrie nicht mehr sehr groß. Vernachlässigen wir diese geringe Unsicherheit, so finden wir statt des korrekten Wertes 1 für die Teufe aus den drei Regeln Fehler von

	$\alpha = 10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$
$(0,3535) \cdot \%$	0	-5	-5	-5	-6	-8	-9	-10	-10
$H = Z \cdot \%$	+20	+8	-5	-5	-5	-6	-7	-8	-15
Lage Min. %	-5	-5	0	0	0	+5	+8	+5	+5

wenn wir aus dem linken Außenweig muten. Im allgemeinen bekommt man die Teufe zu klein; man wird also näher dem Maximum in  $Z$  zu bohren haben, um das Vorkommen zu finden; dann kommt man jedenfalls durch das Vorkommen hindurch und teuft nicht an ihm vorbei.

Es ist an Hand unserer Zahlen zu Typus 9 bis 18 oder der Tafeln X bis XIX leicht, auch für zwischenliegende Neigungen den Verlauf der beiden Kurven zu interpolieren.

$e=e'$	$\alpha = 20^\circ$				$\alpha = 30^\circ$				$\alpha = 40^\circ$				$\alpha = 50^\circ$			
	$e''$	Typus 11 $Z$	Typus 11 $H$	$e''$	Typus 12 $Z$	Typus 12 $H$	$e''$	Typus 13 $Z$	Typus 13 $H$	$e''$	Typus 14 $Z$	Typus 14 $H$	$e''$	Typus 14 $Z$	Typus 14 $H$	
-10,0	-7,12	0,0000	-0,0030	-5,86	-0,0002	-0,0028	-5,06	-0,0004	-0,0028	-4,45	-0,0006	-0,0025	-4,45	-0,0006	-0,0025	
-9,0	-6,52	0,0002	-0,0041	-5,36	-0,0002	-0,0038	-4,62	-0,0005	-0,0037	-4,06	-0,0007	-0,0035	-4,06	-0,0007	-0,0035	
-8,0	-5,92	0,0003	-0,0056	-4,86	-0,0002	-0,0053	-4,18	-0,0005	-0,0052	-3,66	-0,0010	-0,0048	-3,66	-0,0010	-0,0048	
-7,0	-5,32	0,0006	-0,0070	-4,36	0,0000	-0,0076	-3,74	-0,0005	-0,0085	-3,27	-0,0011	-0,0070	-3,27	-0,0011	-0,0070	
-6,0	-4,72	0,0013	-0,0119	-3,86	0,0004	-0,0115	-3,30	-0,0003	-0,0113	-2,87	-0,0012	-0,0108	-2,87	-0,0012	-0,0108	
-5,0	-4,12	0,0029	-0,0186	-3,36	0,0017	-0,0181	-2,86	0,0006	-0,0181	-2,48	-0,0007	-0,0175	-2,48	-0,0007	-0,0175	
-4,0	-3,52	0,0076	-0,0317	-2,86	0,0053	-0,0314	-2,42	0,0036	-0,0313	-2,09	0,0018	-0,0309	-2,09	0,0018	-0,0309	
-3,0	-2,92	0,0196	-0,0555	-2,36	0,0167	-0,0599	-1,98	0,0141	-0,0602	-1,69	0,0110	-0,0601	-1,69	0,0110	-0,0601	
-2,0	-2,32	0,0675	-0,1281	-1,86	0,0628	-0,1295	-1,54	0,0585	-0,1314	-1,30	0,0540	-0,1330	-1,30	0,0540	-0,1330	
-1,5	-2,02	0,1398	-0,1937	-1,61	0,1339	-0,1969	-1,32	0,1286	-0,2005	-1,10	0,1232	-0,2038	-1,10	0,1232	-0,2038	
-1,0	-1,72	0,3086	-0,2764	-1,36	0,3014	-0,2829	-1,10	0,2954	-0,2896	-0,90	0,2894	-0,2961	-0,90	0,2894	-0,2961	
-0,8	-1,60	0,4236	-0,2968	-1,26	0,4159	-0,3053	-1,01	0,4095	-0,3138	-0,82	0,4039	-0,3218	-0,82	0,4039	-0,3218	
-0,6	-1,48	0,5687	-0,2866	-1,16	0,5607	-0,2976	-0,92	0,5543	-0,3083	-0,74	0,5482	-0,3185	-0,74	0,5482	-0,3185	
-0,4	-1,36	0,7268	-0,2204	-1,06	0,7194	-0,2368	-0,83	0,7133	-0,2481	-0,66	0,7096	-0,2606	-0,66	0,7096	-0,2606	
-0,2	-1,24	0,8552	-0,0803	-0,96	0,8482	-0,0986	-0,74	0,8420	-0,1153	-0,58	0,8418	-0,1302	-0,58	0,8418	-0,1302	
0,0	-1,12	0,8955	0,1167	-0,86	0,8908	0,0935	-0,66	0,8888	0,0730	-0,51	0,8897	0,0561	-0,51	0,8897	0,0561	
0,2	-1,00	0,8181	0,3134	-0,76	0,8164	0,2842	-0,57	0,8175	0,2597	-0,43	0,8219	0,2403	-0,43	0,8219	0,2403	
0,4	-0,88	0,6508	0,4514	-0,66	0,6549	0,4158	-0,48	0,6605	0,3871	-0,35	0,6694	0,3657	-0,35	0,6694	0,3657	
0,6	-0,76	0,4521	0,5133	-0,56	0,4641	0,4708	-0,39	0,4761	0,4384	-0,27	0,4904	0,4159	-0,27	0,4904	0,4159	
0,8	-0,64	0,2650	0,5153	-0,46	0,2887	0,4665	-0,30	0,3084	0,4312	-0,19	0,3284	0,4089	-0,19	0,3284	0,4089	
1,0	-0,52	0,1070	0,4783	-0,36	0,1456	0,4279	-0,22	0,1759	0,3923	-0,11	0,2005	0,3702	-0,11	0,2005	0,3702	
1,2	-0,40	-0,0202	0,4278	-0,26	0,0363	0,3732	-0,13	0,0767	0,3387	-0,03	0,1070	0,3194	-0,03	0,1070	0,3194	
1,4	-0,28	-0,1183	0,3626	-0,16	-0,0435	0,3130	-0,04	0,0065	0,2824	0,05	0,0416	0,2672	0,05	0,0416	0,2672	
1,6	-0,16	-0,1898	0,2920	-0,06	-0,1009	0,2530	0,05	-0,0406	0,2292	0,13	-0,0028	0,2186	0,13	-0,0028	0,2186	
1,8	-0,04	-0,2364	0,2201	0,04	-0,1340	0,1963	0,14	-0,0676	0,1805	0,20	-0,0326	0,1768	0,20	-0,0326	0,1768	
2,0	0,08	-0,2594	0,1511	0,14	-0,1527	0,1453	0,22	-0,0882	0,1401	0,28	-0,0497	0,1402	0,28	-0,0497	0,1402	
2,2	0,20	-0,2619	0,0894	0,24	-0,1584	0,1013	0,31	-0,0954	0,1045	0,36	-0,0588	0,1095	0,36	-0,0588	0,1095	
2,4	0,32	-0,2477	0,0395	0,34	-0,1550	0,0664	0,40	-0,0960	0,0754	0,44	-0,0626	0,0843	0,44	-0,0626	0,0843	
2,6	0,44	-0,2242	0,0020	0,44	-0,1453	0,0367	0,49	-0,0920	0,0527	0,52	-0,0626	0,0638	0,52	-0,0626	0,0638	
2,8	0,56	-0,1965	-0,0241	0,54	-0,1324	0,0150	0,58	-0,0857	0,0350	0,60	-0,0603	0,0475	0,60	-0,0603	0,0475	
3,0	0,68	-0,1682	-0,0405	0,64	-0,1180	-0,0003	0,66	-0,0796	0,0219	0,68	-0,0567	0,0351	0,68	-0,0567	0,0351	
3,5	0,98	-0,1081	-0,0533	0,89	-0,0836	-0,0201	0,88	-0,0602	0,0016	0,88	-0,0454	0,0146	0,88	-0,0454	0,0146	
4,0	1,28	-0,0685	-0,0482	1,14	-0,0575	-0,0246	1,10	-0,0438	-0,0068	1,07	-0,0355	0,0040	1,07	-0,0355	0,0040	
5,0	1,88	-0,0291	-0,0310	1,64	-0,0279	-0,0201	1,54	-0,0234	-0,0098	1,47	-0,0203	-0,0031	1,47	-0,0203	-0,0031	
6,0	2,48	-0,0141	-0,0190	2,14	-0,0146	-0,0139	1,98	-0,0133	-0,0080	1,86	-0,0122	-0,0041	1,86	-0,0122	-0,0041	

### 19. Zwei gleichstarke, ungleichnamige Pole im gegenseitigen Abstand 1, beide in der Teufe 1. = horizontaler Magnet vom Polabstand 1.

Der Polabstand ist halb so groß wie bei Typus 9. Die Berechnung lehnt sich an jene des Typus 3 an, indem nur statt der Summe die Differenz der  $Z'_u$  und  $Z''_u$  bzw.  $H'_u$  und  $H''_u$  zu bilden ist. Tafel XXI stellt die berechneten Verläufe dar (s. folgende Tabelle S. 31 u.).

Interessant ist der Gegensatz zu Typus 9, dem horizontalen Magneten mit dem großen Polabstand 2. Die Nähe des zweiten Pols hat die Lage des Maximums von  $Z$  um 0,2 Einheiten links von dem wahren Ort verschoben. Infolgedessen ist auch die Mutung auf die Teufe erheblich verschlechtert. Der Amplitudenwert  $0,6804 \times 0,3535 = 0,2405$  tritt bei  $e = -1,05$  ein; das Maximum von  $Z$  liegt bei  $-0,2$ , der Abstand ist also 0,85, d. h. die Teufe wird um 15% falsch abgeschätzt und zudem der Ort des Pols zu weit außerhalb vermutet. Gleichheit der absoluten Werte von  $H$  und  $Z$  ergibt sich etwa bei  $e = -1,4$ , also die Teufe um 40% falsch.

Das Kennzeichen dafür, daß dieser Typus vorliegt, ist die Tatsache, daß das maximale  $H$  das maximale  $Z$  übertrifft.

$\alpha = 60^\circ$			$\alpha = 70^\circ$			$\alpha = 80^\circ$			$\alpha = 90^\circ$			$e$
$e''$	Typus 15 $Z$	Typus 15 $H$	$e''$	Typus 16 $Z$	Typus 16 $H$	$e''$	Typus 17 $Z$	Typus 17 $H$	$e''$	Typus 18 $Z$	Typus 18 $H$	
-4,07	-0,0008	-0,0024	-3,74	-0,0011	-0,0020	-3,56	-0,0013	-0,0018	-3,33	-0,0017	-0,0010	-10,0
-3,70	-0,0010	-0,0034	-3,39	-0,0013	-0,0028	-7,22	-0,0016	-0,0026	-3,00	-0,0023	-0,0009	-9,0
-3,33	-0,0013	-0,0047	-3,04	-0,0018	-0,0041	-2,88	-0,0021	-0,0038	-2,67	-0,0029	-0,0024	-8,0
-2,96	-0,0016	-0,0068	-2,69	-0,0023	-0,0061	-2,54	-0,0028	-0,0057	-2,33	-0,0011	-0,0035	-7,0
-2,59	-0,0019	-0,0105	-2,34	-0,0030	-0,0095	-2,20	-0,0036	-0,0091	-2,00	-0,0055	-0,0068	-6,0
-2,22	-0,0018	-0,0171	-1,99	-0,0035	-0,0159	-1,82	-0,0051	-0,0147	-1,67	-0,0076	-0,0125	-5,0
-1,85	-0,0001	-0,0304	-1,64	-0,0028	-0,0291	-1,48	-0,0056	-0,0278	-1,33	-0,0098	-0,0250	-4,0
-1,48	0,0081	-0,0601	-1,29	0,0037	-0,0590	-1,14	-0,0009	-0,0580	-1,00	-0,0077	-0,0556	-3,0
-1,11	0,0492	-0,1343	-0,94	0,0425	-0,1350	-0,80	0,0356	-0,1359	-0,67	0,0256	-0,1364	-2,0
-0,92	0,1172	-0,2069	-0,76	0,1095	-0,2097	-0,63	0,1022	-0,2130	-0,50	0,0926	-0,2173	-1,5
-0,74	0,2828	-0,3021	-0,59	0,2762	-0,3080	-0,46	0,2688	-0,3148	-0,33	0,2585	-0,3224	-1,0
-0,67	0,3981	-0,3297	-0,52	0,3916	-0,3371	-0,39	0,3848	-0,3454	-0,26	0,3766	-0,3571	-0,8
-0,60	0,5460	-0,3276	-0,45	0,5388	-0,3373	-0,32	0,5330	-0,3472	-0,20	0,5258	-0,3573	-0,6
-0,52	0,7068	-0,2717	-0,38	0,7017	-0,2828	-0,26	0,6982	-0,2938	-0,13	0,6923	-0,3063	-0,4
-0,44	0,8401	-0,1437	-0,31	0,8355	-0,1560	-0,19	0,8358	-0,1683	-0,07	0,8327	-0,1820	-0,2
-0,37	0,8896	0,0406	-0,24	0,8890	0,0264	-0,12	0,8897	0,0132	0,00	0,8889	0,0000	0,0
-0,30	0,8251	0,2939	-0,17	0,8272	0,2081	-0,05	0,8306	0,1942	0,07	0,8327	0,1820	0,2
-0,23	0,6767	0,3485	-0,10	0,6812	0,3321	0,02	0,6877	0,3180	0,13	0,6923	0,3063	0,4
-0,15	0,5015	0,3975	-0,03	0,5100	0,3819	0,09	0,5190	0,3683	0,20	0,5258	0,3573	0,6
-0,07	0,3435	0,3901	0,04	0,3559	0,3759	0,15	0,3672	0,3647	0,26	0,3766	0,3571	0,8
0,00	0,2195	0,3535	0,11	0,2348	0,3405	0,22	0,2484	0,3305	0,33	0,2585	0,3224	1,0
0,07	0,1298	0,3056	0,18	0,1473	0,2942	0,29	0,1624	0,2859	0,40	0,1726	0,2799	1,2
0,14	0,0668	0,2557	0,25	0,0862	0,2475	0,36	0,1024	0,2412	0,46	0,1131	0,2368	1,4
0,22	0,0243	0,2109	0,32	0,0445	0,2049	0,42	0,0604	0,2012	0,53	0,0722	0,1978	1,6
0,30	-0,0032	0,1709	0,39	0,0168	0,1682	0,49	0,0327	0,1662	0,60	0,0444	0,1642	1,8
0,37	-0,0210	0,1383	0,46	-0,0013	0,1474	0,56	0,0142	0,1371	0,67	0,0256	0,1364	2,0
0,44	-0,0318	0,1110	0,53	-0,0126	0,1119	0,63	0,0024	0,1129	0,74	0,0131	0,1133	2,2
0,52	-0,0367	0,0881	0,60	-0,0194	0,0908	0,70	-0,0052	0,0931	0,80	0,0041	0,0943	2,4
0,60	-0,0382	0,0696	0,67	-0,0241	0,0740	0,76	-0,0108	0,0771	0,87	-0,0015	0,0789	2,6
0,67	-0,0400	0,0553	0,74	-0,0258	0,0601	0,83	-0,0136	0,0638	0,93	-0,0051	0,0661	2,8
0,74	-0,0391	0,0435	0,81	-0,0252	0,0490	0,90	-0,0148	0,0532	1,00	-0,0077	0,0556	3,0
0,92	-0,0328	0,0235	0,98	-0,0235	0,0294	1,07	-0,0154	0,0341	1,16	-0,0088	0,0403	3,5
1,11	-0,0259	0,0125	1,16	-0,0195	0,0181	1,24	-0,0137	0,0225	1,33	-0,0098	0,0250	4,0
1,48	-0,0160	0,0029	1,51	-0,0129	0,0069	1,58	-0,0095	0,0104	1,67	-0,0076	0,0125	5,0
1,85	-0,0100	0,0000	1,86	-0,0085	0,0028	1,92	-0,0068	0,0053	2,00	-0,0055	0,0068	6,0

Die Minima von  $H$  sind gegen Typus 9 verkleinert. Rücken die Pole noch näher aneinander, so verringert sich das maximale  $Z$  und minimale  $H$  immer mehr, aber auch das maximale  $H$  fällt rasch ab (s. S. 34). Fallen die beiden ungleichnamigen Pole zusammen, so ist die Gesamtstörung, wie zu erwarten, Null.

$e$	$e''$	Typus 19 $Z$	Typus 19 $H$	$e$	$e''$	Typus 19 $Z$	Typus 19 $H$
-4,0	-5,0	0,0068	-0,0194	1,4	0,4	-0,6040	-0,0453
-3,0	-4,0	0,0173	-0,0378	1,6	0,6	-0,4816	-0,1401
-2,5	-3,5	0,0305	-0,0555	1,8	0,8	-0,3616	-0,1747
-2,0	-3,0	0,0578	-0,0840	2,0	1,0	-0,2641	-0,1746
-1,5	-2,5	0,1195	-0,1279	2,2	1,2	-0,1915	-0,1589
-1,0	-2,0	0,2641	-0,1746	2,4	1,4	-0,1395	-0,1383
-0,8	-1,8	0,3616	-0,1747	2,6	1,6	-0,1026	-0,1179
-0,6	-1,6	0,4816	-0,1401	2,8	1,8	-0,0765	-0,0997
-0,4	-1,4	0,6040	-0,0453	3,0	2,0	-0,0578	-0,0840
-0,2	-1,2	0,6804	0,1262	4,0	3,0	-0,0173	-0,0378
0,0	-1,0	0,6465	0,3535	5,0	4,0	-0,0068	-0,0194
0,2	-0,8	0,4667	0,5695	6,0	5,0	-0,0031	-0,0110
0,4	-0,6	0,1699	0,6985	7,0	6,0	-0,0016	-0,0069
0,6	-0,4	-0,1699	0,6985	8,0	7,0	-0,0009	-0,0045
0,8	-0,2	-0,4667	0,5695	9,0	8,0	-0,0005	-0,0032
1,0	0,0	-0,6465	0,3535	10,0	9,0	-0,0004	-0,0023
1,2	0,2	-0,6804	0,1262				

## 20. Zwei gleichstarke, ungleichnamige Pole im gegenseitigen Abstand 1, senkrecht untereinander = senkrechter Magnet vom Polabstand 1.

Wir haben den senkrechten Magneten schon beim Typus 19 gehabt, nur daß damals die Poldistanz doppelt so groß war, wie sie jetzt ist. Die Teufe des unteren Pols ist jetzt = 2, folglich sind die Charakteristiken  $L_Z$  und  $L_H$  des Einzelpols mit dem Faktor 0,25 zu multiplizieren, und die Stufen von  $e''$  sind zweimal größer als  $e'$ .  $e'_0$  und  $e''_0$  fallen zusammen.

$e'$	$e''$	Typus 20 $Z$	Typus 20 $H$	$e'$	$e''$	Typus 20 $Z$	Typus 20 $H$
—10,0	—5,0	—0,0009	—0,0005	—2,0	—1,0	0,0010	—0,0905
— 9,0	—4,5	—0,0013	—0,0006	—1,8	—0,9	0,0118	—0,1138
— 8,0	—4,0	—0,0017	—0,0010	—1,6	—0,8	0,0299	—0,1430
— 7,0	—3,5	—0,0024	—0,0017	—1,4	—0,7	0,0590	—0,1787
— 6,0	—3,0	—0,0035	—0,0030	—1,2	—0,6	0,1048	—0,2203
— 5,0	—2,5	—0,0053	—0,0057	—1,0	—0,5	0,1746	—0,2642
— 4,0	—2,0	—0,0081	—0,0124	—0,8	—0,4	0,2760	—0,3009
— 3,0	—1,5	—0,0111	—0,0309	—0,6	—0,3	0,4108	—0,3124
— 2,8	—1,4	—0,0111	—0,0378	—0,4	—0,2	0,5647	—0,2730
— 2,6	—1,3	—0,0104	—0,0467	—0,2	—0,1	0,6965	—0,1640
— 2,4	—1,2	—0,0087	—0,0579	0,0	0,0	0,7500	0,0000
— 2,2	—1,1	—0,0052	—0,0722				

Da die Kurven um den Wert  $e = 0$  symmetrisch sind, ist in der Tabelle nur die eine Hälfte wiedergegeben.  $Z$  wiederholt die Werte auf der negativen Seite mit gleichem,  $H$  mit umgekehrtem Vorzeichen. Tafel XXII stellt den Verlauf graphisch dar.

Der Abstand des Wertes  $0,75 \times 0,3535 = 0,265$ , von der Stelle des maximalen  $Z$  ist 0,85 statt 1, also auf 15% fehlerhaft mutend. Die  $H$ -Extreme liegen bei  $\pm 0,65$  statt 0,75, muten also schon besser. Übereinstimmung der  $Z$  und  $H$  bei  $\pm 0,8$ , also um 20% anders wie beim Einzelpol. Ein so kurzer und der Erdoberfläche naher Magnet ist eben nicht mehr wie ein Einzelpol zu verwerfen.

Es ist auch nicht die Absicht gewesen, diesen Typus der direkten Mutung wegen zu berechnen, vielmehr wird sich sein Gebiet der Anwendung erst im nächsten Abschnitt finden.

Mehr noch als der Einzelpol selbst werden die hier abgeleiteten Typen der schematischen Magnete in der Praxis der Mutungen Anwendung finden. Nur wird es natürlich die Frage sein, ob mit den Poldistanzen 1 und 2 eine genügende Annäherung an die magnetischen Verhältnisse des Untergrundes gegeben ist. Das kann nur der Geologe vorherwissen. Meint er, größere Polabstände wählen zu müssen, so ergibt sich jedoch die neue Rechnung auf demselben Weg, wie er hier angewandt worden ist, wenn man zur Ableitung der Faktoren  $\frac{1}{x}$  und der Stufen

von  $e''$  die Situation des tieferen Pols entsprechend den neuen geometrischen Anforderungen festsetzt.

Man kann sich auch darauf beschränken, nur den Typus des horizontalen und vertikalen Magneten der neuen Poldistanz abzuleiten und aus beiden den Typ für die gesuchte Neigung berechnen.

Bestimmen  $xyz$  die Lage eines Punktes in einem rechtwinkligen System,  $x$  nach magnetisch Nord,  $y$  nach magnetisch Ost und  $z$  vertikal nach unten wachsend,  $r$  den seither  $r_n$  genannten radius vector gegen den Nullpunkt des Koordinatensystems, der im Indifferenzpunkt des Magneten liegen möge, so lassen sich die bekannten Formeln für die Fernwirkung eines Magneten so ordnen, daß sich die Wirkung der Komponenten  $A$ ,  $B$ ,  $C$  des Moments des irgendwie schief gelegenen Magneten einzeln ergeben.

Es ist dann

$$X_x = -\frac{A}{r^3} + \frac{3A x^2}{r^5}; \quad Y_x = \frac{3A xy}{r^5}; \quad Z_x = \frac{3A xy}{r^5}$$

= Wirkung der horiz. Komp. in der  $x$ -Achse,

$$X_y = \frac{3B xy}{r^5}; \quad Y_y = -\frac{B}{r^3} + \frac{3B y^2}{r^5}; \quad Z_y = \frac{3B xy}{r^5}$$

= desgl. in der  $y$ -Achse,

$$X_z = \frac{3C xz}{r^5}; \quad Y_z = \frac{3C xy}{r^5}; \quad Z_z = -\frac{C}{r^5} + \frac{3C z^2}{r^5}$$

= desgl. in der  $z$ -Achse.

Aus diesen an sich recht bekannten Formeln ersieht man, daß in der Tat der Typus des horizontalen und des vertikalen Magneten imstande ist, alle denkbaren Lagenverhältnisse zu ermitteln.

**Abhängigkeit der Wirkung eines vertikalen Stabs von der Teufe des Indifferenzpunktes und der Poldistanz.** Um die Technik der Mutung mit der Hypothese des vertikalen Magnetstabes veränderlicher Poldistanz und Teufe zu erleichtern, soll nunmehr abgeleitet werden, welche Gesetzmäßigkeiten hier vorliegen.

Wir gehen von der Berechnung des Typus des senkrechten Magneten aus der Summe zweier Einzelpole gleicher Stärke aber verschiedenen Vorzeichens aus.

Der Maximalwert von  $Z$  in  $e = 0$  ist danach

$$Z_0 = \frac{1}{(r')^2} - \frac{1}{(r'')^2} = \frac{(r'')^2 - (r')^2}{(r')^2 (r'')^2}.$$

Sei  $l$  die Poldistanz,  $T$  die Teufe des Indifferenzpunktes, also der Mitte des schematischen Magneten, so ist

$$\begin{aligned} r' &= T - \frac{1}{2}l & \text{und} & & r'' &= T + \frac{1}{2}l \\ (r')^2 &= T^2 - Tl + \frac{1}{4}l^2 & (r'')^2 &= T^2 + Tl + \frac{1}{4}l^2 \\ (r')^2 - (r'')^2 &= -2Tl, \end{aligned}$$

also

$$(r')^2 (r'')^2 = T^4 - \frac{1}{2} T^2 l^2 + \frac{1}{16} l^4.$$

Da

$$l = r' - r'',$$

so ist

$$Z_o = \frac{2 T (r' - r'')}{T^4 - \frac{1}{2} T^2 (r' - r'')^2 + \frac{1}{16} (r' - r'')^4}. \quad (12)$$

Diese Formel gibt die gesuchte Abhängigkeit des  $Z_o$ -Wertes von der Teufe und der Poldistanz.

Sie ist für die Teufen  $T = 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 3,0, 4,0$  und  $5,0$  und die Poldistanzen  $0,125, 0,250, 0,500, 1,000, 1,500, 2,000, 3,000, 4,000$  und  $5,000$  berechnet und ergibt dann folgende Werte:

$T \setminus l$	0,125	0,250	0,500	1,000	1,500	2,000	3,000	4,000	5,000
0,5	2,066	4,553	14,21	$\infty$					
1,0	0,2519	0,5161	1,138	3,555	15,67	$\infty$			
1,5	0,0743	0,1502	0,3135	0,7500	1,580	3,842	$\infty$		
2,0	0,0313	0,0630	0,1333	0,2844	0,5079	0,8890	3,998	$\infty$	
3,0	0,0093	0,0186	0,0376	0,0784	0,1264	0,1875	0,3951	0,9601	3,967
4,0	0,0039	0,0078	0,0158	0,0323	0,0504	0,0711	0,1269	0,2222	0,4208
5,0	0,0020	0,0040	0,0080	0,0163	0,0251	0,0347	0,0525	0,0907	0,1422

Tafel XXIII gibt die graphische Darstellung dieser Funktion oben in großem, unten in kleinem Maßstab. Wenn der obere Pol die Erdoberfläche erreicht, wird  $Z_o$  unendlich groß; durchsetzt er sie, so wird  $Z_o$  zwar wieder kleiner, aber diese Fälle sind natürlich praktisch ohne Wert, deshalb hier nicht ausgefüllt.

Mit dieser Tabelle kann man arbeiten, sobald man genügend Unterlagen hat, um die Teufe wenigstens eines Pols anzunehmen, am ehesten des oberen. Da wir aber im praktischen Teil sehen werden, daß man dann viel einfacher die Lage des tieferen und damit auch die Poldistanz und sogar die Abweichung von der senkrechten Lage erhalten kann, so dient die Tabelle hauptsächlich dazu, um überhaupt die Abhängigkeit der Wirkung eines schematischen Magneten von seiner Teufe und seiner Poldistanz zu durchschauen. Bei der kleinen Poldistanz von  $\frac{1}{8}$  nimmt die Wirkung auf die Teufe 5 auf 1% ab, bei der Distanz  $\frac{1}{4}$  auf weniger als 1%, bei der Distanz  $\frac{1}{2}$  auf fast 0,5% des Wertes an der Erdoberfläche. Dagegen wächst  $Z_o$  bei gleicher Teufe mit der Poldistanz erheblich, da der obere Pol der Erdoberfläche näher kommt; das Absinken des unteren Pols macht sich nur umgekehrt mit dem Quadrat seiner Teufe bemerkbar.

**Abhängigkeit der Wirkung eines horizontalen Stabs von der Teufe und der Poldistanz.** Bei dem horizontalen Magneten ist das Charakteristische das Maximum der Horizontalintensität. Es liegt stets über dem Indifferenzpunkt, also um die halbe Entfernung der Pole ab-

stehend vom Punkt  $e = 0$ . Für die Teufe 1 ist sein Wert gleich dem Doppelten von  $L_H$ , da jeder Pol denselben Beitrag liefert, denn der Indifferenzpunkt liegt in bezug auf  $M'$  bei  $+e_n$ , in bezug auf  $M''$  bei  $-e_n$ . Wegen des verschiedenen Vorzeichens des  $M$  sind die  $L_H$  der betreffenden Stelle zu addieren. Ist die Teufe beider Pole  $\kappa$  mal größer, so sind die Werte von  $L_H$ , d. h. hier jener des Maximums, durch  $\kappa^2$  zu teilen.

Es findet sich so folgende Übersicht:

Pol- distanz	Ort d. $H_{\max}$	Wert $H_{\max}$ Teufe 1	Wert $H_{\max}$ Teufe 2	Wert $H_{\max}$ Teufe 3	Pol- distanz	Ort d. $H_{\max}$	Wert $H_{\max}$ Teufe 1	Wert $H_{\max}$ Teufe 2	Wert $H_{\max}$ Teufe 3
5,00	2,50	0,2562	0,0640	0,0285	1,00	0,50	0,7156	0,1789	0,0795
4,00	2,00	0,3578	0,0894	0,0398	0,50	0,25	0,4522	0,1130	0,0502
3,00	1,50	0,5120	0,1280	0,0569	0,25	0,125	0,2420	0,0605	0,0269
2,00	1,00	0,7070	0,1768	0,0786	0,125	0,068	0,1314	0,0328	0,0146
1,50	0,75	0,7658	0,1914	0,0851					

Bei 1,5 Poldistanz liegt bei allen Teufen der höchste Wert, von da an nach 0 zu nimmt der Wert rasch ab. Wir haben das schon bei Typus 19 besprochen. Tafel XX, Abb. d zeigt uns diese Zahlen in graphischer Form. —

Mit diesen Betrachtungen ist alles gegeben, um schiefe Magnete auch als Resultante von verschiedenen langen und tiefen horizontalen und vertikalen schematischen Magneten zu berechnen, ohne daß man jedesmal auf die einzelnen Pole, also auf den Einzelpol, zurückgeht.

## 21. Zwei Magnete unter $70^\circ$ Neigung im Abstand 1 der oberen (und unteren) Pole = schmale magnetische Platte unter $70^\circ$ Neigung.

Aus den schiefen Magneten von der Poldistanz 2 greifen wir nun einen heraus, um zu zeigen, wie aus ihnen andere Vorkommen gebildet werden können.

Aus Tafel XXIV ersehen wir die Situation der Magnete. Es befinden sich je zwei Pole gleicher Stärke und gleichen Vorzeichens in der Teufe 1 und je zwei in der Teufe 2,88, unter sich wieder vom gleichen aber vom entgegengesetzten Vorzeichen wie die oberen Pole. Der Ort der oberen ist  $e' = 0$  und  $e'' = +1$ , die der unteren  $e' = 0,68$  und  $1,68$ , d. h. es sind zwei Magnete von  $70^\circ$  Neigung gegeben. Zusammen stellen sie eine magnetische Platte dar, die unter  $70^\circ$  einfällt und in ihrer Längsrichtung magnetisiert ist.

Man könnte nun für jeden der 4 Pole die Charakteristik des Einzelpols heranziehen und so diese Polfolge bearbeiten. Einfacher kombinieren wir 2 schematische Magnete unter  $70^\circ$ , wobei der eine genau so liegt wie

bei Typus 16; für den anderen haben wir denselben Typus so anzusetzen, nur daß der Wert für  $e = 0$  bei  $e = +1$  eingetragen wird, usw. Es findet sich

$e$	Typus 21 $Z$	Typus 21 $H$	$e$	Typus 21 $Z$	Typus 21 $H$	$e$	Typus 21 $Z$	Typus 21 $H$
-4,0	-0,0063	-0,0450	0,0	1,1652	-0,2817	2,0	0,2335	0,4880
-3,0	0,0009	-0,0881	0,2	1,2188	-0,1290	2,2	0,1347	0,4061
-2,5	0,0235	-0,1410	0,4	1,2200	-0,0052	2,4	0,0668	0,3383
-2,0	0,0462	-0,1940	0,6	1,2117	0,0991	2,6	0,0204	0,2789
-1,5	0,1326	-0,3067	0,8	1,1914	0,2199	2,8	-0,0090	0,2283
-1,0	0,3187	-0,4431	1,0	1,1238	0,3670	3,0	-0,0265	0,1964
-0,8	0,4808	-0,5069	1,2	0,9745	0,5023	4,0	-0,0447	0,0671
-0,6	0,6747	-0,5415	1,4	0,7674	0,5796	5,0	-0,0324	0,0250
-0,4	0,8844	-0,5217	1,6	0,5545	0,5868	6,0	-0,0214	0,0097
-0,2	1,0650	-0,4295	1,8	0,3727	0,5441	7,0	-0,0125	0,0038

Vergleichen wir die graphische Darstellung der Tafel XXIV mit Tafel XVII, dem Einzelmagneten unter  $70^\circ$ , so sehen wir, daß  $Z$  über der Platte verbreitert ist, ähnlich wie Typus 3 der Folge zweier gleichnamiger Pole im Abstand 1 bei der Teufe 1 (Tafel IV). Daß es sich nicht allein um den letzteren Fall handelt, ersehen wir aus dem schiefen Abfall der  $Z$ -Kurve; dies ist das Hauptkennzeichen für das Vorhandensein des Typus 21. Er hindert etwas an der Ermittlung der Lage der oberen Pole.

Man mutet auf die Teufe der oberen Pole am besten durch die übereinstimmenden Werte von  $Z$  und  $H$  aus dem linken Zweig. Die Stelle liegt etwa bei  $-0,75$ , also bei  $3/4$  der Teufe. Wie dann weiter die Stelle des zweiten oberen Pols und jene der unteren zu erhalten ist, zeigen spätere Abschnitte. —

Man könnte jetzt wieder diesen Typus 21 verwenden, um den Fall zu behandeln, daß eine solche Platte sich weiter seitlich wiederholt. Es ist dann einfach der Typus 21 in dem gewählten Abstand ein zweites Mal anzusetzen und zu dem ersten zu addieren. Es ist das so einfach, daß auf die Anführung der Zahlen hier verzichtet wird.

Ist der eine der beiden ungleichnamigen Pole stärker als der andere, so bedeuten beide zusammen keinen Magneten; wir wollen eine solche Verbindung ein „Magnetoid“ nennen.

## 22. Zwei ungleichstarke, ungleichnamige Pole in gleicher Teufe 1 im gegenseitigen Abstand 2, der zweite Pol doppelt so stark wie der erste. = horizontales Magnetoid.

Dieser Typus ist das Analogon zu Typus 6, wo die Pole gleichnamig waren, und berechnet sich daher geradeso, nur daß diesmal die Differenzen zwischen  $L'$  und  $L''$  zu bilden sind an Stelle der Summen. Das Ergebnis ist (vgl. Tafel XXV):

$e$	Typus 22 $Z$	Typus 22 $H$	$e$	Typus 22 $Z$	Typus 22 $H$	$e$	Typus 22 $Z$	Typus 22 $H$
-4,0	0,0055	-0,0037	0,4	0,5026	0,7966	2,8	-0,9142	-0,6553
-3,0	0,0166	-0,0195	0,6	0,2377	0,9281	3,0	-0,6754	-0,6121
-2,5	0,0308	-0,0363	0,8	-0,0487	1,0105	3,5	-0,3207	-0,4394
-2,0	0,0608	-0,0647	1,0	-0,3535	1,0605	4,0	-0,1645	-0,3007
-1,5	0,1293	-0,1108	1,2	-0,6898	1,0766	4,5	-0,0923	-0,2102
-1,0	0,2903	-0,1637	1,4	-1,0646	1,0315	5,0	-0,0557	-0,1521
-0,8	0,4001	-0,1679	1,6	-1,4519	0,8786	6,0	-0,0242	-0,0875
-0,6	0,5379	-0,1377	1,8	-1,7711	0,5834	7,0	-0,0122	-0,0556
-0,4	0,6866	-0,0470	2,0	-1,9106	0,1789	8,0	-0,0069	-0,0381
-0,2	0,8010	0,1232	2,2	-1,8147	-0,2213	9,0	-0,0042	-0,0275
0,0	0,8212	0,3578	2,4	-1,5439	-0,5038	10,0	-0,0028	-0,0208
0,2	0,7138	0,6010	2,6	-1,2147	-0,6363			

Es ist eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Typus 9 des horizontalen Magneten vom Polabstand 2 vorhanden, nur daß die Symmetrie zwischen links und rechts verdorben ist. Der Typus 22 kommt in der Natur oft vor und ist erkennbar an den tiefen Abstiegen des einen Astes von  $Z$ , nämlich des über dem stärkeren Pol gelegenen.

Der Ort der Pole ist unter den Stellen der Extreme von  $Z$  zu suchen, wobei der schwächere eine leichte Unsymmetrie der Spitze von  $Z$  zeigt. Der linke Ast der Figur liefert aus  $0,8212 \times 0,3535 = 0,2903$  genau die Teufe 1, nur daß oben die Spitze etwa auf 5% unsicher in der Lage ist. Der rechte aus  $-1,9106 \times 0,3535 = 0,6754$  ebenfalls die Teufe 1 für den starken Pol unter  $e = +2$ . Die Mutung aus dem Abstand der Minima von  $H$  von dem Ort der Extreme von  $Z$  ist bei beiden Polen brauchbar; es findet sich links 0,80, rechts 0,75. Die Übereinstimmung der absoluten Werte an  $Z$  und  $H$  findet links mit 0,1 bei  $e = 1,6$ , rechts mit 0,58 bei  $e = +3,1$  statt, ist also nur rechts brauchbar.

## Die magnetische Platte.

Es ist klar, daß auch eine magnetische Platte in ein Aggregat von Einzelpolen aufgelöst werden kann, und daher ihre Wirkung auf der Erdoberfläche auf dieselbe Weise berechnet werden kann wie die anderen bisher behandelten Anordnungen. In vielen Fällen ist es aber nicht notwendig, auf den Einzelpol zurückzugehen, sondern mit einem der Typen zu arbeiten, die schon fertig vorliegen.

In der Abbildung 5 steht die Platte unter einer schiefen Magnetisierung; woher sie die hat, ist einerlei; sie kann eigenmagnetisch und induktiv sein. Die Schiefe sei  $\alpha$ . Der Er-

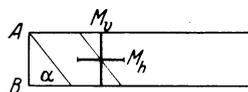


Abb. 5.

folg ist, daß die ganze Oberseite eine Magnetisierung der einen Art trägt, und die ganze Unterseite die vom anderen Vorzeichen. Man kann das schiefe Moment  $M$  in seine Vertikalkomponente  $M_v$  und horizontale  $M_h$  zerlegen, wobei  $M_v = M \cos \alpha$  und  $M_h = M \sin \alpha$  ist. Mithin kann man den Typus einer solchen Platte aus dem Typus des vertikalen Magneten mit dem Moment  $M \cos \alpha$  und dem Typus eines horizontalen vom Moment  $M \sin \alpha$  ermitteln, wenn man längs der Erstreckung der Platte eine genügende Anzahl solcher gekreuzter Magnete annimmt.

Ist die Platte homogen magnetisiert, so läßt sich das ersetzen durch eine genügende Anzahl von senkrechten Magneten und eine einfache Polfolge nach Typus 4 oder 5 für die Teufe  $1 + \frac{1}{2}d$ , wo  $d$  die Dicke der Platte ist. Oder man wendet eine solche Folge für die positiven (oder negativen) Pole der oberen Plattenfläche und eine zweite negative (positive) für die untere an. Ist sie inhomogen magnetisiert, so hat man mit Polfolgen ungleichstarker Pole zu arbeiten.

Alles dies sei nur angeführt, um zu zeigen, wie man die Genauigkeit weitertreiben kann, wenn man will. In folgendem ist jedoch stets noch einfacher vorgegangen worden.

Die Magnetisierung ist stets nur in vertikale Einzelmagnete vom Polabstand gleich der Dicke der Platte in der Vertikalen aufgelöst worden.

Wie unsere Abbildung 5 zeigt, wird dadurch den Besonderheiten des Randes der Platte nicht voll genügt: das kleine Dreieck  $ABC$  wird falsch in Rechnung gesetzt. Es ist das dieselbe Schwierigkeit, die man vorfindet, wenn man nicht ellipsoidische störende Körper durch magnetische Ellipsoide wiedergeben will. Die Besonderheiten einer magnetischen Platte berechtigen zu dieser Annäherung, denn die horizontale Komponente der Magnetisierung geben über der Platte selbst keine Variationen der beiden magnetischen Komponenten, sondern nur am Rande.

Wir wählen die Dicke der Platten in den meisten Fällen gleich 1, haben also vertikale Magnete vom Polabstand 1 zu kombinieren, d. h. brauchen den Typus 20.

### 23. Sechs vertikale Magnete vom Polabstand 1 der Reihe nach unter $e = 0, 1, 2, 3, 4$ und $5 =$ horizontale magnetische Platte von der Länge 6 in der Teufe 1 des oberen Randes.

Zur Berechnung haben wir den Typus 20 sechsmal nebeneinander anzusetzen. Es findet sich also folgende Übersicht:

$e = e_0 =$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	usw.
$e_1 =$	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	„
$e_2 =$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	„
$e_3 =$	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	„
$e_4 =$	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	„
$e_5 =$	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	„

Das Ergebnis ist folgendes:

$e$	Typus 23 $Z$	Typus 23 $H$	$e$	Typus 23 $Z$	Typus 23 $H$	$e$	Typus 23 $Z$	Typus 23 $H$
-4,0	-0,0223	-0,0244	0,4	0,9793	-0,2573	2,8	1,0728	-0,0040
-3,0	-0,0331	-0,0547	0,6	1,0089	-0,2304	3,0	1,0901	0,0309
-2,5	-0,0267	-0,0907	0,8	1,0541	-0,1938	3,5	1,0500	0,0735
-2,0	-0,0294	-0,1442	1,0	1,0810	-0,1338	4,0	1,0810	0,1338
-1,5	0,0178	-0,2496	1,2	1,0693	-0,0843	4,5	1,0008	0,2428
-1,0	0,1471	-0,4067	1,4	1,0447	-0,0702	5,0	0,9011	0,4037
-0,8	0,2582	-0,4791	1,6	1,0458	-0,0777	5,5	0,5086	0,5399
-0,6	0,4104	-0,5344	1,8	1,0734	-0,0690	6,0	0,1476	0,4067
-0,4	0,5935	-0,5474	2,0	1,0901	-0,0309	7,0	-0,0294	0,1442
-0,2	0,7732	-0,4999	2,2	1,0728	0,0040	8,0	-0,0321	0,0547
0,0	0,9011	-0,4037	2,4	1,0453	0,0075	9,0	-0,0223	0,0244
0,2	0,9586	-0,3116	2,6	1,0453	-0,0075	10,0	-0,0151	0,0125

Tafel XXVI gibt den Verlauf von  $Z$ , Tafel XXVII den von  $H$  über der Platte. Die wellenförmige Struktur zwischen den Plattenenden ist natürlich nur eine Folge des relativ großen Abstandes der Magnete. Hätte man sie näher aneinander angenommen, so wäre der Verlauf in der Weise gefunden worden, wie die übergezeichneten Linien angeben.

Die beiden Kurven geben das typische Bild einer begrenzten horizontalen Platte, das sich offenbar sehr von dem Typus des Einzelpols unterscheidet, aus dem es doch entstanden ist. Die Hauptkennzeichen sind

a) der ruhige Verlauf von  $Z$  über der Platte selbst; zwischen  $+1$  und  $+4$  verläuft die Vertikalintensität ohne weitere lokale Variationen. Bleibt man daher bei Messungen weit genug von den Rändern der Platte entfernt, so täuschen deren Ergebnisse geradezu vor, es sei kein störender Körper vorhanden.

b) der steile Abfall in  $Z$  über den Enden der Platte,

c) die Extreme in  $H$  dicht vor den Enden der Platte;

b) und c) zusammen nennt man die „Randwirkung“, den „Randeffekt“;

d) schon bald vor bzw. hinter der Platte wird  $Z$  negativ, aber der Betrag der negativen Störung ist sehr gering.

In bezug auf ihre Brauchbarkeit zur Mutung der Platte haben  $Z$  und  $H$  ihre Rollen vertauscht: es ist jetzt die Horizontalintensität, die die bessere Mutung gibt.

Die neue Regel heißt:

Der Ort der Extreme in  $H$  liegt bei der Teufe  $l$  der oberen Fläche um die halbe Teufe des oberen Randes vor bzw. hinter dem Rand der Platte; je tiefer die Platte, desto näher liegen diese Extreme den Rändern.

Sowohl  $Z$  wie  $H$  sind bei der horizontalen Platte symmetrisch zur Mitte der Platte.

## 24. Nach links auskeilende horizontale Platte.

Wir nehmen an, daß die unter 23 besprochene Platte nach links auf  $4e$  hin linear auskeilt. Es sind dann zu den Zahlen des Typus 23 der Einfluß von 3 weiteren senkrechten Magnetstäben zu addieren oder der Einfluß von 6 entsprechend gelegenen Einzelpolen; Tafel XXVIII zeigt die Anordnung der Pole und das Ergebnis der Rechnung.

Ist  $M_u$  der Pol unter  $e = \alpha$ , so ergibt sich für den Keil:

$M_{-1}$	oberer Pol in Teufe	$1,125 \frac{1}{\alpha} = 0,790$
	unterer „ „ „	$1,875 \frac{1}{\alpha} = 0,284$
$M_{-2}$	oberer „ „ „	$1,250 \frac{1}{\alpha} = 0,640$
	unterer „ „ „	$1,750 \frac{1}{\alpha} = 0,327$
$M_{-3}$	oberer „ „ „	$1,375 \frac{1}{\alpha} = 0,529$
	unterer „ „ „	$1,625 \frac{1}{\alpha} = 0,379$

und weiter nachstehende Tabelle der zugehörigen  $e$

	$e$	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	
$M_{-1}$	$e_o$	-7,88	-7,00	-6,12	-5,25	-4,38	-3,50	-2,62	-1,75	-0,88	0,00	
	$e_u$	-4,80	-4,27	-3,73	-3,20	-2,67	-2,13	-1,60	-1,07	-0,53	0,00	
$M_{-2}$	$e_o$	-6,4	-5,6	-4,8	-4,0	-3,2	-2,4	-1,6	-0,8	0,0	0,8	
	$e_u$	-4,57	-4,00	-3,43	-2,86	-2,29	-1,71	-1,14	-0,57	0,00	0,57	
$M_{-3}$	$e_o$	-5,09	-4,36	-3,64	-2,91	-2,18	-1,45	-0,73	0,00	0,72	1,45	
	$e_u$	-4,31	-3,69	-3,08	-2,46	-1,84	-1,23	-0,61	0,00	0,61	1,23	
	$e$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M_{-1}$	$e_o$	0,88	1,75	2,62	3,50	4,38	5,25	6,12	7,00	7,88	8,76	9,64
	$e_u$	0,53	1,07	1,60	2,13	2,67	3,20	3,73	4,27	4,80	5,33	5,87
$M_{-2}$	$e_o$	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,8	9,6
	$e_u$	1,14	1,71	2,29	2,86	3,43	4,00	4,57	5,14	5,72	6,29	7,46
$M_{-3}$	$e_o$	2,18	2,91	3,64	4,36	5,09	5,82	6,55	7,27	8,00	8,72	9,45
	$e_u$	1,84	2,46	3,08	3,69	4,31	4,92	5,54	6,15	6,77	7,38	8,00

Die Kombination mit 23 liefert dann folgende Zahlen:

$e$	Typus 24 Z	Typus 24 H	$e$	Typus 24 Z	Typus 24 H	$e$	Typus 24 Z	Typus 24 H
-4,0	-0,0197	-0,1826	0,2	1,0451	-0,0955	2,5	1,0344	0,0258
-3,0	0,2104	-0,2492	0,4	1,0308	-0,0765	3,0	1,0811	0,0490
-2,5	0,3447	-0,2566	0,6	1,0236	-0,0901	3,5	1,0428	0,0865
-2,0	0,4940	-0,2483	0,8	1,0559	-0,0796	4,0	1,0751	0,1436
-1,5	0,6050	-0,2586	1,0	1,0798	-0,0361	5,0	0,8972	0,4098
-1,0	0,7424	-0,2424	1,2	1,0628	-0,0048	6,0	0,1448	0,4108
-0,8	0,7856	-0,2356	1,4	1,0342	-0,0043	7,0	-0,0315	0,1471
-0,6	0,8404	-0,2418	1,6	1,0339	-0,0230	8,0	-0,0336	0,0569
-0,4	0,9108	-0,2458	1,8	1,0600	-0,0236	9,0	-0,0234	0,0260
-0,2	0,9908	-0,2094	2,0	1,0783	0,0079	10,0	-0,0157	0,0139
0,0	1,0381	-0,1490						

Der Effekt des Auskeilens ist eine Zerstörung des Ablaufs von  $H$  über dem Keil und eine Abschrägung des Randeffects bei  $Z$ . Der Übergang von der horizontalen Platte in die auskeilende liegt ungefähr

da, wo die Horizontalität von  $Z$  aufhört. Rechts kann man die Messungen behandeln, als bestünde nur eine horizontale Platte ohne Auskeilen, denn der Keil wirkt hier nicht mehr. Mithin läßt sich das rechte Ende aus der Lage des Maximums von  $H$  richtig muten. Das Ende des Keils dagegen wird immer schwer zu bestimmen sein, ist aber auch bergmännisch nicht von Wert.

## 25. Horizontale Platte in der Teufe 3 der oberen Fläche.

Derselbe Fall wie Nr. 23, nur dreimal so tief. Tafel XXIX zeigt die Situation der 6 vertikalen Magnete, die nur im Unterschied gegen 23 links von  $e = 0$  zu stehen kommen sollen, weil wir diese Lage für die nächste Aufgabe gebrauchen. Nr. 25 bietet zugleich mit Nr. 23 ein Maß für die Einwirkung des Absinkens der Platte. Es genügt natürlich, die Wirkung eines einzigen der 6 Magnete zu berechnen und diese Zahlen dann der Reihe nach von  $e = -5$  bis 0 anzusetzen und zu addieren. Für den einzelnen Magneten von der Poldistanz 1 in der Teufe 3 des oberen Pols ergibt sich

$e$	$e'$	$e''$	$Z$	$H$	$e$	$e'$	$e''$	$Z$	$H$
-10,0	-3,33	-2,50	-0,0006	-0,0008	-4,0	-1,33	-1,00	0,0020	-0,0099
-9,0	-3,00	-2,25	-0,0007	-0,0011	-3,5	-1,16	-0,88	0,0046	-0,0126
-8,0	-2,67	-2,00	-0,0008	-0,0016	-3,0	-1,00	-0,75	0,0071	-0,0153
-7,5	-2,50	-1,88	-0,0007	-0,0020	-2,5	-0,84	-0,62	0,0117	-0,0181
-7,0	-2,33	-1,75	-0,0008	-0,0025	-2,0	-0,67	-0,50	0,0199	-0,0201
-6,5	-2,16	-1,62	-0,0009	-0,0031	-1,5	-0,50	-0,38	0,0284	-0,0204
-6,0	-2,00	-1,50	-0,0008	-0,0039	-1,0	-0,33	-0,25	0,0380	-0,0170
-5,5	-1,84	-1,38	-0,0005	-0,0049	-0,5	-0,16	-0,12	0,0454	-0,0096
-5,0	-1,67	-1,25	-0,0002	-0,0061	0,0	0,00	0,00	0,0486	0,0000
-4,5	-1,50	-1,12	0,0004	-0,0077					

Nach der rechten Seite hin sind beide Kurven symmetrisch zu Null. Der ganze Fall ist analog dem Typus 19 des senkrechten Magneten von der Poldistanz 1 in der Teufe 1. Der Vergleich der Zahlen zeigt unmittelbar die Wirkung der Senkung auf die Teufe 3 und ist darum hier ausführlich gebracht worden.

Indem wir diesen Magneten jetzt auch unter die Stellen  $-1$ ,  $-2$ ,  $-3$ ,  $-4$  und  $-5$  setzen, bekommen wir den Typus 25:

$e$	Typus 25 $Z$	Typus 25 $H$	$e$	Typus 25 $Z$	Typus 25 $H$	$e$	Typus 25 $Z$	Typus 25 $H$
-8,0	0,0065	-0,0393	-3,5	0,1639	-0,0307	0,5	0,0900	0,0733
-7,5	0,0146	-0,0484	-3,0	0,1715	-0,0153	1,0	0,0660	0,0723
-7,0	0,0272	-0,0578	-2,5	0,1710	0,0000	1,5	0,0437	0,0668
-6,5	0,0437	-0,0668	-2,0	0,1715	0,0153	2,0	0,0272	0,0578
-6,0	0,0660	-0,0723	-1,5	0,1639	0,0307	2,5	0,0146	0,0484
-5,5	0,0900	-0,0733	-1,0	0,1536	0,0453	3,0	0,0065	0,0393
-5,0	0,1154	-0,0684	-0,5	0,1359	0,0588	3,5	0,0021	0,0317
-4,5	0,1359	-0,0588	0,0	0,1154	0,0684	4,0	-0,0013	0,0251
-4,0	0,1536	-0,0453						

Die beiden Kurven sind symmetrisch zur Stelle  $e = -2,5$ , d. h. zur Mitte der Platte. Der Vergleich mit Typus 23 zeigt, daß die Verläufe sehr abgeflacht sind. Infolgedessen heben sich die Regionen über der Platte nicht mehr so stark heraus; der horizontale Anteil in  $Z$  erstreckt sich nicht mehr über die gleiche Ausdehnung, gemessen an der Länge der Platte.

Der Einzelmagnet in der Teufe 3,5 des Indifferenzpunktes bringt ein Maximum von  $Z$  von der Größe 0,0486 zustande, während der Typus 19 0,6804 gab oder vierzehnmal mehr. Setzen wir in der Formel (12)  $r' - r'' = 1$  und  $T = 3,5$ , so findet sich in Übereinstimmung mit der Rechnung hier für den senkrechten Magneten in der Teufe 3,5 der Wert  $Z_0 = 0,0489$ . Die ganze Platte 23 kam zu dem ausgeglichenen Maximalwert 1,070, während 25 liefert 0,1710, also nur 6,3mal weniger. Man sieht daraus, daß das Absinken einer Platte viel langsamer einwirkt, als das eines vertikalen Magneten.

Die Mutung auf eine solche tiefliegende Platte ist offenbar sehr schwer, vor allem weil die Extreme von  $H$  schlecht ausgeprägt sind. Immerhin liegen sie noch genau im Abstand  $1/2$  vor den Enden der Platte, nur in dem Maßstab der  $e$  und nicht in  $1/2$  der Teufe.

## 26. Senkrecht verworfene horizontale Platten.

An der Stelle  $e = 0$  soll die horizontale Platte senkrecht nach unten verschoben sein, so wie dies Tafel XXX dartut. Beiderseits der Verschiebung liegen je 6 vertikale Magnete vom Polabstand 1; die verworfenen Ränder enthalten also zwei solcher Magnete untereinander. Die Berechnung setzt sich einfach aus Typus 23 und 25 zusammen. Das Ergebnis dieser Addition ist:

$e$	Typus 26 $Z$	Typus 26 $H$	$e$	Typus 26 $Z$	Typus 26 $H$	$e$	Typus 26 $Z$	Typus 26 $H$
-8,0	-0,0010	-0,0413	-3,0	0,1384	-0,0700	2,0	1,1173	0,0169
-7,5	0,0066	-0,0519	-2,5	0,1443	-0,0907	2,5	1,0599	0,0484
-7,0	0,0187	-0,0628	-2,0	0,1421	-0,1289	3,0	1,0966	0,0402
-6,5	0,0342	-0,0733	-1,5	0,1817	-0,2189	3,5	1,0521	0,1052
-6,0	0,0555	-0,0803	-1,0	0,3007	-0,3614	4,0	1,0797	0,1589
-5,5	0,0772	-0,0835	-0,5	0,6379	-0,4821	5,0	0,8971	0,4186
-5,0	0,1003	-0,0809	0,0	1,0165	-0,3353	5,5	0,5046	0,5511
-4,5	0,1172	-0,0772	0,5	1,0841	-0,1705	6,0	0,1436	0,4154
-4,0	0,1313	-0,0697	1,0	1,1470	-0,0615	7,0	-0,0258	0,1507
-3,5	0,1362	-0,0703	1,5	1,0889	-0,0072			

Nach der graphischen Darstellung sieht man, daß der Typus der oberen Platte bei weitem mehr hervortritt als der der unteren, sogar das über der Verwerfung wieder auftretende Minimum von  $H$  ist scharf ausgesprochen. Das Hauptkennzeichen des Typus 26 ist das langsame Abfallen des Maximalrückens von  $Z$  von der Verwerfungsstelle aus nach

dem rechten Ende der oberen Platte. Diese Erhöhung von  $Z$  über der Verwerfung ist überhaupt typisch für verworfene Platten.

Man sieht wieder, daß bei den Platten die Mutung ohne Messung der Horizontalintensität sehr ungünstig ist. Die Vertikalintensität hat entweder wie an den Plattenrändern einen sehr starken Gradienten oder über der Platte fast gar keine lokalen Unterschiede, was beides schwer durch Beobachtungen sicher genug festzulegen ist, während  $H$  günstiger variiert.

### 27. Zwei unter $45^\circ$ überschobene horizontale Platten.

Meist sind die in der Natur vorkommenden Verwerfungen längs geneigter Linien erfolgt. Wir bringen daher hier den Typus einer Verwerfung längs einer Geraden unter  $45^\circ$ . Das Schema der Anordnung der Magnete ist aus der Tafel XXXI zu ersehen. Die Rechnung besteht wieder nur in der Addition der Zahlen des Typus 23 und 25; die obere Platte steht wie seither, die untere schiebt ihr rechtes Ende unter  $e = + 2$ .

$e$	Typus 27 $Z$	Typus 27 $H$	$e$	Typus 27 $Z$	Typus 27 $H$	$e$	Typus 27 $Z$	Typus 27 $H$
-8,0	-0,0086	-0,0256	-1,5	0,1817	-0,2803	4,5	1,0154	0,2912
-7,5	-0,0075	-0,0304	-1,0	0,3186	-0,4220	5,0	0,9076	0,4430
-7,0	-0,0064	-0,0354	-0,5	0,6730	-0,5409	5,5	0,5107	0,5716
-6,5	-0,0052	-0,0413	0,0	1,0726	-0,3884	6,0	0,1463	0,4318
-6,0	-0,0040	-0,0473	0,5	1,1580	-0,2131	6,5	0,0583	0,2949
-5,5	0,0018	-0,0586	1,0	1,2346	-0,0885	7,0	-0,0297	0,1591
-5,0	0,0121	-0,0703	1,5	1,1811	-0,0152	7,5	-0,0309	0,1107
-4,5	0,0250	-0,0852	2,0	1,2055	0,0375	8,0	-0,0321	0,0634
-4,0	0,0437	-0,0967	2,5	1,1353	0,0733	8,5	-0,0272	0,0467
-3,5	0,0623	-0,1129	3,0	1,1561	0,1032	9,0	-0,0223	0,0309
-3,0	0,0823	-0,1231	3,5	1,0937	0,1403	9,5	-0,0187	0,0244
-2,5	0,1092	-0,1495	4,0	1,1082	0,1916	10,0	-0,0151	0,0180
-2,0	0,1242	-0,1895						

Abgesehen von den absoluten Werten unterscheidet sich der Typus 27 kaum von 26, nur daß  $Z$  etwas rascher gegen das Plattenende rechts abfällt.

Daraus ist schon zu schließen, daß der Winkel, unter dem eine Verschiebung stattfindet, aus magnetischen Messungen praktisch schlecht zu finden ist.

Hiermit schließen wir die Berechnung von Typen horizontaler Platten ab, wollen aber noch einige allgemeine Bemerkungen folgen lassen.

Wir können uns nun schon ein Bild machen, wie die Kurven von  $Z$  und  $H$  aussehen werden, wenn die horizontale Platte nach einer Seite unendlich ausgedehnt ist. Nähert man sich dem Rand der Platte, so steigt  $Z$  rasch an, und  $H$  bildet ein Minimum (oder Maximum, je nach dem Sinn der Magnetisierung).  $Z$  erreicht dann über der Platte ein

Maximum, das nun nicht mehr abfällt, und  $H$  wird über der Platte bald 0, um dann nicht mehr zu variieren.

Der Erfolg ist, daß der Rand der Platte die einzige Störungsstelle zu sein scheint, in der gegenüber dem Einzelpol  $Z$  und  $H$  ihre Rolle vertauscht haben.

Ist die Platte sehr dick, so nimmt die Wirkung der unteren Fläche rasch ab; der Typus nähert sich dann dem Typus 4, 5 oder einem ähnlichen, d. h. der Polfolge von Polen gleichen Vorzeichens.

Man kann leicht zeigen, daß die Werte von  $Z$  und  $H$  über der horizontalen Platte nicht bei Hinzunahme neuer Pole beliebig ansteigen, sondern einer Grenze zustreben.

Bei einer Platte von 10 Einzelpolen in gleicher Teufe (1) hat in dem Punkt  $e_0$  ein  $Z_0$ , das gegeben ist durch

$$Z_0 = 1 + L_x - \nu + L_n - (\nu - 1) + L_n - (\nu - 2) + \dots L_x,$$

entsprechendes gilt für  $H$ .

Allgemein ist

$$L_\nu = \frac{1}{\sqrt{(1 + e_\nu^2)^3}},$$

so daß  $Z_0$ ,  $H_0$  durch eine Reihe dargestellt ist. Da das Verhältnis des  $\nu + 1$ ten Glieds zum  $\nu$ ten immer ein echter Bruch ist

$$\frac{L_{\nu+1}}{L_\nu} = \frac{\sqrt{(1 + e_\nu^2)^3}}{\sqrt{(1 + e_{\nu+1}^2)^3}},$$

so konvergiert die Reihe, und die Summe strebt einer oberen Grenze zu.

Diese ist bei  $Z = 1,51$ , bei  $H = 0,81$ .

Man findet das bestätigt, wenn man aus Tab. I die Werte auszieht:

$e$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_Z$	1,0000	0,3535	0894	0316	0143	0075	0044	0028	0019	0014	0010
$L_H$	0,0000	0,3535	1789	0949	0571	0377	0267	0198	0153	0121	0098

und man addiert, und zwar unter Hinzunahme immer eines weiteren Gliedes.

Es finden sich so die zwei Reihen

$$Z = 1,3535, 1,4429, 1,4745, 1,4888, 1,4963, 1,5007, 1,5035, 1,5054, 1,5068, 1,5078$$

$$H = 0,3535, 0,5324, 0,6273, 0,6844, 0,7221, 0,7488, 0,7686, 0,7839, 0,7960, 0,8058$$

Gilt dies für den Pol des einen Vorzeichens in der Teufe 1, so ähnliches für den tieferen Pol des anderen Vorzeichens ebenfalls, und nicht nur für  $e_0$ , sondern für jeden Punkt, d. h. sowohl  $Z$  wie  $H$  streben über der Platte einem Grenzwert zu.

Offensichtlich geschieht dies bei  $Z$  schneller wie bei  $H$ . Folgende Tabelle gibt in Prozenten des Endwerts den Einfluß eines Pols, der von der Stelle  $e_0$  sich in der Entfernung 1, 2, 3 . . . 10 befindet.

von . . . . .	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$
in $Z$ . . . . .	10,40	4,40	2,40	1,40	0,91	0,62	0,43	0,31	0,21	0,15%
in $H$ . . . . .	56,40	34,30	22,60	15,50	10,80	7,60	5,10	3,20	1,70	0,50%

Man sieht daraus, wie die Mutung mit der Horizontalintensität viel weiter erstreckte Beobachtungen gebraucht als jene mit der vertikalen. Dasselbe gilt natürlich auch für Pole, die sich nicht gerade unter  $e = 0$  befinden, wenn sie nur voneinander um die Einheit abstehen und in 10 Exemplaren ununterbrochen folgen. Ist die Teufe größer als 1, so dividieren sich alle Zahlen durch  $T^2$ , damit auch die obere Grenze, nicht aber die Prozente.

### 28. Schwach geneigte Platte.

Tafel XXXII zeigt uns eine schwach gegen den Horizont geneigte Platte ( $14^\circ$ ), wiederum aus 6 Magneten bestehend. Jeder einzelne der 6 Magnete  $M_o$  bis  $M_{+5}$  trägt zum Ganzen eine zu seinem  $e$  symmetrische  $Z$ - und  $H$ -Kurve bei, genau wie bei den vorangegangenen Platten. Es genügt daher, nur den halben Ast wirklich zu rechnen;  $M_o$  liegt sowieso vor; es ist der Typus 20. Im einzelnen gilt, diesmal nur kurz gekennzeichnet bei jedem  $M_n$  die obere Zeile dem  $N$ -, die untere dem  $S$ -pol entsprechend:

							$1/x$
$M_1$	$e = -4 \sim e' = -4$ ;	$e = +1 \sim e' = 0$ ;	$e = +6 \sim e' = +4$	oberer Pol	0,640		
	$e = -8 \sim e' = -4$ ;	$e = +1 \sim e' = 0$ ;	$e = +10 \sim e' = +4$	unterer „	0,198		
$M_2$	$e = -4 \sim e' = -4$ ;	$e = +2 \sim e' = 0$ ;	$e = +5 \sim e' = +2$	oberer „	0,444		
	$e = -8 \sim e' = -4$ ;	$e = +2 \sim e' = 0$ ;	$e = +7 \sim e' = +2$	unterer „	0,160		
$M_3$	$e = -4 \sim e' = -4$ ;	$e = +3 \sim e' = 0$ ;	$e = +10 \sim e' = +4$	oberer „	0,327		
	$e = -8 \sim e' = -4$ ;	$e = +3 \sim e' = 0$ ;	$e = +10 \sim e' = +2,54$	unterer „	0,132		
$M_4$	$e = -10 \sim e' = -7$ ;	$e = +4 \sim e' = 0$ ;	$e = +10 \sim e' = +3$	oberer „	0,250		
	$e = -8 \sim e' = -4$ ;	$e = +4 \sim e' = 0$ ;	$e = +7 \sim e' = +1$	unterer „	0,111		
$M_5$	$e = -4 \sim e' = -4$ ;	$e = +5 \sim e' = 0$ ;	$e = +10 \sim e' = +2,22$	oberer „	0,198		
	$e = -8 \sim e' = -4$ ;	$e = +5 \sim e' = 0$ ;	$e = +10 \sim e' = +1,54$	unterer „	0,075		

Das Ergebnis ist:

$e$	Typus 28	Typus 28	$e$	Typus 28	Typus 28	$e$	Typus 28	Typus 28
	$Z$	$H$		$Z$	$H$		$Z$	$H$
-10	-0,0030	-0,0026	-3	-0,0252	-0,0605	4	0,3404	0,1465
-9	-0,0038	-0,0031	-2	-0,0151	-0,1502	5	0,2174	0,1623
-8	-0,0049	-0,0043	-1	0,1699	0,4007	6	0,1034	0,1414
-7	-0,0066	-0,0064	0	0,9245	-0,2966	7	0,0276	0,0945
-6	-0,0089	-0,0097	1	0,7751	0,0465	8	0,0018	0,0557
-5	-0,0129	-0,0157	2	0,5796	0,1098	9	-0,0051	0,0326
-4	-0,0186	-0,0289	3	0,4369	0,1232	10	-0,0056	0,0203

Diese Zahlen und die graphische Darstellung auf Tafel XXXII zeigen, daß ein ganz neuartiger Verlauf vorliegt, indem namentlich  $Z$  sofort nach dem Maximum über dem linken hohen Rand der Platte rasch abfällt. Ein solcher Verlauf ist in der Natur sehr oft zu finden. Der rechte tiefere Rand prägt sich gar nicht aus und ist darum auch nicht zu

muten. Der linke Zweig von  $H$  gibt den oberen Rand der Platte in der Teufe 1 gut wieder (nicht  $\frac{1}{2}$  wie seither).

Der Typus unterscheidet sich von der horizontalen Platte sehr deutlich.

### 29. Zwei schwach geneigte in der Mitte senkrecht verworfene Platten.

Dieser Typus, wiedergegeben durch Tafel XXXIII, berechnet sich einfach aus dem vorigen (28), indem man ihn zweimal ansetzt. Die Verwerfung ist bei  $e = +5$  angenommen worden; links von  $e = 0$  sind die Kurven so gut wie gleich denen des linken Astes von Nr. 28. Das Ergebnis ist:

$e$	Typus 29 $Z$	Typus 29 $H$	$e$	Typus 29 $Z$	Typus 29 $H$	$e$	Typus 29 $Z$	Typus 29 $H$
0	0,9116	-0,3123	+5	1,1419	-0,1343	+10	0,2118	0,1826
+1	0,7565	0,0176	+6	0,8785	0,1879	+11	0,1030	0,1450
+2	0,5544	0,0493	+7	0,6072	0,2043	+12	0,0028	0,0950
+3	0,4218	-0,0270	+8	0,4387	0,1789	+13	0,0000	0,0580
+4	0,5103	-0,2542	+9	0,3353	0,1791			

Das weitere rechte Ende klingt ab wie Typus 28. Die Verwerfung ist erkennbar an dem neuen höheren Maximum in  $Z$ , das genau an ihre Stelle fällt. Das relative Minimum in  $Z$  liegt in der Mitte der ersten Plattenhälfte, während das Ende der zweiten wiederum nicht zu erkennen ist.  $H$  ist sehr unregelmäßig variierend, aber immerhin liegt das Minimum um die Teufe 1 der oberen Kante der Platte von ihr ab. Auch dieser Typus kommt in der Natur oft vor. —

Steht die Platte sehr schief, so läßt sie sich besser durch eine Anzahl schiefer Magnete ersetzen, also etwa durch Typus 21 oder einen ähnlichen für eine andere Neigung. Liegen die unteren Pole sehr tief, so genügt Typus 2, 3, 4 usw.

Im übrigen wird es jetzt dem Leser leicht sein, sich neue Typen zu berechnen, die den ihm bekannten geologischen Untergrundverhältnissen am besten entsprechen.

Wir bringen nun noch einen geologisch wichtigen Sonderfall einer Platte.

### 30. Wellige dünne Schale, synklinaler und antiklinaler Faltung.

Die Gestalt der welligen Schale zeigt uns Tafel XXXIV. Wir lassen sie bei  $-8$  beginnen und  $+8$  enden. Minima sind in  $-4$  und  $+4$ , die Maxima der Erhebung in  $-8$ ,  $0$  und  $+8$ . Man wird das Ergebnis leicht auf eine andere Anordnung übertragen können. Das Element der Rechnung ist der vertikale Magnet von der Poldistanz  $\frac{1}{4}$ . Wegen der verschiedenen Teufe der Magnete kommen im ganzen 5 verschiedene Situa-

tionen vor, die nun alle entsprechend ihrer Stellung zur Skala der  $e$  zu kombinieren sind. Da somit die Berechnung im einzelnen nichts Neues bietet, bringen wir sogleich das Endergebnis.

$e$	Typus 30 $Z$	Typus 30 $H$	$e$	Typus 30 $Z$	Typus 30 $H$	$e$	Typus 30 $Z$	Typus 30 $H$
— 10	—0,0123	—0,0437	—6	0,1428	0,2003	—2	0,1384	—0,2188
— 9	0,0440	—0,1506	—5	0,0851	0,0190	—1	0,2909	—0,0933
— 8	0,4095	—0,2675	—4	0,0717	—0,0044	0	0,4610	0,0000
— 7	0,2938	0,0520	—3	0,0819	—0,0291			

Die Kurven sind natürlich gegen  $e = 0$  symmetrisch, so daß die rechte Seite dieselben Zahlen enthält, nur bei  $H$  im anderen Vorzeichen.

Der Anblick der Tafel XXXIV zeigt, daß  $Z$  nicht ohne weiteres im Takte der welligen Platte mitschwingt: während letztere eine reine Sinusoide ist, verhält sich  $Z$  ganz anders. Nur im allgemeinen gilt: wo die Welle hoch ist, haben wir Maxima, wo sie niedrig steht, Minima. Die höchsten Werte von  $Z$  liegen am Ort der höchsten Stellen der Platte; diese lassen sich also leicht muten. Dagegen finden sich die Orte der tiefsten Stelle der Platte schlechter, da der Gradient in  $Z$  über ihnen gering ist. Die Horizontalintensität ist recht unregelmäßig variierend und weniger gut zu gebrauchen. Typisch für das Vorhandensein einer Welle ist die dreieckförmige Gestalt der  $Z$ -Kurve über der Antiklinalen und die Trennung der  $Z$ -Maximargebiete voneinander durch eine gerade-so breite Zone geringer Veränderung der Vertikalintensität.

### 31. Die magnetische Mulde.

In den Untergrund eingelagert befindet sich eine im Querschnitt exakt kreisförmige Mulde als Sitz einer magnetisierten Schicht (Abb. 6). Ihre Berechnung sei ein Beispiel für komplizierte Verhältnisse. Die oberen Pole haben die Teufe 1. Man bekommt also die Wirkung der oberen Pole, indem man 9mal den Typus 1 des Einzelpols ansetzt, jedesmal um die Einheit verschoben. Da die Magnetisierung homogen angenommen wird, ist die Stärke aller Pole dieselbe. Der untere Pol 0 hat die Teufe 5, für ihn sind daher  $L_Z$  und  $L_H$  durch 25 zu dividieren oder mit 0,04 zu multiplizieren; entsprechend ist der Maßstab für sein  $e'$  5mal größer. Für jeden anderen unteren Pol gilt

$$r_o'' = 1 + \sqrt{q^2 - e_u^2},$$

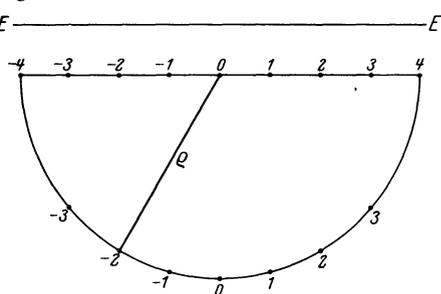


Abb. 6.

wo  $\rho$  der Radius der Kreismulde ist. Mithin sind die Teufen:

$$\begin{aligned} \pm 1 &= 4,873 \quad \text{und} \quad 1/x = 0,042 \\ \pm 2 &= 4,464 \quad \text{,,} \quad 1/x = 0,050 \\ \pm 3 &= 3,646 \quad \text{,,} \quad 1/x = 0,075 \end{aligned}$$

Die unteren und oberen Pole für  $\pm 4$  fallen zusammen und heben sich dadurch auf.

Danach sind die Beziehung der Skalen für die unteren Pole folgende:

$e =$	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2			
für	-3	-1,92	-1,64	-1,37	-1,10	-0,82	-0,55	-0,27	0	-0,27		
„	-2	-1,79	-1,57	-1,34	-1,12	-0,90	-0,67	-0,45	-0,22	0		
„	-1	-1,84	-1,64	-1,44	-1,23	-1,02	-0,82	-0,62	-0,41	-0,20		
„	0	-2,00	-1,80	-1,60	-1,40	-1,20	-1,00	-0,80	-0,60	-0,40		
„	+1	-2,26	-2,05	-1,84	-1,64	-1,44	-1,23	-1,02	-0,82	-0,62		
„	+2	-2,69	-2,46	-2,24	-2,02	-1,79	-1,57	-1,34	-1,12	-0,90		
„	+3	-3,56	-3,29	-3,01	-2,74	-2,47	-2,19	-1,92	-1,64	-1,37		
	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0,55	0,82	1,10	1,37	1,64	1,92	2,19	2,47	2,74	3,01	3,29	3,56
	0,22	0,45	0,67	0,90	1,12	1,34	1,57	1,79	2,02	2,24	2,46	2,69
	0	0,20	0,41	0,62	0,82	1,02	1,23	1,44	1,64	1,84	2,05	2,26
	-0,20	0	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
	-0,41	-0,20	0	0,20	0,41	0,62	0,82	1,02	1,23	1,44	1,64	1,84
	-0,67	-0,45	-0,22	0	0,22	0,45	0,67	0,90	1,12	1,34	1,57	1,79
	-1,10	-0,82	-0,55	-0,27	0	0,27	0,55	0,82	1,10	1,37	1,64	1,92

Man rechnet paarweise die Gesamtwirkung der Pole beider Vorzeichen, die vertikal untereinander sind; dann hat man nur 4 Polpaare abzuleiten, da  $M_{-3} = M_{+3}$  ist usw.

Das Gesamtergebnis ist:

$e$	Typus 31 $Z$	Typus 31 $H$	$e$	Typus 31 $Z$	Typus 31 $H$	$e$	Typus 31 $Z$	Typus 31 $H$
-7	-0,0361	-0,0861	-4	0,3230	-0,6594	-1	1,6698	-0,1248
-6	-0,0338	-0,1580	-3	1,2759	-0,6602	0	1,6846	0,0000
-5	0,0150	-0,3167	-2	1,5992	-0,3105			

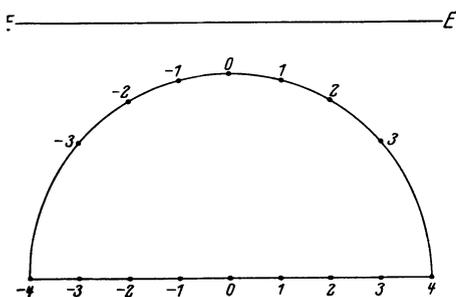


Abb. 7.

Beide Kurven sind um den Punkt  $e = 0$  symmetrisch, nur daß bei  $H$  sich das Vorzeichen umkehrt. Tafel XXXV zeigt den Verlauf der Kurven. Er hat Ähnlichkeiten zugleich mit der horizontalen Platte (Typus 23) und dem senkrechten Magneten. Je höher die Mulde steht, desto größer wird die Ähnlichkeit mit der Platte, desto weniger gekrümmt der Maximalteil von  $Z$ . Je tiefer

sie absinkt, desto mehr nähert sich die Wirkung der Mulde einem einzelnen vertikalen Magnetstab. —

Nr. 32. Ähnlich würde sich die Wirkung eines gleichgeformten, aber umgekehrt in der Erde liegenden Körpers berechnen lassen (Abb. 7). Die unteren Pole haben hier die Teufe 5 und die oberen 5 —  $\sqrt{q^2 - e_n^2}$ . Die Faktoren wären für

$$\begin{aligned} \pm 3 \ 1/x &= 0,425 \\ \pm 2 \ 1/x &= 0,651 \\ \pm 1 \ 1/x &= 0,887 \end{aligned}$$

Die Skalenbeziehungen sind bei

—3	für $e = -10$ : —	2,98,	bei $e = 0$ :	1,28
—2	„ $e = -10$ : —	5,21,	„ $e = 0$ :	1,30
—1	„ $e = -10$ : —	7,98,	„ $e = 0$ :	0,89
0	„ $e = -10$ : —	10,00,	„ $e = 0$ :	0,00
1	„ $e = -10$ : —	9,76,	„ $e = 0$ : —	0,89
2	„ $e = -10$ : —	7,81,	„ $e = 0$ : —	1,30
3	„ $e = -10$ : —	5,52,	„ $e = 0$ : —	1,28

Sind die oberen Pole in beiden Fällen gleichartig magnetisch, so geben die Summen des Typus 31 und dieses neuen zusammen den Einfluß einer magnetischen Linse in der Teufe 3 ihres Mittelpunktes. —

Ist der Körper unregelmäßig begrenzt (Abb. 8), und man kennt die Gestalt, so läßt sich offenbar aus genügend vielen Polen sein Gesamteinfluß ebenfalls berechnen. Geradeso kann man den Körper in eine Reihe von Kugeln auflösen bzw. seinen Querschnitt in eine Reihe von

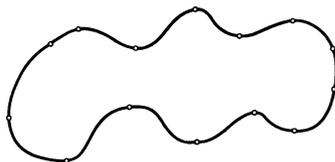


Abb. 8.

seinen Querschnitt in eine Reihe von Kreisen. Eine Kugel wird in ihrer Wirkung nach außen durch einen Magnetstab ersetzt, dessen Indifferenzpunkt in ihrem Zentrum liegt. Solche Rechnungen sind schon von anderer Seite vorgeschlagen worden. Immerhin treten sie an Einfachheit sehr gegen die hier vorgeschlagene Methode zurück, die lediglich mit einer Folge von Einzelpolen arbeitet.

## Die Anwendung der Methode.

Die Berechnung der verschiedenen Typen magnetischer Körper ist durch die Methode der Polfolgen gegenüber den seither bekannten Verfahren fraglos sehr vereinfacht worden. Von nun an wird jeder Praktiker, der die Gestalt und Teufe des störenden Vorkommens kennt, seine Wirkung auf der Erdoberfläche leicht ableiten können, was sicherlich ein Vorteil gegen den seitherigen Stand unserer Technik ist.

Meist aber ist die Aufgabe die umgekehrte: man will aus den magnetischen Beobachtungen Teufe und Gestalt des noch unbekanntes Körpers finden. Es ist der Hauptzweck der abgeleiteten Typen, auch hierzu zu dienen. Die Schwierigkeit liegt darin, daß ein und dieselbe magnetische

Wirkung von unzählig viel verschiedenen Körpern ausgehen kann. Alle Körper, deren Konturen von einem Punkt aus gesehen unter dem gleichen Winkel erscheinen, geben in diesem Punkt dieselbe Wirkung. In unserer Abbildung 9 gilt dies z. B. sowohl für die große Kugel als auch die kleine, als auch für den birnförmigen Körper oder irgendeinen anderen, wenn er nur die beiden Sehstrahlen nicht überschneidet. Diese „Mehrdeutigkeit“ schwebt stets über allen Versuchen, mit magnetischen und auch mit gravimetrischen Beobachtungen zu muten, und darf nie vergessen werden!

Es ist daher von vornherein nur dann auf praktisch brauchbaren Erfolg zu rechnen, wenn der Geologe oder Bergmann diese große Mannigfaltigkeit einschränken kann. Oft wird er dazu auch in der Lage sein. Er wird im voraus wissen, welche Teufen ungefähr zu erwarten sind. Er wird auch die Gestalt häufig kennen, wenigstens ob stark geneigte oder horizontale Schichtung besteht, wie Einfallen und Streichen wahrscheinlich sind, ob gangförmige oder nesterartige Anordnung besteht u. dgl. m. Dies gibt schon von vornherein an, welchen Typus man zu Rate zieht. Nur vielfache Beschäftigung mit den physikalischen Mutungsverfahren wird den geübten Praktiker erziehen können.

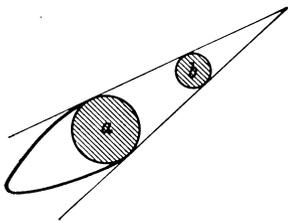


Abb. 9.

Wir wollen in folgendem zeigen, wie der einzelne sich an Hand der Typen in diese Technik der magnetischen Mutungen einarbeiten kann.

Das Verfahren ist ein schrittweises, ein graduelles.

In erster Annäherung arbeitet man qualitativ, d. h. man vergleicht das Profil der tatsächlich gemachten magnetischen Beobachtungen mit dem Profil der einzelnen Typen, um zu sehen, mit welchem die größte Ähnlichkeit besteht. Hierbei fängt man mit den einfachsten Typen an. Manchmal genügt schon der Einzelpol, obwohl es physikalisch einzelne Pole nur eines Vorzeichens nicht gibt. Sodann folgt der senkrechte Magnetstab, schließlich der geneigte. Sind die Kennzeichen der Platte da, d. h. zeigt die Vertikalintensität eine abgeflachte Spitze oder gar horizontale Strecken, so arbeitet man zuerst mit der Folge verschiedener Einzelpole gleichen Vorzeichens, dann mit nebeneinander stehenden senkrechten Magneten, schließlich mit den von uns gebrachten Plattentypen usw.

Paßt keiner der Typen gut, dann schreitet man dazu, sich nach der Methode der Polfolgen selbst passendere zu berechnen, indem man z. B. die Platten länger nimmt oder tiefer legt, je nachdem die geologischen Verhältnisse es andeuten. Durch eigenes Nachrechnen eines vorhandenen Typus wird man bald sich in diese neue Methode einarbeiten. Gerade

aus diesem Grunde sind die Typen nicht nur in ihren Endergebnissen gebracht worden, sondern auch der Gang der Rechnung geschildert worden.

Der qualitative Vergleich wird sich auch nicht darauf beschränken, durch einen bloßen Blick den passenden Typus zu finden, sondern man wird auch die Krümmungsverhältnisse zwischen Beobachtung und Type vergleichen und die angegebenen geometrischen Eigenschaften.

Ist dadurch eine engere Wahl zwischen den Typen getroffen, die in Frage kommen, so ist der nächste Schritt der quantitative Vergleich. Er ist der wichtigste für praktische Folgerungen.

Hierzu ist es notwendig, das Profil der Beobachtungen auf den Typus umzurechnen. Hierbei unterscheiden wir zwei Gattungen von Typen:

solche mit Vorherrschen von einzelnen Polen . . .	Gruppe 1
„ „ „ „ Plattencharakter . . .	„ 2

Erstere sind gekennzeichnet durch schmalen Bereich der Maximalwerte von  $Z$ , letztere durch breiten Bereich dieser Zone.

Bei Gruppe 1 setzen wir das beobachtete Maximum in  $Z = 1$ . Wir suchen nun den Wert 0,3535 auf dem Ast des Profils auf, der vom Einzelpol am wenigsten abweicht; damit finden wir Ort und Teufe eines äquivalenten Einzelpols und den Maßstab der Entfernungen. Nun ziehen wir von dem in die Einheit umgerechneten Beobachtungsprofil den Typus 1 ab. Die verbleibende Differenz wird dann auf die gleiche Weise weiteranalysiert.

Um den Gang der Prozedur zu zeigen, betrachten wir ein Beispiel.

Wir haben für 13, der Einfachheit wegen, äquidistante Beobachtungspunkte durch die Beobachtungen gefunden:

Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$\Delta Z =$	+0	+1	+4	+14	+53	+256	+757	+124	-130	-100	-49	-24	-12 $\gamma$ .

Die großen negativen Werte rechts zeigen, daß rechts mindestens ein negativer Pol steht. Zuerst handelt es sich darum, den positiven Pol links zu finden. Wir nehmen in ersterer Annäherung an, am linken Zweig wirke nur dieser Einzelpol  $Z$ . Maximum liegt bei Punkt 7. Der Wert  $757 \gamma \times 0,3535 = 268 \gamma$  liegt beim Einzelpol bei  $-1$ ; hier findet sich 268 fast genau bei 6; die Punkte liegen also gerade um  $e = 1$  voneinander ab. Numerieren wir die Beobachtungspunkte 1 bis 13 nach der  $e$ -Skala des Typus vom Einzelpol, so haben wir Punkt 1 =  $-6$ , 2 =  $-5$  usw.:

$e$ -Skala . .	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Typus 1 .	0,0044	0,0075	0,0143	0,0316	0,0894	0,3535	1,0000
$e$ -Skala . .	1	2	3	4	5	6	
Typus 1 .	0,3535	0,0894	0,0316	0,0143	0,0075	0,0044	

4\*

Wir setzen  $Z_{\max} = 757\gamma = 1$  und verwandeln damit die Beobachtungen in Zahlen des Typus 1; dies gibt:

+0,0000	0,0001	0,0005	0,0185	0,0700	0,3381	1,0000
0,1638	-0,1717	-0,1321	-0,0647	-0,0317	-0,0158	

Es ist nicht zu erwarten, daß auf der rechten Seite irgendeine Übereinstimmung mit dem Einzelpol vorhanden ist, da hier der noch unbekanntere rechte Pol stark wirkt. Bilden wir den Unterschied der Beobachtungen gegen den Typus 1, so haben wir:

-0,0044	-0,0075	+0,0138	+0,0131	+0,0194	-0,0154	0,0000
-0,1897	-0,2611	-0,1637	-0,0790	-0,0393	-0,0202	

Die Zahlen links verraten, daß die Annahme  $+757\gamma = 1$  nicht ganz richtig war. Das ist auch selbstverständlich, indem das Maximum von  $Z$  ja kleiner als bei Anwesenheit eines positiven Einzelpols an seiner Stelle ausfallen muß, weil der rechte negative Pol entgegenwirkt. Es wird also auch rechts die falsche Annahme  $757\gamma = 1$  noch wirken. Trotzdem können wir weiterarbeiten und sagen, daß in gleicher Näherung die Differenzen den Einfluß des gesuchten rechten Pols hauptsächlich enthalten. Wir wenden daher auf sie dieselbe Methode an und setzen sie gleich dem Einfluß eines negativen Einzelpols rechts. Wo liegt er?

Das Maximum der Differenzen liegt bei dem Punkte  $e = +2$ , d. i. bei dem Beobachtungspunkt 9; es ist  $-0,2611$ ;  $0,3535$  davon ist  $-0,0923$ . Diesen ersehen wir auf dem vom positiven Pol ungestörten Zweig, d. h. rechts von Punkt 2 auf und finden es etwa bei  $e = +3,75$ ; der Abstand vom Maximum ist demnach  $1,75$ ; wir nehmen daher an, daß der rechte negative Pol unter  $e = 2$  in der Teufe  $1,75$  liegt.

Da der positive unter  $e = 0$  in der Teufe 1 liegt, so haben wir es mit einem schiefen Magneten zu tun, dessen Neigung bestimmt ist durch

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{Differenz der Teufen}}{\text{Abstand der Örter}} = \frac{0,75}{2} = 0,375.$$

Dem entspricht der Winkel  $\alpha = 20^\circ 33' = 20^\circ,55 = 20^\circ,5$  rund.

Mit diesem Resultat in erster Näherung können wir nun zu besserer Annäherung kommen, wenn wir den Typus für diesen Winkel uns ableiten und mit den Beobachtungen vergleichen. Wir bilden das Mittel aus Typus 11, der für  $20^\circ$  gilt, und 12 für  $30^\circ$  und finden aus unseren Zahlen:

	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
20,5°	0,0008	0023	0064	0182	0652	3050	8932
	1	2	3	4	5	6	
	1263	-2060	-1431	-0630	-0285	0144	

während die Beobachtungen ergaben:

Beobachtung .	0,0000	0,0001	0,0050	0,0185	0,0700	0,3381	1,0000
Differenz . . .	-0,0008	-0022	-0059	0003	0048	0331	0,1068
Beobachtung .	0,1638	-0,1717	-0,1321	-0,0647	-0,0317	-0,0158	
Differenz . . .	0375	+0343	+0110	-0017	-0032	-0014	

Man sieht diesen Zahlen an, daß in der Mitte, genauer von  $e = -2$  bis  $+3$  die Beobachtungen zu große Werte geben. Eine nähere Kritik zeigt, daß die rechte Seite weiterreichend positive Differenzen besitzt; der rechte Pol ist noch zu sehr wirksam. Eine dritte Näherung wird ihn also tiefer verlegen. Im allgemeinen wird aber für die Praxis die zweite Annäherung schon genügen.

Ein anderer Gang der Untersuchung wäre der, daß man die Beobachtung von vorn herein der Reihe nach mit den Typen 10, 11, 12, 13 oder evtl. Zwischentypen in Vergleich setzt, d. h. bestimmt, bei welcher Neigung  $\alpha$  die Summe der Quadrate der Differenzen am kleinsten wird. Hier ist nun nicht das Maximum von  $\Delta Z = 1$  zu setzen, sondern der Reihe nach bei

$\alpha =$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$
$Z_1 =$	0,9003	0,8955	0,8908	0,8888

Bei der Durchführung der Rechnung zeigt es sich, daß dies für  $\alpha = 30^\circ$  zutrifft.

Damit hat man den Sitz und die Teufe beider Pole und das Einfallen des Magneten, d. h. alles das, was man sucht.

Ist die Störung von der Gruppe 2, der plattenförmigen, so liefert die beobachtete Vertikalintensität, wenn die Platte nicht zu tief liegt, ihren Anfang und ihr Ende auch praktisch gut genug. Genau gesprochen ist es der Gradient von  $Z$ , der hier in Frage kommt. Über der Platte selbst, weit genug ab von ihren Enden, ist der Gradient Null, d. h.  $Z$  ändert sich nicht. Oft führt dies dazu, daß die Beobachter die weitere Ausdehnung der Beobachtungen längs des Profils aufgeben, weil sie meinen, nun sei die Anomalie vorbei. Dadurch entgeht ihnen der zweite Rand der Platte, der unter Umständen für die geologische Verarbeitung noch von Bedeutung sein kann. Die Enden der Platte liegen da, wo der horizontale Marsch von  $Z$  abbiegt; dies gilt auch für die schiefe Platte, nur darf man hier nicht von einem horizontalen Teil von  $Z$  sprechen, sondern von einem langsam vom Maximum aus abfallendem Gang.

Gerade, wie hier mit  $Z$  gerechnet ist, kann auch die Horizontalintensität an Hand der Typen analysiert werden. Das geschieht auf dieselbe Weise, nur wird man bei Gruppe 1 zuerst nach  $Z$  den Sitz des wirksamsten Pols abschätzen, weil  $H$  sich nicht so gut dazu eignet, und nun den Maßstab für  $e$  auch bei  $H$  anwenden. Bei den plattenförmigen Vorkommen hat die Mutung mit der Horizontalintensität oft Vorzüge

vor der mit der vertikalen, wie wir bei der Besprechung der Typen gesehen haben. Namentlich ergibt sich, daß die Platte immer zwischen den Orten minimaler und maximaler  $H$ -Intensität liegt; der Abstand der beiden Extreme voneinander ist bis zwei Einheiten der Tiefe größer als die Länge der Platte. —

Um weiter in die Methodik einzuführen, besprechen wir nun eine kleine Anzahl von Fällen, die in der Literatur veröffentlicht worden sind, daher in ihren Einzelheiten nachgelesen werden können.

Zu den ersten derartigen Messungen, die dem Verfasser zur Deutung vorgelegt wurden, gehören die Beobachtungen von Dr. H. Reich in Oberschlesien<sup>1</sup>. Wir wählen hiervon zwei aus; sie erstrecken sich nur auf die Vertikalintensität.

**Profil Sersno-Schechowitz.** Der qualitative Vergleich zeigt, daß unser Typus 22, Tafel XXVI, der ähnlichste ist, nur daß der linke

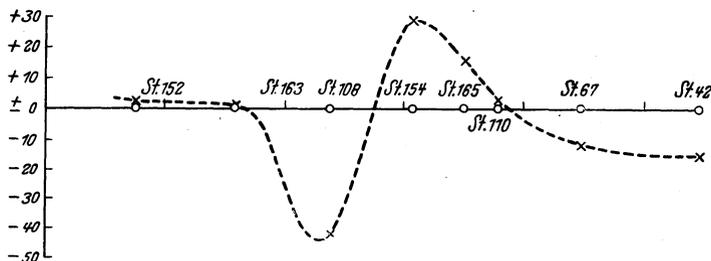


Abb. 10.

Pol der stärkere ist und die Polarität beider Pole umzukehren ist. Auf solche Umkehrungen muß man immer gefaßt sein. Der Abstand der Stationen ist ungleich, ebenfalls oft der Fall. Wir geben in Abb. 10 das Profil in Originalgröße und haben: 1 km = 16 mm oder 1 mm = 0,0625 km. Wir haben den linken Pol bei Station 108 =  $e_0$ , den rechten bei 154. Die Tiefe des ersten ergibt sich zu  $42 \times 0,3535 = 14,8 \gamma$  bei  $e = -0,7$  mm = 438 m Tiefe; hier liegt der stärkere Pol. Rechts findet sich  $+30 \gamma$ ; der Wert  $0,3535 \times 30 = 10,6 \gamma$  bei  $e = 18$  mm,  $18 - 11 = 7$  mm,  $7 \times 0,0625 = 0,437$  km also dieselbe Tiefe wie beim anderen Pol. Typus 22 liefert die Extreme 0,8212 und 1,9106, also die Amplitude 2,7318. Dem entspricht bei den Beobachtungen  $42 + 30 = 72 \gamma$ ; also ist eine Einheit des Typus gleich  $26,4 \gamma$ . Damit kann man den Typus in  $\gamma$  ausdrücken. In den Beobachtungen liegt das Minimum bei 0, das Maximum bei 11 mm, beim Typus haben wir 0 und  $+2$ , also  $2e = 11$  mm = 0,69 km; der Maßstab ist  $e = 5,5$  mm = 0,34 km. Nunmehr kann man die ganze Reihe der Beobachtungen oder, besser

<sup>1</sup> Reich, H.: Magnetische Messungen in Oberschlesien. Jb. preuß. geol. Landesanst. 44, 329—342 (1923). Berlin 1924.

gesagt, den ganzen Verlauf des gezeichneten Profils quantitativ mit dem Typus 22 vergleichen. Es findet sich, daß die beiden Pole nur wenig verschieden an Stärke sind, so daß statt des Magnetoids fast ein horizontaler Magnet vorliegt, also fast der Typus 9.

Der rechte Zweig des Typus 22 wird genommen von  $e = +2$  bis  $+5$ ; durch Multiplikation mit 26,4 werden die Zahlen des Typus  $-1,91$ ,  $-0,68$ ,  $-0,16$ ,  $-0,06$  in  $\gamma$  verwandelt  $= -50,4$ ,  $-18,0$ ,  $-4,2$ ,  $-1,6$ . Wir ziehen überall  $50,4 - 42,0 = 8,4\gamma$  ab, um das beobachtete Minimum mit dem des Typus zur Deckung zu bringen, so daß unsere berechneten Werte werden:  $-42,0$ ,  $-9,6$ ,  $+4,2$ ,  $+6,8$ , während beobachtet waren:  $-42,0$ ,  $-3,0$   $+3,0$ ,  $+4,0$ , das letzte extrapoliert. Erfolg: der im Typus 22 rechte Teil schmiegt sich gut an den in der Beobachtung linken an.

Zur Deutung des rechten Zweigs der Beobachtungen benutzt man den linken Typus von 0,  $-1$ ,  $-2$ ,  $-3$ , im Typus 0,82, 0,29, 0,06, 0,02 oder in  $\gamma$  21,6, 7,6, 1,6, 0,5. In 0 hat die Beobachtung  $30\gamma$ ; es

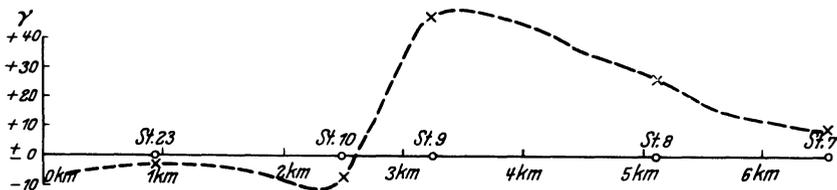


Abb. 11.

fehlen also  $30 - 21,6 = 8,4\gamma$  wie oben, und die Zahlen werden  $30,0$ ,  $16,0$ ,  $10,0$ ,  $8,9\gamma$ ; nur der äußere rechte Zweig wird demnach schlecht dargestellt, d. h. der in der Natur rechte Pol ist nicht halb so stark wie der linke. Nehmen wir die Extreme als Maß der Intensitäten der Pole, so ist der linke 1,14mal stärker als der rechte.

Das beobachtete Profil stimmt also überein mit einem Typus von zwei ungleichnamigen Magnetpolen in gleicher Teufe von 438 m, wovon der westliche 10% stärker ist als der östliche.

Nach Lage der geologischen Möglichkeiten ist das Gestein westlich stärker magnetisiert.

Bei der weiteren Verwertung dieses Resultats ist zu bedenken, daß alle Mutung hier nur längs eines einzelnen Profils stattfindet; erst die Hinzunahme benachbarter Profile kann mehr geben.

**Profil Schönwald-Gleiwitz.** Aus derselben Arbeit entnehmen wir die Beobachtungen über „die Orlauer Störung“. Abb. 11 zeigt das Ergebnis der Messungen. Der Vergleich mit unseren Typen läßt erkennen, daß hier Typus 28, Tafel XXXIII, die schwach geneigte Platte vorliegt. Das Maximum liegt bei 3,3 km der in dem Profil angebrachten Skala. Hier wäre der westliche Rand der Platte zu suchen; nach Osten fällt sie dann

langsam ein. Im Westen bildet sich sogar das dem Typus zukommende schwache Minimum in  $Z$  aus. In den Beobachtungen liegt es bei 2,4 km, also vom Maximum rund 1 km entfernt; im Typus liegt es 3 Teufen entfernt; folglich wäre die Teufe des oberen Randes der Platte bei Orslau rund 330—340 m. Da sie nun, wenn sie dem Typus genau folgt, auch ungefähr eine Dicke von 330 m hat, so ist ihre Mitte bei rund 500 m zu erwarten. Nun ist aber der Typus schneller abfallend als die Beobachtung, d. h. die Platte ist noch keine  $14^\circ$  geneigt wie der Typus. Ist man nicht mit diesen qualitativ erlangten Resultaten zufrieden, so wird man etwa den Typus von  $5^\circ$  Neigung sich ableiten und dann die Beobachtung mit ihm quantitativ vergleichen.

Ein genaueres Nachsehen zeigt, daß die linke Seite des beobachteten Profils, so schwach auch dort die Gradienten sind, doch etwas anders verläuft wie bei Typus 28, indem-

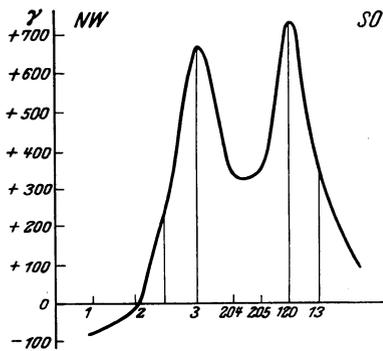


Abb. 12.

sich bei Station 23 ein relatives Maximum bildet. Wir finden diesen Gang am ehesten wieder in Typus 26, Tafel XXXI, bei der senkrecht verworfenen Platte. Es handelt sich bei unserem Beispiel demnach um eine im Westen tiefliegende Platte, die durch Verwerfung bei Station 9 im Osten gehoben und dabei schwach geneigt worden ist.

Da rechts die Vertikalintensität wächst, so muß der obere Rand südmagnetisch sein, also in Übereinstimmung mit einer Magnetisierung durch Induktion seitens des Erdmagnetismus. Nun ist die Ansicht der Geologen, daß gerade die linke Seite die gehobene ist<sup>1</sup>, dann ist das magnetische Bild nur verständlich, wenn die Platte links die Fähigkeit zur Magnetisierung verloren hat, vielleicht weil die Schicht so hoch gehoben wurde, daß eine geochemische oder eine Veränderung durch Verwitterung erfolgt ist. Dann sehen wir bei der Erklärung des linken Zweigs die Mehrdeutigkeit wirksam werden, die dem Verfahren nun einmal innewohnt. Und aus diesem Grunde haben wir das Beispiel gebracht, um unsere Anwendungen nicht günstiger erscheinen zu lassen, als sie sind.

**Profil Kupferberg-Prittwitzdorf<sup>2</sup>.** Längs des NE-Abgangs des Riesengebirges führte Herr Diplom-Ing. G. Meyer eine eingehende Vermessung der Vertikalintensität aus, der wir das Profil in der Richtung

<sup>1</sup> l. c. S. 329.

<sup>2</sup> Meyer, Gerh.: Magnetische Messungen im östlichen Riesengebirge. Abh. preuß. geol. Landesanst. Berlin, N. F. 105 (1927).

Kupferberg-Prittwitzdorf entnehmen, das nebenstehende Abbildung 12 wiedergibt (S. 23 a. a. O.). Der bloße Anblick schon zeigt, daß der Typus 2, Tafel III, vorliegt, d. h. zwei (annähernd) gleichstarke gleichnamige Pole in gleicher Teufe. Das Profil läuft über die Stationen Nr. 1, 2, 3, 204, 205, 120 und 13, von NW nach SE. Der NW-Pol hat das Maximum und also auch seinen Sitz bei Station 3, der SE-Pol bei 120; die Werte der Extreme sind 680 bzw. 750  $\gamma$ . Suchen wir mit dem Faktor 0,3535 auf den Außenzweigen die Werte 240 bzw. 265  $\gamma$  auf, so finden wir die in die Abbildung eingezeichneten Stellen. Der Abstand vom Ort des zugehörigen Extrems ist beide Male 4,2 mm. Der Abstand der Stationen 1 von 13 ist im Profil 30 mm, nach der dem Original beigegebenen geologischen Karte 1,32 km; folglich entsprechen 4,2 mm im Profil 185 m. Das ist die Teufe beider Pole.

**Profil zwischen Rohrlach und Kauffung.** Aus derselben Quelle S. 16 entnehmen wir nebenstehendes Profil (Abb. 13) zwischen Rohrlach und Kauffung. Es läuft von dem Granit des Riesengebirges von links her, durchaus gleichmäßig ohne jede Änderung bis zu Station 264, wo ein plötzlicher Anstieg erfolgt; von da an ist es unregelmäßig, doch reichen die Beobachtungen nicht weiter, so daß der weitere Gang nicht verfolgt werden

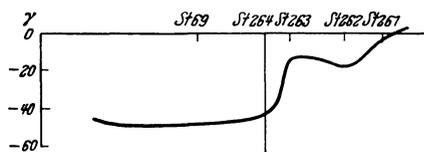


Abb. 13.

kann. Danach stellt sich der Granit als durchaus magnetisch gleichstark magnetisiert heraus; zwischen 264 und 268 verläuft das Profil im Grünschiefer, der offenbar entweder ungleich magnetisiert ist oder unregelmäßige Mächtigkeit hat oder von ungleicher neutraler Decke überlagert ist. Der starke Anstieg ist ein reiner Randeffekt, die Wirkung der diese Gegend durchziehenden Hauptverwerfung. Der zugehörige Typus ist nicht ausgerechnet. Am nächsten kommt ihm die linke Seite des Typus 23, Tafel XXVIII. Da der Sprung nur 20 bis 30  $\gamma$  beträgt, muß die Verwerfung nahe an die Oberfläche reichen; die spezifische Magnetisierung der Gesteine dürfte gleichmäßig sein.

**Profil Klein Flöthe-Oderwald.** Dies durch Abb. 14 wiedergegebene Profil ist ein Teilstück aus dem längeren Profil Salzgitter Höhenzug-Oderwald nach E. Kohl<sup>1</sup>. Dies Profil ist wegen des Streits über die Deutung der gemessenen Anomalien von besonderem Interesse. Links an das hier gebrachte Teilstück lehnt sich ein Salzdom an, und es war

<sup>1</sup> Kohl, E.: Beiträge zur erdmagnetischen Erforschung Norddeutschlands II. Jb. preuß. geol. Landesanst. 49, 124—137 (1928). Berlin 1928. — Zur erdmagnetischen Feststellung von Salzlagerstätten. Z. Kali u. verw. Salze 22, 129—142. — Vgl. auch die kritische Studie von H. Hunkel hierzu, Z. Metall u. Erz 25, 571 bis 582 mit Replik von Kohl und Duplik von Hunkel.

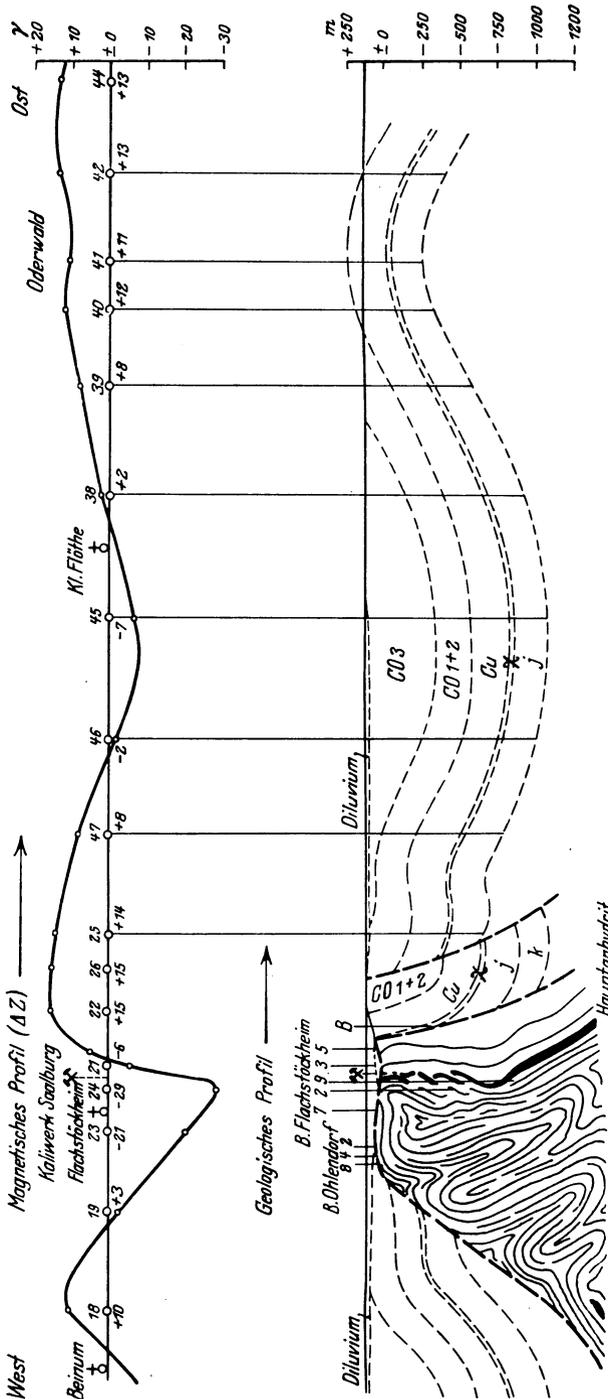


Abb. 14.

E. Kohls Ansicht, daß das starke Minimum über dem Salzdom die Ursache der darüberliegenden negativen Werte von  $Z$  sei. Demgegenüber will H. Hunkel dies Minimum dadurch erklären, daß das aufsteigende Salz lediglich die eisenschüssige Schicht zwischen Culm und Jura, die überall sonst wirke, unterbricht. Es sei bemerkt, daß die Schwankungen von  $Z$  trotz ihrer Kleinheit beobachtungstechnisch als gesichert gelten können. Das geologische Profil zeigt eine einfache Welle. Vergleichen wir die Beobachtungen mit dem Typus 30, Tafel XXXV, so sehen wir, daß in der Tat nichts weiter vorliegt als eine störende magnetische gewellte Schicht.

Dies läßt sich sogar aus den Zahlen des Typus 30 an Hand der Beobachtungen quantitativ belegen. In dem Typus schwankt  $Z$  vom Gipfel der Welle von 0,4610 zum Tal mit 0,0717 um 15,6% des Maximalwertes. In den Beobachtungen haben wir am Gipfel bei Station 41 (unter Ausgleichung der kleinen Ausbuchtung)  $+12\gamma$ ; beim Tal bei Station 45  $-7\gamma$ , Amplitude  $19\gamma$ . Diese entsprechen  $0,4610 - 0,0717 = 0,3893$  des Typus  $= 3,5\gamma$ . Danach umgerechnet ist die Talbeobachtung  $3,5\gamma$  über der Basis; es wird also das Minimum  $3,5$ , das Maximum  $3,5 + 7 + 12 = 22,5$ ; folglich ist die Amplitude 15,6%, genau wie beim Typus der Welle.

Zur Vervollständigung muß noch auf einen Trugschluß hingewiesen werden, da er für die Anwendung der Methode der magnetischen Mutung wichtig ist. H. Hunkel, der die Parallelität der Störungskurve mit der Welle des eisenhaltigen Streifens entdeckte, erwartet nun am Salzdom, wo sie horizontal ausstreiche (im Profil biegt sie allerdings in die Vertikale um), daß auch  $Z$  weiter horizontal verlaufe. Das kann natürlich nie der Fall sein, denn wenn eine magnetische horizontale Schicht endet, so bildet sich über dem Ende ein starker Absturz, wie wir das am linken und am rechten Rand des Typus 30 und auch an den Typen aller anderen Platten sehen. Außerdem kommt die nun einmal doch vorhandene, wenn auch schwache negative Wirkung des Salzes zur Geltung.

Unstetigkeiten der magnetischen Körper greifen stets auch auf die Nachbarschaft der Punkte über, worunter sie liegen.

**Profil Oberscheld.** Nachstehendes von W. Kegel aufgenommenes Profil (Abb. 15) zeigt ziemlich starke Anomalien über einem Vorkommen von Magnetit zwischen Schalstein links und Tonschiefer rechts. Wir finden aus dem geologischen Profil, daß der Magnetit unter  $67^\circ$  einfällt. Hierfür haben wir keinen Typus ausgerechnet, können ihn aber leicht aus den benachbarten von  $60$  und  $70^\circ$  berechnen. Es fällt auf, daß die Beobachtungen einen sehr schmalen Maximalstreifen haben, und daß nach rechts ein tiefes Minimum vorhanden ist, beides Abweichungen vom

Typus von 60 bis 70° Neigung, eher einem Einfallen von rund 20° entsprechend. Dies erregt die Vermutung, daß dem zu erwartenden Typus von 67° noch ein anderer aufgesetzt ist.

Wir suchen zunächst wieder den Maßstab der  $e$ -Skala. Die maximale Ordinate ist 37,4 mm = 1436  $\gamma$ . Durch Multiplikation mit 0,3535 erhalten wir 508  $\gamma$  = 13,2 mm. Wir suchen diese Ordinate am linken Zweig der Abbildung auf; der Abstand von der Ordinate des Maximums ist 4 mm; dies ist die Einheit der  $e$ -Skala. Diese Strecke tragen wir nach links und rechts über das Profil als Längeneinheit ab und müssen nun,

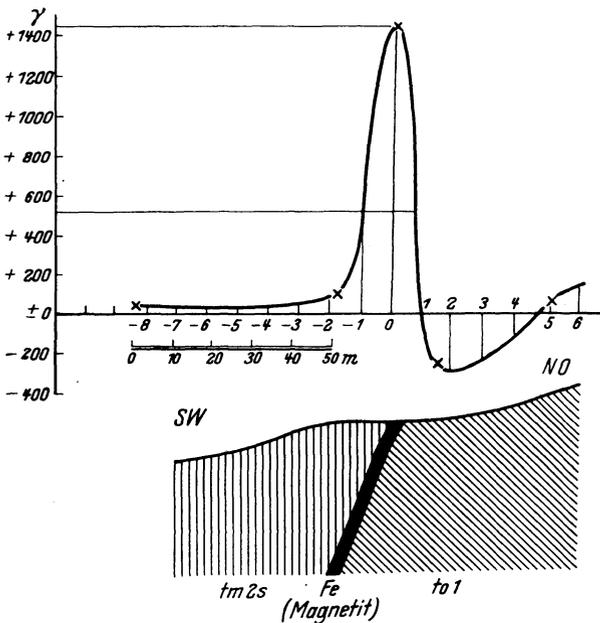


Abb. 15.

da die Beobachtungszahlen in der Originalarbeit<sup>1</sup> nicht angegeben sind, die Werte der Beobachtungen aus der Abbildung in Millimetern entnehmen: 1 mm = 38,4  $\gamma$ . Wir verfolgen das Profil von -6 bis +6, wobei nur zu beachten ist, daß unser Typus für 67° nach rechts einfällt, das geologische Profil aber im Einfallen nach links zeigt, wir müssen also für den Beobachtungspunkt  $e = -6$  den Wert des Typus für +6 einsetzen usw.

So haben wir folgende Zusammenstellung:

Beobachtungspunkt .	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Typus 67° . . . . .	-0,0089	-0138	-0214	-0294	-0072	2302	8892
Desgl. in $\gamma$ . . . . .	-17	-26	-40	-55	-14	+432	+1670
Beobachtung in $\gamma$ . . . . .	+12	+19	+27	+35	+73	+508	+1436
B-Typ 67° . . . . .	+39	+45	+67	+90	+87	+76	-234
Beobachtungspunkt .	1	2	3	4	5	6	
Typus 67° . . . . .	2782	0445	0050	-0020	-0030	-0027	
Desgl. in $\gamma$ . . . . .	+522	+84	+9	+4	+6	+5	
Beobachtung in $\gamma$ . . . . .	0	-311	-238	-146	+42	+115	
B-Typ 67° . . . . .	-522	-395	-247	-150	+36	+110	

<sup>1</sup> Kegel, W.: Erdmagnetische Untersuchungen im Lahn-Dill-Gebiet. Sitzgsber. preuß. geol. Landesanst. Berlin 1929 (4), 60.

Die Umrechnung des Typs in  $\gamma$  geschieht mit dem Faktor 1878; es ist nämlich die maximale Amplitude bei den Beobachtungen 1725  $\gamma$ , bei dem Typus 67° 0,9186.

Abb. 15a gibt nochmals die Beobachtungen und hierzu den Gang der Werte B-Typ der untersten Zahlenreihe. Der Gang dieser Zahlen zeigt den gesuchten verborgenen Einfluß. Er hat die Form einer umgekehrt wie der Magnetit magnetisierten Platte, die schwach nach oben geneigt ist (Spiegelung des Typus 28, Tafel XXXIII). Wir schließen daraus, daß der Tonschiefer magnetisch ist, während der Schalstein völlig unmagnetisiert erscheint. In der Tat war der Tonschiefer eisen-schüssig und durch den geologischen Prozeß seiner Entstehung unter Pressung ist sein Eisen zudem noch verdichtet worden.

Die Magnetisierung des Magnetits allein brächte eine Wirkung von maximal + 1670  $\gamma$  zustande, jene des Tonschiefers von - 522  $\gamma$ . Das Verhältnis 1670 : 522 = 3,2 müßte dem Verhältnis der spezifischen Magnetisierung der beiden Minerale entsprechen. Eine Be-

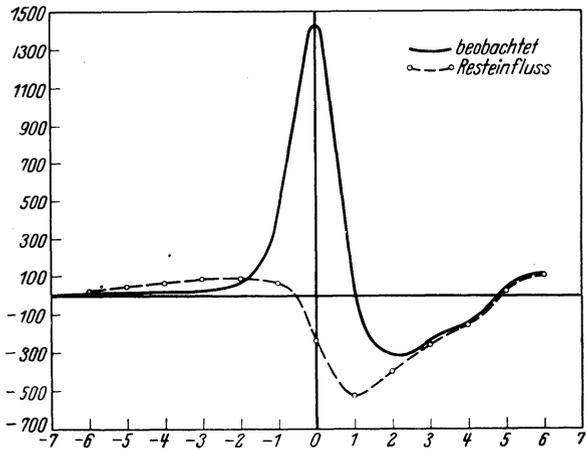


Abb. 15 a.

stimmung derselben würde eine Kritik abgeben über die Zulässigkeit der Zerlegung in diese zwei Anteile.

Vergleichen wir den Typus 28 mit den Zahlen Beobachtungstypus 67°, indem wir die Maxima untereinandersetzen, so haben wir:

Beobachtungspunkt .	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
B-Typ 67° in $\gamma$ . .	+39	+45	+67	+90	+87	+76	-234
Typus 28 . . . . .	+0,0066	0089	0129	0186	0252	0151	-1677
Desgl. in $\gamma$ . . . . .	+4	+6	+8	+12	+16	+10	-108
Differenz in $\gamma$ . . . .	+35	+39	+59	+78	+71	+66	-26
Beobachtungspunkt .	1	2	2	3	5	6	
B-Typ 67° in $\gamma$ . .	-522	-395	-247	-150	+36	+110	
Typus 28 . . . . .	-9245	-7751	-5796	-4369	-3404	-2174	
Desgl. in $\gamma$ . . . . .	-595	-499	-373	-281	-219	-140	
Differenz in $\gamma$ . . . .	+73	+104	+126	+131	+255	+250	

Die systematische Verteilung dieser Differenzen besagt, daß Typus 28 systematisch abweicht. Dies ist auch weiter nicht unerwartet, denn

28 gilt für eine Neigung von  $14^\circ$ , die hier nicht gerade auch in der Natur gegeben sein wird. Die Differenzen besagen, daß die Neigung kleiner sein muß; sie wird dem Gefälle des Geländes gleich sein, das — wenn das geologische Profil hierin naturgetreu ist — nur  $10^\circ$  beträgt. Will man in der Kritik weitergehen, so muß man sich den Typus der schiefen Platte für  $10^\circ$  ableiten und dann neuerdings wie oben quantitativ vergleichen.

## Der topographische Effekt. Elimination des Normalfelds.

**Der topographische Effekt.** Alle unsere Typen gelten für eine ungestört horizontale Ebene. Meist ist die Erdoberfläche wellig, oszillierend, am stärksten im Gebirge. Der Beobachter muß die von der Natur gebotene Oberfläche benutzen. Er muß daher seine Beobachtungen auf die horizontale Ebene reduzieren, um mit unseren Typen vergleichen zu können. Dies gibt den einen Anteil des topographischen Effekts. Er ist gegeben durch das orographische Relief, das man somit kennen muß. Man muß daher entweder aus Karten mit Niveaulinien Neigung und Senkung entnehmen oder selbst ein Nivellement ausführen.

Nehmen die orographischen Oszillationen die geologischen Schichten mit sich in die Höhe und in die Tiefe und erstreckt sich dies auch auf die magnetisch wirksamen Schichten, so tritt noch ein magnetischer Einfluß hinzu. Das im Tal unter dem Beobachter befindliche magnetische Vorkommen kann dann im Berg nebenan über ihn zu stehen kommen. Weiter ist es möglich, daß die Deckschicht zwischen dem Vorkommen und der Erdoberfläche selbst magnetische Körper enthält, deren Sitz nicht gesucht wird, weil sie bergtechnisch nicht von Wert sind. Diese beiden Möglichkeiten bilden den anderen Anteil des topographischen Effekts.

Wir nennen den ersteren den geodätischen, den zweiten den geomagnetischen topographischen Effekt.

Am Schluß des Kapitels über den Einzelpol haben wir schon den Einfluß einer Neigung der Erdoberfläche auf unsere Charakteristiken behandelt. Für kleine Neigungen ist in den dort gegebenen Tabellen die Reduktion auf die Horizontale schon berechnet. Aus den Formeln können die Zahlen für jede andere Neigung ermittelt werden. Danach kann wieder jeder die Typen für die Fälle berechnen, die er für geeignet findet. Hierbei kann folgende Überlegung nützlich sein:

Sei  $Z_n, H_n$  auf einen Nordpol,  $Z_s, H_s$  auf einen Südpol bezogen, beide unter einer schiefen Ebene von  $\alpha$ -Graden; sei ferner  $(r_o)_s = m(r_o)_n$ ,  $e_s = m e_n$ , so wird sein

$$Z_s = x Z_n \quad \text{und} \quad H_s = \mu H_n.$$

Durch Einsetzen von  $Z_s, Z_n, H_s, H_n$  in die Formeln (11) erhalten wir je eine Gleichung für  $\alpha$  und  $\mu$ , und es findet sich so

$$\alpha = \mu = \frac{1}{m},$$

$m$  ist gegeben durch

$$m = \frac{(r_0)_n + e \operatorname{tg} \alpha}{(r_0)_n} = 1 + \frac{e \operatorname{tg} \alpha}{(r_0)_n}.$$

Damit kann man alle Typen aus Polpaaren auf der schiefen Ebene bestimmen und so auch beliebige Kombinationen aus mehreren Polpaaren, wenn man für jedes Paar das  $m$  berechnet. Den Winkel  $\alpha$  wird man entsprechend dem orographischen Profil variieren lassen.

So ist auch die Reduktion unserer Typen auf eine Messungsfläche, die aus lauter Stufen kurzer, schiefer Ebenen besteht, im Prinzip möglich und damit der geodätische Anteil des topographischen Effekts gefunden.

An sich wäre es natürlich durchaus möglich, nach unserer Idee der Kombination von Einzelpolen auch eine Reihe von Typen für allerlei orographische Fälle abzuleiten. Wir bringen hier vorerst den Einfluß eines Hügels auf die Charakteristik des Einzelpols.

Die Erdoberfläche habe die Gestalt eines Hügels von der Form, wie ihn Tafel XXXVI links darstellt. Die Kontur besteht aus einem Bogen, über dem die Beobachtungspunkte stehen. Wir rechnen nach der Formel (11) und haben

Punkt . . . . .	1	2	3	4	5	6	7
Teufe des Pols . . . . .	1	1,5	2,4	3,0	3,5	3,7	3,8 = $r_0$
$e$ . . . . .	6	5	4	3	2	1	0
$\alpha$ in Grad . . . . .	0	45	38,7	31	21,8	11,3	0
$Z$ . . . . .	0,0044	0105	0236	0393	0534	0641	0692
$H$ . . . . .	-0,0267	0352	0394	0393	0305	0171	0000

Die Kurven setzen sich symmetrisch um 7 fort, nur daß  $H$  das andere Vorzeichen erhält. Unsere Tafel gibt die Kurven im seitherigen Maßstab und in 10facher Überhöhung. Man ersieht daraus die starke Abflachung gegen den Einzelpol unter horizontaler Erdoberfläche.

Wollte man unsere Regeln für die Mutung des Pols anwenden, so fände man zunächst, daß er unter dem Maximum von  $Z$ , dem Nullwerte von  $H$  liege, wie beim Einzelpol über der Horizontalen. Der Wert 0,3535 des Maximums = 0,0245 fällt auf  $e = 3,9$ , Abstand von  $Z = 3,1$ , während die wahre Teufe 3,8 ist. Die Übereinstimmung von  $Z = H = 0,0393$  liegt bei  $e = 4$ , gibt also die Teufe 3,0. Hier gilt demnach die Regel nicht mehr streng.

Der entgegengesetzte Fall ist der einer Mulde, eines Tals in unmagnetischem Gestein; siehe Tafel XXXVI rechts. Die Berechnung geschieht genau wie oben nach der Formel (11), nur daß  $h$  negativ ist.

Punkt . . . . .	1	2	3	4	5	6	7
Teufe des Pols . .	3,8	3,3	2,7	1,8	1,4	1,1	1,0
$e$ . . . . .	6	5	4	3	2	1	0
$\alpha$ in Grad . . . .	0	-45	-38,7	-31	-21,8	-11,3	0
$Z$ . . . . .	0,0106	0154	0240	0420	0962	3348	1,0000
$H$ . . . . .	-0,0168	0232	0356	0690	1375	3044	0,0000

Der Maßstab der Kurven ist diesmal der alte. Der Unterschied gegen den Einzelpol unter einer horizontalen Fläche ist, daß das Gebiet großer  $Z$ -Werte stark verschmälert ist. Der Ort des Pols ergibt sich unter dem Maximum von  $Z$ , die Teufe mit der Regel 0,3535 um 1 bis 2% zu klein, aus  $Z = H$  um 10% zu groß.

Für andere Formen des orographischen Profils gelten natürlich andere Zahlen; man wird das Profil sich aufzeichnen — es ist ja stets klar gegeben und bekannt — und wird dann unter Benutzung der Formel (11) den Einfluß auf das magnetische Profil sich leicht selbst ableiten können, zunächst für einen Einzelpol, dann auch für Kombinationen aus 2 und mehreren, je nach Bedarf. Aus Hügel und Mulde kann man jede Oberflächenform zusammensetzen.

Die Reduktion auf die horizontale Ebene bekommt man durch Subtraktion vom normalen Einzelpol. Diese Zahlen sind dann der geodätische topographische Effekt.

## Vertikalintensität.

Punkt . . . . .	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Normal Einzelpol .	0,0044	0075	0143	0316	0894	3535	1,0000
Hügel . . . . .	0,0044	0105	0236	0393	0534	0641	0,0692
Reduktion . . . .	0,0000	-0030	-0093	-0077	0360	2894	0,9308
Mulde . . . . .	0,0106	0154	0240	0420	0962	3348	1,0000
Reduktion . . . .	-0,0062	-0079	-0097	-0104	-0068	0187	0,0000

## Horizontalintensität.

Punkt . . . . .	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Normal Einzelpol .	-0,0267	-0377	-0571	-0949	-1789	-3535	0,0000
Hügel . . . . .	-0,0267	-0352	-0394	-0393	-0305	-0171	0,0000
Reduktion . . . .	0,0000	-0025	-0177	-0556	-1484	-3364	0,0000
Mulde . . . . .	-0,0168	-0232	-0356	-0690	-1375	-3044	0,0000
Reduktion . . . .	-0,0099	-0145	-0215	-0289	-0414	-0491	0,0000

Für die Fälle der Praxis muß man an den Stellen stärkerer Gradienten in kleineren Stufen rechnen, als  $e = 1$ .

Je tiefer das magnetische Gestein liegt und je kräftiger es magnetisiert ist, desto kleiner ist der Einfluß der Unebenheiten des Terrains auf die Messung. Umgekehrt erfordern schwache magnetische Kräfte (z. B. über Salz) und hohe Lage eine sorgfältige Berücksichtigung der Oszillationen des Bodenreliefs. —

Bisher war angenommen, daß das Erdreich zwischen störendem Körper und Erdoberfläche nicht magnetisch ist. Enthält aber die Deckschicht selbst magnetische Massen, so wirken diese wegen ihrer größeren

Nähe zum messenden Instrument unter Umständen stärker ein als das tiefere Vorkommen. Vollzieht die Deckschicht außerdem noch Oszillationen, bildet sie Berg und Tal, so wird der so zusammengesetzte geomagnetische topographische Effekt für die eigentliche Mutungsarbeit sehr lästig.

Ist die Erdoberfläche horizontal oder sind die Beobachtungen hierauf reduziert, so stellt das beobachtete magnetische Profil eine Summe des Einflusses aller magnetischen Massen dar, der mit unseren Typen verglichen werden kann; doch weiß man von vornherein, daß dem Haupttyp die oberflächlichen Kräfte aufgesetzt sind. Man wird dann zuerst versuchen, die vielen Unregelmäßigkeiten, welche die Beobachtungen zeigen müssen, zu erklären. Hierzu dienen besonders die Typen in dem Kapitel Polfolgen. Die gegen das Hauptvorkommen immerhin kleinen Nebenmassen darf man nämlich in erster Näherung als verschieden starke Einzelpole ansehen. Es kommen also die Typen 2, 3, 4, 5, 6 in Betracht, doch wird man oft sich selbst neue Typen berechnen müssen. Die längs des Profils aufeinanderfolgenden Pole werden meist unregelmäßig angeordnet sein, bald nahe, bald weiter voneinander abstehen, bald stärker, bald schwächer werden oder gar das Vorzeichen wechseln. Ihr Ort und damit ihr Abstand wird aus den einzelnen relativen Maxima oder Minima von  $Z$  gegeben, ihre Stärke durch die Amplitude dieser Extreme und ihrer Vorzeichnung aus der Richtung der Oszillation. Die Horizontalintensität versagt übrigens hier vollständig, da die einzelnen kleinen Massen einander zu sehr überdecken.

Hat man so aus dem magnetischen Profil die oberflächlichen Störungen eliminiert, so kann man das derart wegen der geomagnetischen topographischen Wirkung korrigierte magnetische Profil nach unseren Vorschriften mit den gezeichneten und berechneten Typen vergleichen.

Die Hauptschwierigkeit liegt darin, daß die von den oberflächlichen Massen stammenden Ausbuchtungen des Beobachtungsprofils oft sehr große Amplituden haben. Ganz besonders gilt das, wo sie bis zur Oberfläche ausgehen. Würde man auf der Erdoberfläche selbst messen, so ist leicht einzusehen, daß auch ein schwacher Pol in ihr eine unendlich große Störung in  $Z$  geben müßte. Nur weil jedes Instrument auf einem Stativ steht, wir also nicht auf, sondern über der Oberfläche messen, erhalten wir überhaupt in diesem Fall endliche Störungen. Ein Beispiel für ein solches Profil gibt nachstehende Abb. 16 nach C. Heiland<sup>1</sup>. Man sieht, wie der ausgehende Magnetit bis über 100 000  $\gamma$  große Störungen hervorruft.

<sup>1</sup> Heiland, C., W. Henderson u. J. A. Malkowsky: Geophysical Investigations at Caribou, Colo. U. S. Dep. Commerce, Technical Paper (Washington) 439 (1929).

In einer solchen Lage kann man sich noch auf eine andere Art helfen, die allerdings etwas kostspielig ist, aber unter Umständen sich lohnt. Sie besteht darin, daß man sich ein zweites Beobachtungsniveau in größerer Höhe künstlich herstellt, also eine Anzahl von Holzgerüsten nach Art der von der trigonometrischen Vermessung benutzten: ein inneres Gerüst enthält die Standplatte für das Instrument und ein äußeres jene für den Beobachter; beide voneinander erschütterungsfrei getrennt.

Der so erlangte Höhenunterschied ist gegen die oberflächlichen störenden Massen groß, während er gegenüber der tieferen Hauptmasse nichts ausmacht.

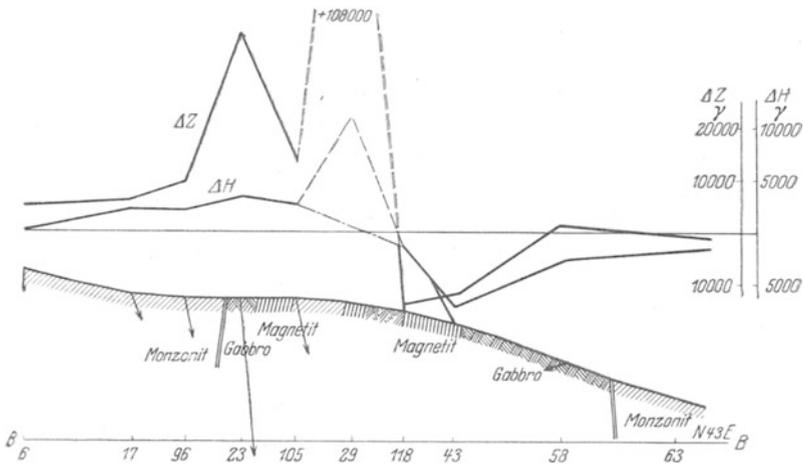


Abb. 16.

Ist  $\Delta Z_1$  die Amplitude der betreffenden Oszillation bei Messungen unten in Stativhöhe  $h_1$  auf der Erde und  $\Delta Z_2$  jene in der Höhe  $h_2$ , so ist

$$\Delta Z_1 = \frac{M}{h_1^2}; \quad \Delta Z_2 = \frac{M}{h_2^2}.$$

$h_1$  ist unbekannt, dagegen kennen wir  $\Delta h = h_2 - h_1$  und natürlich  $\Delta Z_1 / \Delta Z_2$ , und zwar ist

$$\sqrt{\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2}} = \frac{h_1 + \Delta h}{h_1} = 1 + \frac{\Delta h}{h_1},$$

also

$$h_1 = \frac{\Delta h}{\sqrt{\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2} - 1}},$$

womit wir  $h_1$ , die Teufe des oberflächlichen Störungskörpers an der Stelle ermitteln können. Die Genauigkeit hängt davon ab, wie gut wir

$\Delta Z_1/\Delta Z_2$  ermitteln können. Das  $\Delta Z$  ist so gemeint, daß es die Amplitude gegen das Hauptphänomen darstellt, also den Unterschied in  $\gamma$  zwischen dem relativen Maximum im Punkte  $A$  und einem charakteristischen Punkt  $B$ , der noch ganz von der Hauptstörung festgelegt ist. (Abb. 17). Auf der Erde ist das leicht zu bestimmen; in der Höhe müßte man nicht nur über Punkt  $A$ , sondern auch über  $B$  ein Gerüst errichten. Evtl. kommen sich die Gerüste so nahe, daß man die Innenpfiler durch ein Brett verbinden kann, auf das man dann das Instrument stellt.

Ist z. B. die Stativhöhe auf der Erde 1 m, jene im Gerüst 4 m, ferner unten  $\Delta Z_1 = 1600 \gamma$ , oben  $200 \gamma$ , so ist  $h_1 = 1,64$  m die Tiefe des als Einzelpol aufgefaßten oberflächlichen Vorkommens, und zwar gezählt von der Stativhöhe aus, also 0,64 unter der Erdoberfläche. —

In den Fällen, wo das taube Gestein der magnetische Körper ist, also z. B. wenn in stark magnetischem Diorit eine Mulde mit fast un-

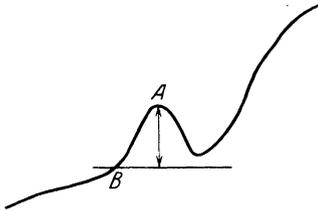


Abb. 17.

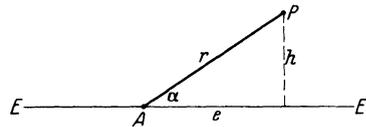


Abb. 18.

magnetischem Eisenkarbonat als das gesuchte Erz eingeschlossen ist, oder wenn Salzstöcke gemutet werden sollen, geben die reinen Reliefformen des Geländes nicht einen geodätisch topographischen Effekt, sondern einen geomagnetischen. Das geologische Vorkommen wirkt dann wie ein magnetischer Körper von umgekehrten Vorzeichen als dem, das der Gegend durch das allgemeine Erdfeld zukommt. Dann wirkt jede Vertiefung im Gelände im selben Sinne wie das Vorkommen, ohne Erz oder Salz zu enthalten. Diese Art geomagnetischer Effekt wird genau nach den Vorschriften der Elimination des geodätisch-topographischen behandelt, nur daß man mit negativen Polen arbeitet.

Wir müssen dann noch den Fall behandeln, daß durch die Gestaltung der Erdoberfläche Teile des magnetischen Hauptvorkommens über den Beobachtungspunkt hinaufgehoben werden. Die Station befindet sich dann entweder an einem Abhang oder in einem Tal.

Es sei  $A$  (Abb. 18) der Beobachtungspunkt,  $E$  eine durch ihn gelegte Niveaulfläche,  $P$  der Ort des höher als  $A$  befindlichen Pols von der Stärke  $M$ ,  $r$  der radius vector,  $\alpha$  seine Erhebung und  $h$  die Höhe von  $P$  über der Niveaubene.

Dann ist die Kraft, die  $M$  in  $A$  ausübt

$$K = \frac{M}{r_2},$$

$$r^2 = e^2 + h^2,$$

und die von  $M$  herstammende Vertikalintensität  $Z$  und Horizontalintensität  $H$  ist

$$Z = \frac{M}{r^2} \sin \alpha = \frac{M}{r^3} h = \frac{M h}{(e^2 + h^2)^{3/2}},$$

$$H = \frac{M}{r^2} \cos \alpha = \frac{M}{r^3} e = \frac{M e}{(e^2 + h^2)^{3/2}},$$

ganz in Analogie zu unsern Formeln im Kapitel über den Einzelpol, nur daß das Vorzeichen jetzt das umgekehrte ist. Danach ließen sich auch hierfür alle denkbaren Möglichkeiten Typen berechnen. Wenn große Teile des Vorkommens über  $A$  gehoben werden, könnte man das tatsächlich ausführen. Da man jedoch an die Erdoberfläche als Messungsfläche gebunden ist, wird man besser so verfahren, daß man die Schwankungen des Reliefs nach der Vorschrift am Anfang dieses Kapitels eliminiert.

Meist liegt jedoch das Erz so tief, daß es nicht selbst an der Gebirgsbildung teilnimmt. Es kann aber das Gestein, aus welchem der Berg gebildet wird, immerhin eine störende Magnetisierung tragen. Dann nimmt man in ihm, also über dem Beobachtungspunkt  $A$  geeignet gelegene Einzelpole oder Polpaare an. Auch hier kann man mit einem Höhengerüst über  $A$  arbeiten. Es ist dann:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{h [e^2 + (\Delta h)^2]^{3/2}}{\Delta h [e^2 + h^2]^{3/2}}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{[e^2 + (\Delta h)^2]^{3/2}}{[e^2 + h^2]^{3/2}}.$$

Über die wirklich unter solchen Umständen vorkommenden Störungen durch Hänge und Berge findet man wertvolle Zahlen in J. Koenigsberger „Einfluß von Geländeunebenheiten auf das erdmagn. Vertikalfeld“, Gerlands Beiträge z. Geophysik **20** (<sup>3</sup>/<sub>4</sub>) S. 293—307. 1928.

Im allgemeinen ist die Natur dem Menschen hier freundlicher als einige schlimme Erfahrungen bei bestimmten ungünstigen Verhältnissen befürchten ließen, denn die meisten dem Verfasser vor Augen gekommenen magnetischen Profile zeigten keine störenden Massen zwischen dem wirkenden Gestein und der Erdoberfläche.

Es gibt übrigens noch eine andere Möglichkeit, solche Unregelmäßigkeiten in der Verteilung der Massen zu ermitteln, sogar sie zu messen, ein Weg, der allerdings bis jetzt noch nicht bestritten ist. Er besteht in der Ermittlung der Inhomogenität des magnetischen Felds durch ein

dazu geeignetes Instrument. Auch das Instrument besteht seit langem, ist aber für diese Zwecke bisher noch nie angewendet und muß auch für sie in neue Gestalt gebracht werden: es ist der „Doppelkompaß“ von Bidlingmaier. Es ist berufen, in der Mutungstechnik beim Magnetismus dieselbe Rolle zu spielen wie die Torsionswaage von Eötvös bei der Gravimetrie, denn es gibt die Änderungen der Krafrichtung bzw. die Krümmungen der Potentialflächen, also Daten, die gerade für die störenden Einflüsse naher, ungleich verteilter magnetischer Körper wesentlich sind. Wir wollen hier, allerdings nur kurz, das Prinzip schildern.

Abb. 19 zeigt einen oberen Magneten  $SN$  und im Abstand  $e$  einen unteren  $S'N'$ , im Moment gleich, die Drehpunkte senkrecht untereinander. Jeder Stab unterliegt zwei Drehmomenten, jenem des Erdfelds (Horizontalintensität), das ihn in die Ebene des magnetischen Meridians bringen will, und dem des anderen Magneten, das ihn um den Winkel  $\varphi$  bzw.  $\varphi'$  ablenkt, den einen nach der einen, den anderen nach der anderen Seite. Sie spreizen dadurch um den Winkel  $\psi$ . Im homogenen Feld der Erde ist

$$H = K \cos \frac{1}{2}\psi,$$

wo  $K$  eine Instrumentalkonstante ist; höhere Glieder sind hier vernachlässigt. So wird das Instrument namentlich auf See- und Luftfahrzeugen gebraucht, wobei die Magnete durch Kompaßrosen ersetzt sind, woher der Name stammt.

Im homogenen Feld ist in  $\psi = \varphi + \varphi'$ ,  $\varphi = \varphi'$ ,  $\varphi$  nach West,  $\varphi'$  nach Ost gezählt. Besteht zwischen der Richtung des magnetischen Felds oben und unten eine Differenz, so wird zwar  $\varphi$  oben und  $\varphi'$  unten absolut genommen gleich sein, aber nur im Unterschied gegen die jeweilige Feldrichtung. Ist die Differenz der Feldrichtungen  $\delta$ , so haben wir, je nachdem ob der obere Magnet nach W und der untere nach E abgelenkt ist oder die umgekehrte Gleichgewichtslage hergestellt ist,

$$(H + \frac{1}{2}h) \sin (\varphi - \frac{1}{2}\delta) = K M \sin \psi_1$$

oder

$$(H - \frac{1}{2}h) \sin (\varphi' - \frac{1}{2}\delta) = K M \sin \psi_1,$$

worin noch  $h$  die Differenz der Intensität oben und unten bedeutet.  $\psi_1$  steht, weil der jetzige Spreizungswinkel nicht mehr identisch ist mit dem im homogenen Felde. Mißt man den Winkel  $\psi_1$  bei der

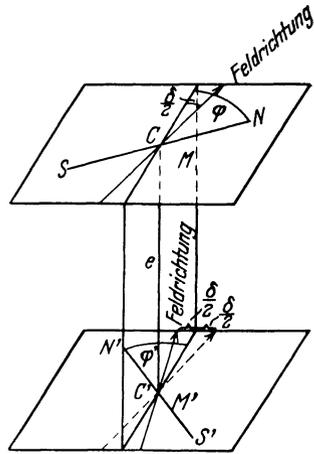


Abb. 19.

einen und  $\psi_2$  bei der anderen Gleichgewichtslage, so erhält man damit  $\delta$  nach

$$\psi_1 - \psi_2 = \frac{2\delta}{\operatorname{tg}^2 \frac{1}{2} \psi_0}.$$

Die Methode ist sehr empfindlich<sup>1</sup>. —

**Elimination des Normalfeldes.** Die im Felde ausgeführten Beobachtungen liefern bei unkompensierten Instrumenten die Summe der Störungen und des gesamten magnetischen Feldes der Erde. Bei allen unseren Typen ist vorausgesetzt, daß das normale Feld nicht mehr in den Beobachtungen enthalten sei.

Das Erdfeld ist auf die Strecken der üblichen magnetischen Mutungsmessungen meist so gleichmäßig verteilt, daß es als eine lineare Funktion der geographischen Breite und Länge angesehen werden kann. Findet die Mutungsmessung in einem Lande statt, daß magnetisch vermessen worden ist, so findet man auch meist im Text dieser Publikationen solche Formeln angegeben, die man nun anwenden kann. Wo nicht, so muß man sie sich selbst ableiten, wobei man ansetzt:

$$E = E_0 + a(\varphi - \varphi_0) + b(\lambda + \lambda_0),$$

worin  $E$  ein beliebiges magnetisches Element ist, das man gerade gebraucht,  $E_0$  sein Wert entweder an einem mittleren Ort oder an einem so weit abseits liegenden, daß er nicht mehr in das lokale Störungsgebiet hineinfällt,  $\varphi_0$ ,  $\lambda_0$  sind die Koordinaten des Normalpunktes.  $a$ ,  $b$  und  $E_0$  werden nach den Zahlen der Landesaufnahme mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate errechnet.  $E_0$  wird dann zunächst für den Zeitpunkt — die Epoche — gelten, für welche die Landesaufnahme gilt. Es muß dann mit Hilfe der Beobachtungen der in dem Lande liegenden Observatorien wegen der inzwischen eingetretenen Säkularvariation auf die Zeit der Mutungsmessungen umgerechnet werden.

So erhält man das normale Niveau für das Profil. Werte, die unter ihm liegen, sind negativ, darüberliegende positiv.

Es kann jedoch sein, daß das Feld der gerade interessierenden störenden Massen mitten in einem größeren Störungsgebiet liegt. Zur Mutung muß man dann wissen, wie es sich als einzelnes von den anderen Störungen abhebt. Hier genügt es nicht, die Verteilung des normalen Feldes zu kennen, man muß auch die Verteilung des regionalen Störungsfeldes wissen. Das Hilfsmittel hierzu sind die den Landesvermessungen beigegebenen Karten der wahren isomagnetischen Linien. Sind statt dessen nur normale isomagnetische Kurven publiziert — was leider oft

<sup>1</sup> Bidlingmaier, Fr.: Höchst empfindliche Methode zur Untersuchung von Inhomogenitäten im magnetischen Feld. Physik. Z. 8, 176—179 (1907).

der Fall ist —, so muß man sich die wahren an Hand der Beobachtungsergebnisse selbst zeichnen und dann für sein lokales Gebiet die Änderung des Feldes zeichnerisch oder rechnerisch ableiten. Am besten ist es, von den Beobachtungen der Landesaufnahmen erst das normale Feld abzuziehen; es verbleibt dann das regionale Störungsfeld. Durch dieses legt man Profile und deutet diese nach unseren Typen. So hat man ein Urteil über Sitz und Ursache der Großstörung, eliminiert sie aus den Messungen im Mutungsgebiet und bekommt so das reduzierte Beobachtungsergebnis nur für die Lokalstörung.

Beobachtet man in Ländern ohne magnetische Großaufnahme, so muß man eigene Messungen an einem oder besser mehreren Orten anstellen, die aller Voraussicht nach von der zu erwartenden magnetischen Masse noch nicht gestört sind. Wie das oft langsame Abklingen unserer Typen nach den Seiten zeigt, ist es dazu oft nötig, sehr weit außerhalb des Störungsgebiets zu messen. Um sicher zu sein, daß der für normal gehaltene Ort auch normal ist, wird man ihn mit nahe gelegenen Nebenknoten umgeben. Das oft angewandte Verfahren, das Mittel aller Stationen eines Störungsgebiets als normal anzunehmen, muß meistens zu großen Täuschungen über den richtigen Normalwert führen.

Welche Bedeutung hat nun der Normalwert für die Mutungen? Der Zweck der Mutungen ist es doch, den störenden Körper zu finden. Der Sinn des Normalwerts ist es, den störungsfreien Wert der Gegend zu wissen. Die Störung ist die Differenz beider. Vergleichen wir Typus 1 mit 20, so finden wir so große Ähnlichkeit der Gestalt z. B. von Z, daß wir die kleinen Minima, die den Typus 20 von 1 unterscheiden, nicht feststellen können, wenn wir die Normallinie nicht genau kennen; und so bei vielen unserer Typen. Überhaupt wird alles Quantitative, namentlich die Größe der Amplituden und der Wert jeder Ordinate davon abhängen, wie gut man die Verteilung des normalen Feldes eliminiert hat. Glücklicherweise erstrecken sich die meisten technisch gesuchten Störungsmassen auf kleine Dimensionen, und so spielt diese Frage keine große Rolle bei ihnen; aber sobald die Distanzen in die Kilometer gehen, wird es anders. Das ist besonders der Fall, wenn geologische Studien über lange Profile auszuführen sind.

Will man die Wirkung einer bestimmten störenden Masse untersuchen, so müssen eben selbstverständlich die Wirkungen aller anderen Massen eliminiert sein, also in erster Linie die der ganzen Erde, dann die der großen regionalen Anomalien, dann die der weiteren Umgebung usw., bis man jene der Massen, auf die es einem ankommt, für sich allein hat.

Es sei bemerkt, daß man für Europa eine Karte der Großstörungen der Vertikalintensität entworfen hat, die es wenigstens für dieses Gebiet ermöglicht, auch die anomalistische Verteilung aus seinen Lokalmessun-

gen zu eliminieren<sup>1</sup>. Entsprechende Karten von Nordamerika und Indien werden in absehbarer Zeit erscheinen. —

**Zeitliche Variationen.** Je stärker die lokale Störung ist, desto geringer ist der Einfluß der zeitlichen Variationen auf das Arbeiten mit den Typen. Bei Mutung auf Salz und Öl oder über wenig magnetische Schichten ist die Bedeutung dieser Variationen jedoch so groß, daß sie tief in das Resultat einschneiden. Es ist daher am besten, während der Dauer der Messungen ein zweites Instrument an ein und demselben Ort die Variationen registrieren zu lassen, weil selten ein Observatorium genügend nahe liegt.

---

<sup>1</sup> Nippoldt, A.: Karten der Verteilung des Erdmagnetismus und seiner örtlichen Störungen in Europa. Abh. preuß. meteorol. Inst. Berlin 8 (11), Nr 354 1927; Z. Geophysik 3, 313—315 (1927).

Korrektur der Tafel XXVIII: Die Z-Kurve müßte links bei —4 statt eines positiven Werts einen ebensogroßen negativen zeigen (siehe Tabelle S. 40).

## Namen- und Sachverzeichnis.

- Abhang 67.  
Absinken einer Platte 42.  
— eines horizontalen Magneten 33.  
— eines vertikalen Magneten 34.  
Äquator 4.  
Annäherung 2, 3.  
Antiklinale Faltung 46.  
Aufpunkt 6.  
Auskeilen 40.
- Bidlingmaier 69.
- Charakteristik, definiert 7.
- Dicke der Platte 44.  
Doppelkompaß 69.
- Ebene, schiefe 11, 62.  
Effekt, topographischer 62.  
Einzelpol 6.  
— in einer Mulde 63, 67.  
— unter Hügel 63.  
Ellipsoide 38.  
Empfindlichkeit 2.  
*e*-Skala, Auffinden der 51, 60.
- Fernwirkung eines Magneten 33.
- Gamburzeff, G. A. 3.  
Geneigte Platte 45.  
Geneigter Magnet 26.  
Geodätischer topogr. Effekt 62.  
Geomagnetischer topogr. Effekt 62.  
Gerüste 66.  
Gradient 1.  
Grenze, obere, der Wirkung einer Platte 44.  
Großstörungen, Karte der 71.
- Haalck, H. 3.  
Heiland, C. 65.  
Henderson, W. 65.  
Horizontale Platte 38, 41.  
Horizontaler Magnet 25, 30, 34.  
Horizontalintensität, Nachteile 10.  
Hunkel, H. 57.
- Induktionsmagnetismus 3, 4.  
Isanomalen 13.
- Kegel, W. 59.  
Koenigsberger, J. 3, 68.  
Kohl, E. 57.
- Leitlinie 7.
- Magnet, Fernwirkung 33.  
— geneigter 26.  
— horizontaler 25, 30, 34.  
— vertikaler 28, 32, 33.  
Magnetoid 36.  
Malkowsky, J. A. 65.  
Mehrdeutigkeit 50, 56.  
Meyer, G. 56.  
Mulde 47, 63.  
Mutungsskala 17.
- Negative Zone 28.  
Neigung der Erdoberfläche 11, 62.  
Nippoldt, A. 72.  
Normalfeld 70.
- Platte 35, 37.  
— auskeilende 40.  
— geneigte 45.  
— Grenze der Wirkung 44.  
— überschobene 43.  
— unendliche 43.  
— verworfene 42.  
Poldistanz 33, 34.  
Polfolge 15.  
Polikarpoff, M. 3.  
Profile 1, 2.
- Qualitativer Vergleich 50.  
Quantitativer Vergleich 51.
- Randeffekt 39, 57.  
Reduktion auf die Horizontale 12, 62.  
Regionale Störungen 70.  
Reich, H. 54.
- Schiefe Ebene 11, 32.  
Senkrechter Magnet 28, 32, 33.

Standänderung 2.  
Synklinale Faltung 46.

Temperatureinfluß 3.  
Teufe des Indifferenzpunktes 33, 34.  
— Einfluß der 7.  
— Ermittlung der 8.  
Topographischer Effekt 62.

Überschiebung 43.

Variation, zeitliche 72.  
Vertikaler Magnet 28, 32, 33.  
Vertikalintensität, Vorteile 9.  
Verwerfung 42, 46.

Wagner, A. 14.  
Wellige Schale 46, 57.  
Winkel der Verwerfung 48.

Zeitliche Variationen 72.

---

## **Einführung in die Geophysik.**

**Erster Band: Anwendung der Methoden der Erdmessung auf geophysische Probleme. Erdbebenwellen. Die endogen-dynamischen Vorgänge der Erde.** Von Professor Dr. A. Prey, Prag, Professor Dr. C. Mainka, Göttingen, und Professor Dr. E. Tams, Hamburg. („Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher“, Band IV.) Mit 82 Textabbildungen. VIII, 340 Seiten. 1922. RM 12.—

**Zweiter Band: Erdmagnetismus und Polarlicht. Wärme- und Temperaturverhältnisse der obersten Bodenschichten. Luftelektrizität.** Von Professor Dr. A. Nippoldt, Potsdam, Dr. J. Keränen, Helsinki, und Professor Dr. E. Schweidler, Wien. („Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher“, Band VIII.) Mit 130 Textabbildungen. IX, 388 Seiten. 1929. RM 33.—; gebunden RM 35.—

**Dritter Band: Dynamische Ozeanographie.** Von Professor Dr. A. Defant, Direktor des Instituts und Museums für Meereskunde, Berlin. („Naturwissenschaftliche Monographien und Lehrbücher“, Band IX.) Mit 87 Textabbildungen. X, 222 Seiten. 1929. RM 18.—; gebunden RM 19.80

---

**Beobachtungsbuch für markscheiderische Messungen.** Herausgegeben von G. Schulte und W. Löhr, Markscheider der Westf. Bergwerkschaftskasse und ord. Lehrer an der Bergschule zu Bochum. Fünfte, durchgesehene Auflage. Mit 18 Textabbildungen und 15 ausführlichen Messungsbeispielen nebst Erläuterungen. IV, 144 Seiten und 8 Seiten Schreibpapier. 1929. RM 5.40

---

**Vermessungskunde.** Von Prof. Dr.-Ing. Martin Näbauer, Karlsruhe. („Handbibliothek für Bauingenieure“, I. Teil, 4. Band.) Mit 344 Textabbildungen. X, 338 Seiten. 1922. Gebunden RM 11.—

---

**Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen.** Von Professor Dr. G. Berndt, Dresden. Mit einem Anhang von Privatdozent Dr. H. Schulz, Berlin. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 581 Textabbildungen. XII, 374 Seiten. 1929. Gebunden RM 43.50

---

**Lehrbuch der Markscheidekunde.** Von Dr. phil. P. Wilski, o. Professor der Markscheidekunde an der Technischen Hochschule zu Aachen. Erster Teil. Mit 131 Abbildungen im Text, einer mehrfarbigen und 27 schwarzen Tafeln. VIII, 252 Seiten. 1929. Gebunden RM 26.—

---

**Einführung in die Markscheidekunde** mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaues. Von Dr. L. Mintrop, Bochum. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 191 Figuren und 5 mehrfarbigen Tafeln in Steindruck. VIII, 215 Seiten. 1916. Unveränderter Neudruck 1923. Gebunden RM 7.50

**Ingenieurgeologie.** Herausgegeben von Dr. **K. A. Redlich**, o. ö. Professor der Deutschen Technischen Hochschule Prag, Dr. **K. v. Terzaghi**, o. ö. Professor des Institute of Technology, Cambridge, Mass., U. S. A., und Dr. **R. Kampe**, Direktor des Quellenamtes Karlsbad, Privatdozent der Deutschen Technischen Hochschule Prag. Mit Beiträgen von Dir. Dr. H. Apfelbeck, Falkenau, Ing. H. E. Gruner, Basel, Dr. H. Hlauschek, Prag, Privatdozent Dr. K. Kühn, Prag, Privatdozent Dr. K. Preclik, Prag, Privatdozent Dr. L. Rüger, Heidelberg, Dr. K. Scharrer, Weihenstephan-München, o. ö. Professor Dr. A. Schoklitsch, Brünn. Mit 417 Abbildungen im Text. X, 708 Seiten. 1929. Gebunden RM 57.—

---

**Geologie und Radioaktivität.** Die radioaktiven Vorgänge als geologische Uhren und geophysikalische Energiequellen. Von **Gerhard Kirsch**, Privatdozent an der Universität Wien, II. Physikalisches Institut. Mit 48 Abbildungen. VIII, 214 Seiten. 1928. RM 16.—

---

**Geologie der Landschaft um Wien.** Von Professor Dr. **Leopold Kober**, Wien. Mit 60 Abbildungen im Text, 2 farbigen Sammelprofilen und einer geologisch-tektonischen Übersichtskarte. VI, 150 Seiten. 1926. Gebunden RM 9.60

---

**Technische Gesteinkunde** für Bauingenieure, Kulturtechniker, Land- und Forstwirte, sowie für Steinbruchbesitzer und Steinbruchtechniker. Von Ing. Dr. phil. **Josef Stiny**, o. ö. Professor an der Technischen Hochschule, Wien. Zweite, vermehrte und vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 422 Abbildungen im Text und 1 mehrfarbigen Tafel, sowie einem Beiheft: „Kurze Anleitung zum Bestimmen der technisch wichtigsten Mineralien und Felsarten“. (Mit 11 Abbildungen im Text, 23 Seiten.) VIII, 550 Seiten. 1929. Gebunden RM 45.—

---

**Mineralogisches Taschenbuch** der Wiener Mineralogischen Gesellschaft. Unter Mitwirkung von A. Himmelbauer, R. Koechlin, A. Marchet, H. Michel, O. Rotky redigiert von **J. E. Hibs**. Zweite, vermehrte Auflage. Mit 1 Titelbild. X, 187 Seiten. 1928. Gebunden RM 10.80

---

**Anleitung zur Bestimmung von Mineralien.** Von Professor **N. M. Fedorowski**, Moskau. Übersetzung der letzten (zweiten) russischen Auflage. Mit 15 Textabbildungen. VIII, 136 Seiten. 1926. RM 7.50

---

**Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften.** Von **P. Groth**. Mit 5 Textfiguren. VI, 262 Seiten. 1926. RM 18.—; gebunden RM 19.50

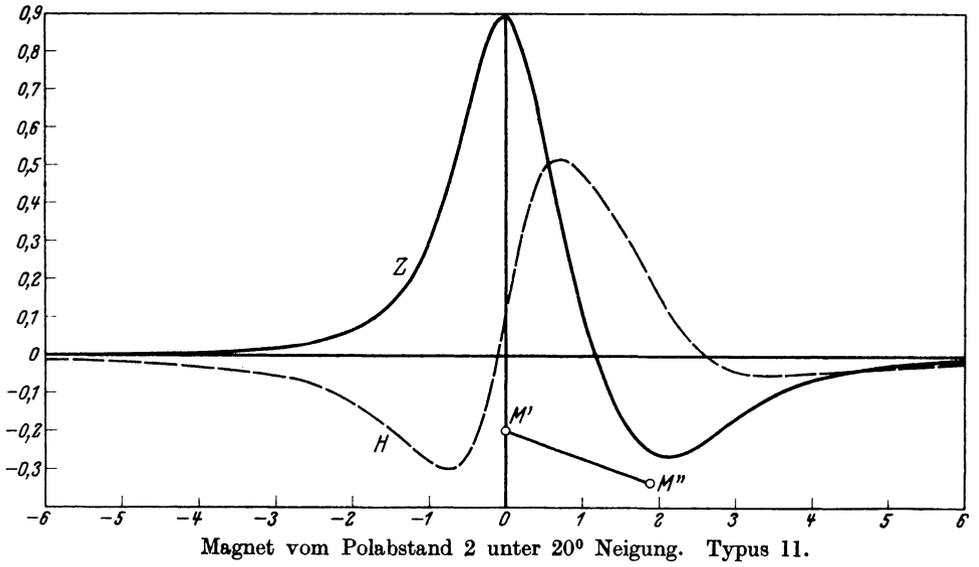
---

**Berg- und Hüttenmännisches Jahrbuch der Montanistischen Hochschule in Leoben.** Schriftleitung: Prof. Dr. **Rob. Müller**, Prof. Dr. **Wilh. Petrascheck**, Oberbergat Ing. **Ludwig Sterba**. Erscheint vierteljährlich. Umfang des einzelnen Heftes etwa 40 Seiten. Bezugspreis RM 21.60 jährlich; Preis des Einzelheftes RM 8.—

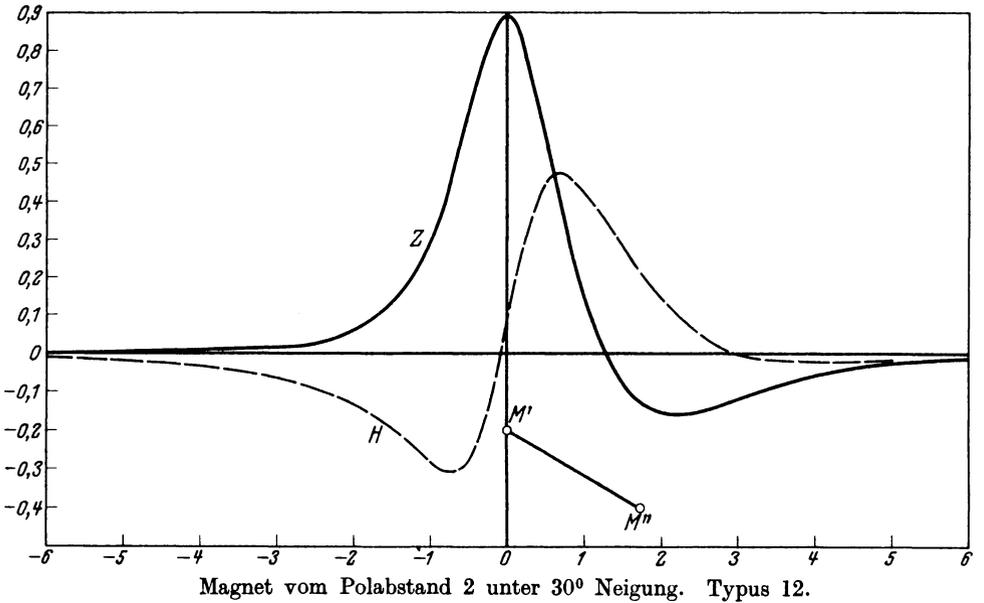
**Tabelle I. Werte der Charakteristiken für den Einzelpol.**

$e$	$L_Z$	$L_H$	$e$	$L_Z$	$L_H$	$e$	$L_Z$	$L_H$
0,0	1,0000	0,0000	3,4	0,0225	0,0764	6,8	0,0031	0,0209
0,1	0,9852	0,0985	3,5	0,0207	0,0726	6,9	0,0030	0,0204
0,2	0,9428	0,1886	3,6	0,0192	0,0690	7,0	0,0028	0,0198
0,3	0,8787	0,2637	3,7	0,0178	0,0657	7,1	0,0027	0,0193
0,4	0,8004	0,3202	3,8	0,0165	0,0626	7,2	0,0026	0,0188
0,5	0,7155	0,3578	3,9	0,0153	0,0598	7,3	0,0025	0,0182
0,6	0,6305	0,3783	4,0	0,0143	0,0571	7,4	0,0024	0,0178
0,7	0,5498	0,3849	4,1	0,0133	0,0546	7,5	0,0023	0,0173
0,8	0,4761	0,3809	4,2	0,0124	0,0522	7,6	0,0022	0,0169
0,9	0,4107	0,3696	4,3	0,0116	0,0500	7,7	0,0021	0,0164
1,0	0,3535	0,3535	4,4	0,0109	0,0479	7,8	0,0021	0,0160
1,1	0,3044	0,3348	4,5	0,0102	0,0459	7,9	0,0020	0,0156
1,2	0,2624	0,3148	4,6	0,0096	0,0441	8,0	0,0019	0,0153
1,3	0,2266	0,2946	4,7	0,0090	0,0424	8,1	0,0018	0,0149
1,4	0,1964	0,2749	4,8	0,0085	0,0407	8,2	0,0018	0,0146
1,5	0,1707	0,2560	4,9	0,0080	0,0392	8,3	0,0017	0,0142
1,6	0,1489	0,2382	5,0	0,0075	0,0377	8,4	0,0016	0,0139
1,7	0,1303	0,2216	5,1	0,0071	0,0363	8,5	0,0016	0,0136
1,8	0,1145	0,2062	5,2	0,0067	0,0350	8,6	0,0015	0,0133
1,9	0,1010	0,1920	5,3	0,0064	0,0338	8,7	0,0015	0,0130
2,0	0,0894	0,1789	5,4	0,0060	0,0326	8,8	0,0014	0,0127
2,1	0,0795	0,1669	5,5	0,0057	0,0315	8,9	0,0014	0,0124
2,2	0,0709	0,1559	5,6	0,0054	0,0304	9,0	0,0014	0,0121
2,3	0,0634	0,1458	5,7	0,0052	0,0294	9,1	0,0013	0,0119
2,4	0,0569	0,1366	5,8	0,0049	0,0284	9,2	0,0013	0,0116
2,5	0,0512	0,1281	5,9	0,0047	0,0275	9,3	0,0012	0,0114
2,6	0,0463	0,1203	6,0	0,0044	0,0267	9,4	0,0012	0,0111
2,7	0,0419	0,1131	6,1	0,0042	0,0258	9,5	0,0012	0,0109
2,8	0,0380	0,1065	6,2	0,0040	0,0250	9,6	0,0011	0,0107
2,9	0,0346	0,1005	6,3	0,0038	0,0243	9,7	0,0011	0,0105
3,0	0,0316	0,0949	6,4	0,0037	0,0236	9,8	0,0010	0,0102
3,1	0,0289	0,0897	6,5	0,0035	0,0228	9,9	0,0010	0,0100
3,2	0,0265	0,0849	6,6	0,0034	0,0222	10,0	0,0010	0,0098
3,3	0,0244	0,0805	6,7	0,0032	0,0216			

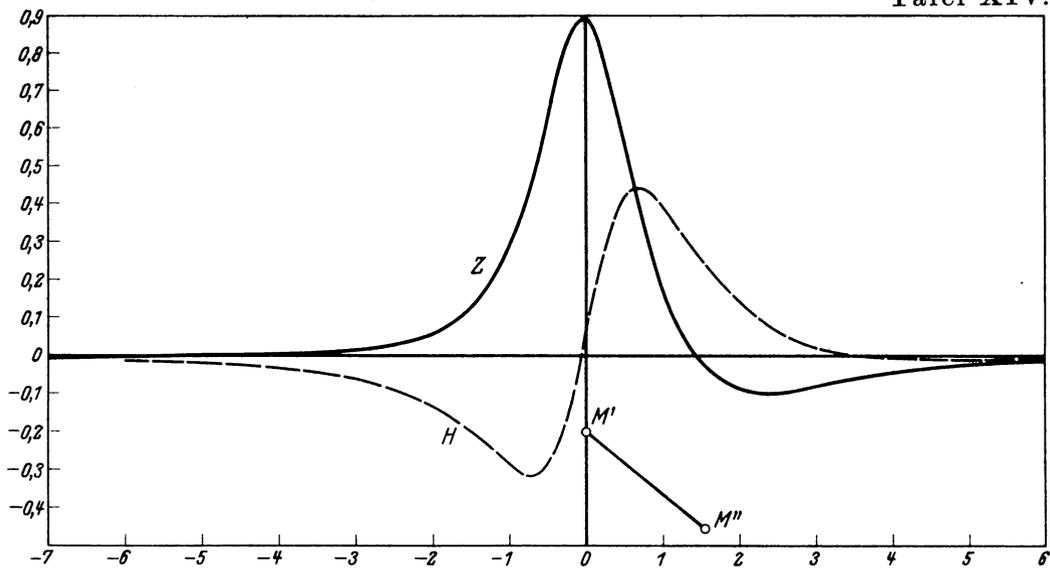
Tafel XII.



Tafel XIII.

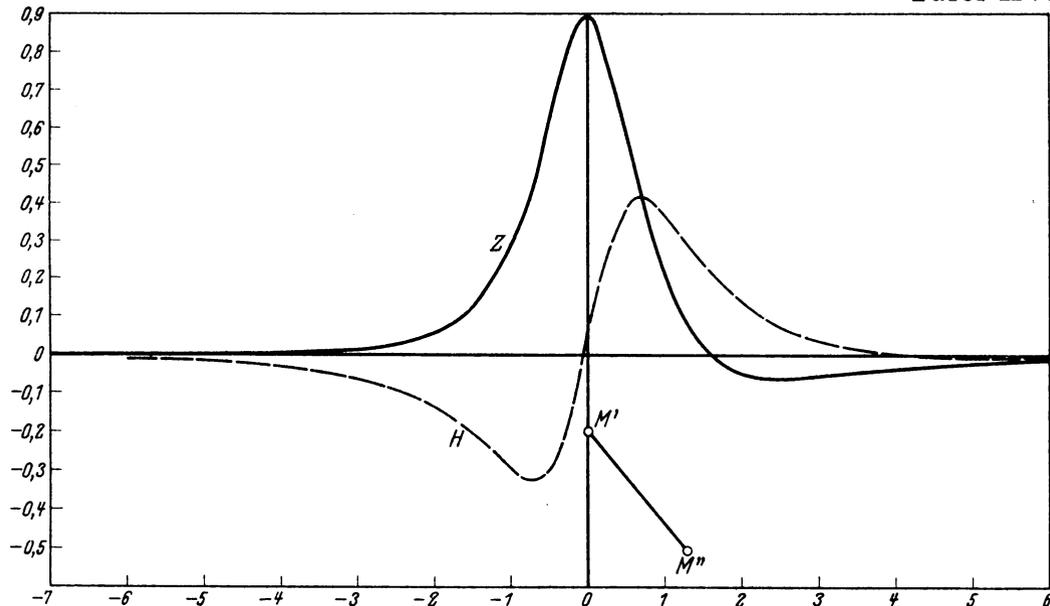


Tafel XIV.



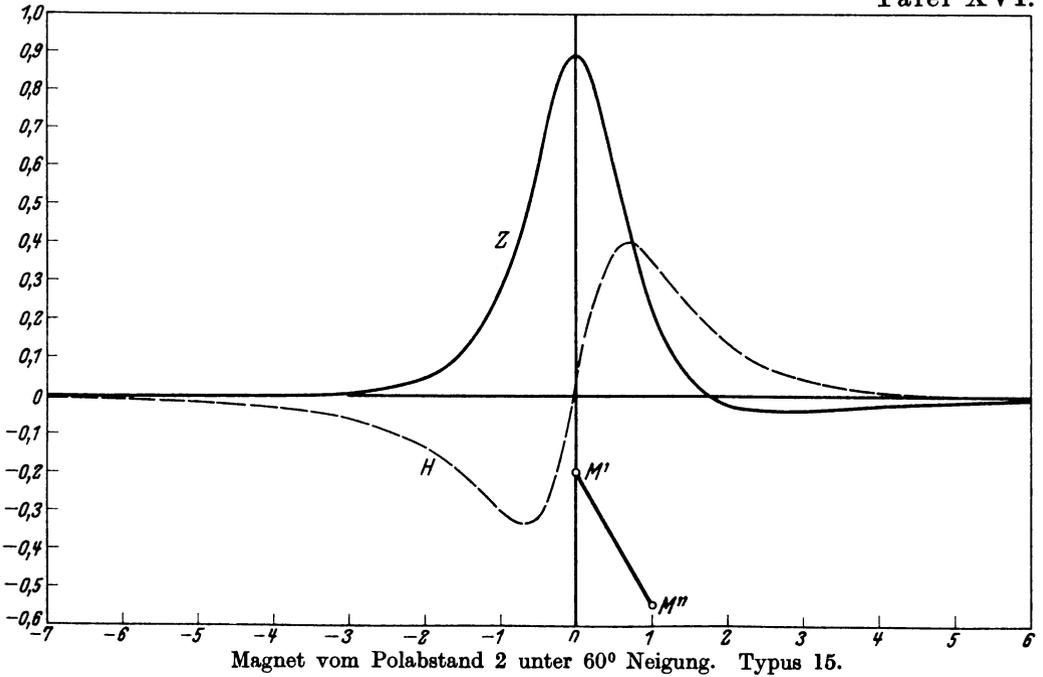
Magnet vom Polabstand 2 unter 40° Neigung. Typus 13.

Tafel XV.

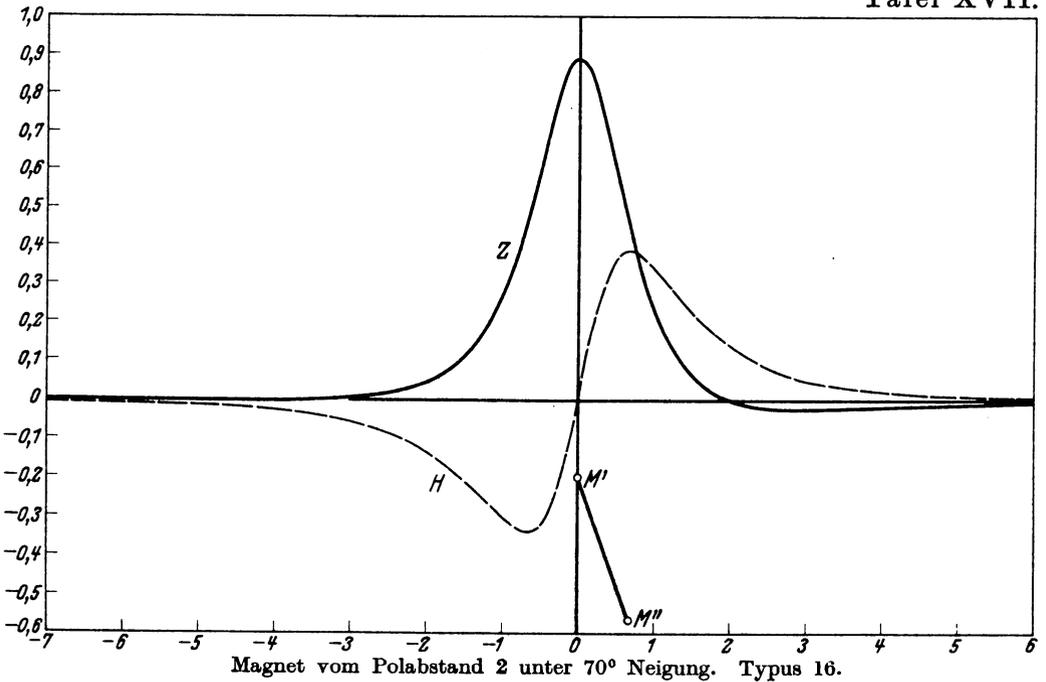


Magnet vom Polabstand 2 unter 50° Neigung. Typus 14.

Tafel XVI.

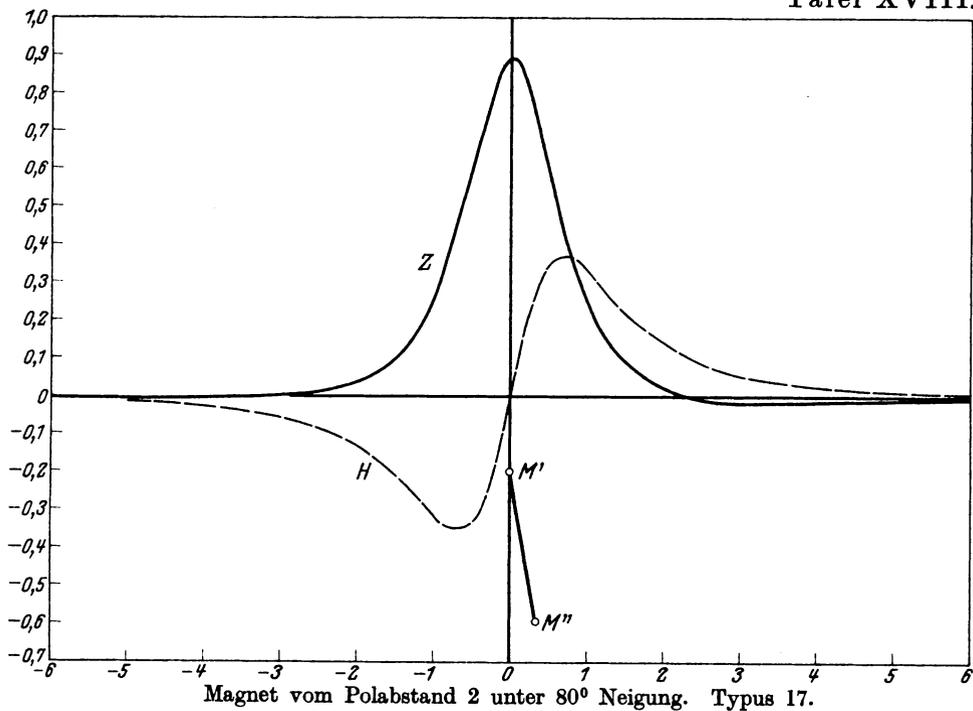


Tafel XVII.

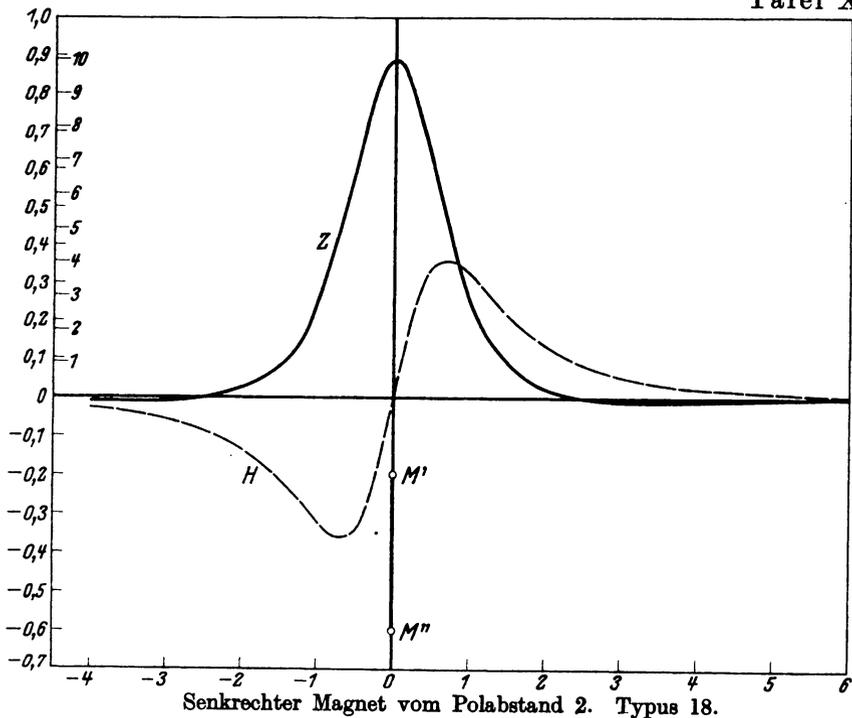


Nippoldt, Messungen.

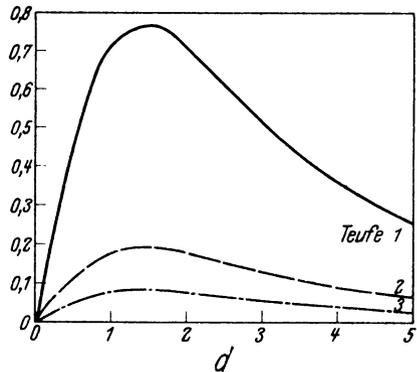
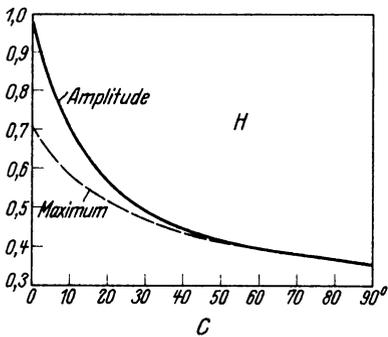
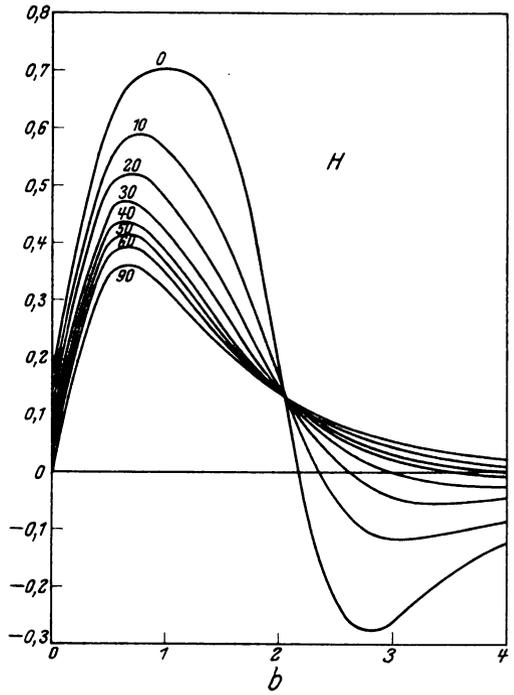
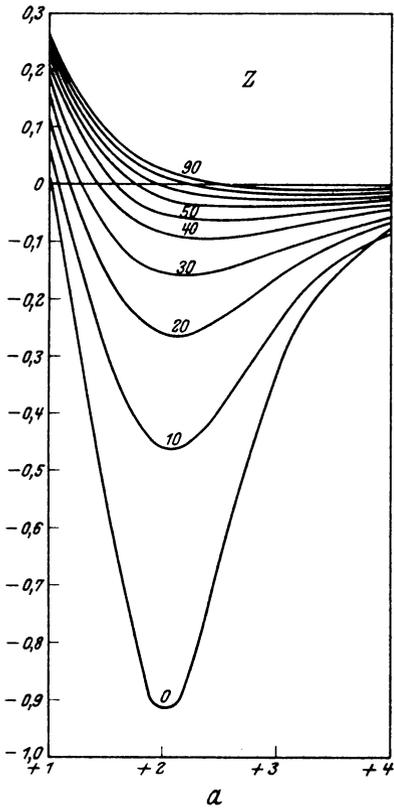
Tafel XVIII.



Tafel XIX.

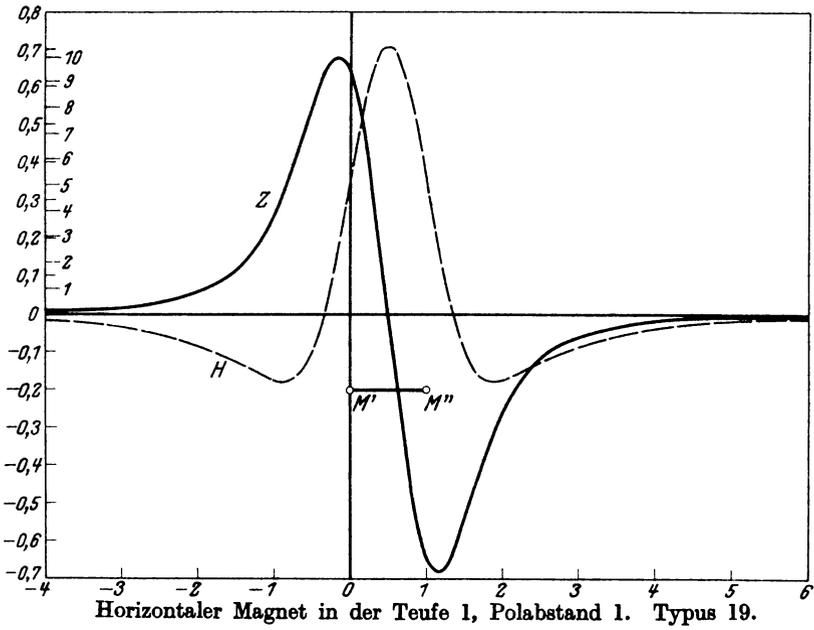


Nippoldt, Messungen.

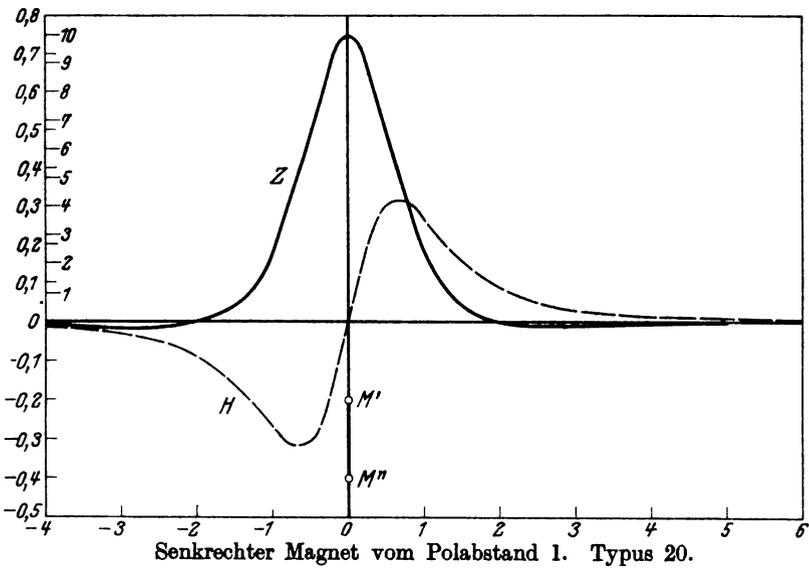


Schiefer Magnet.

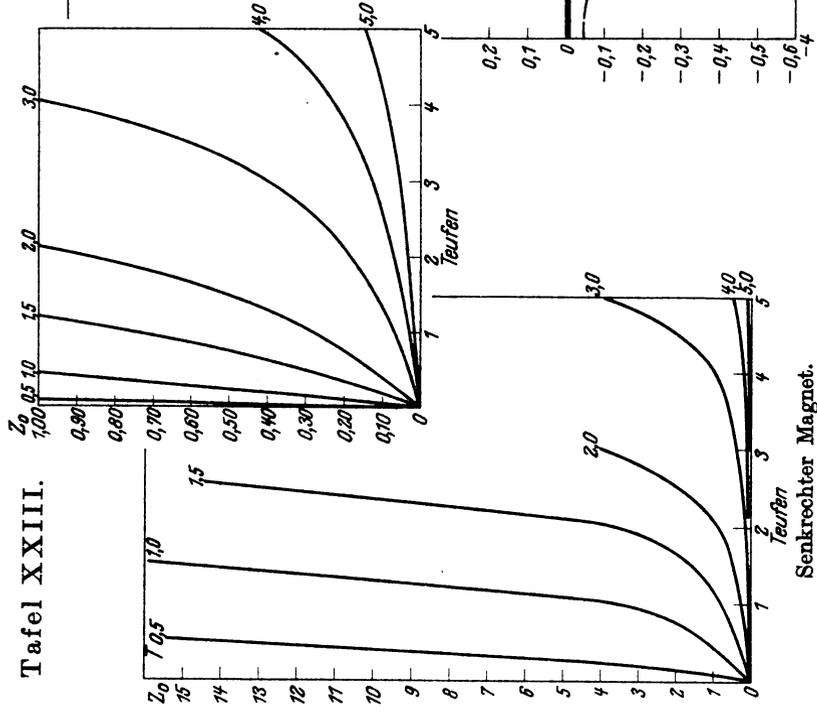
Tafel XXI.



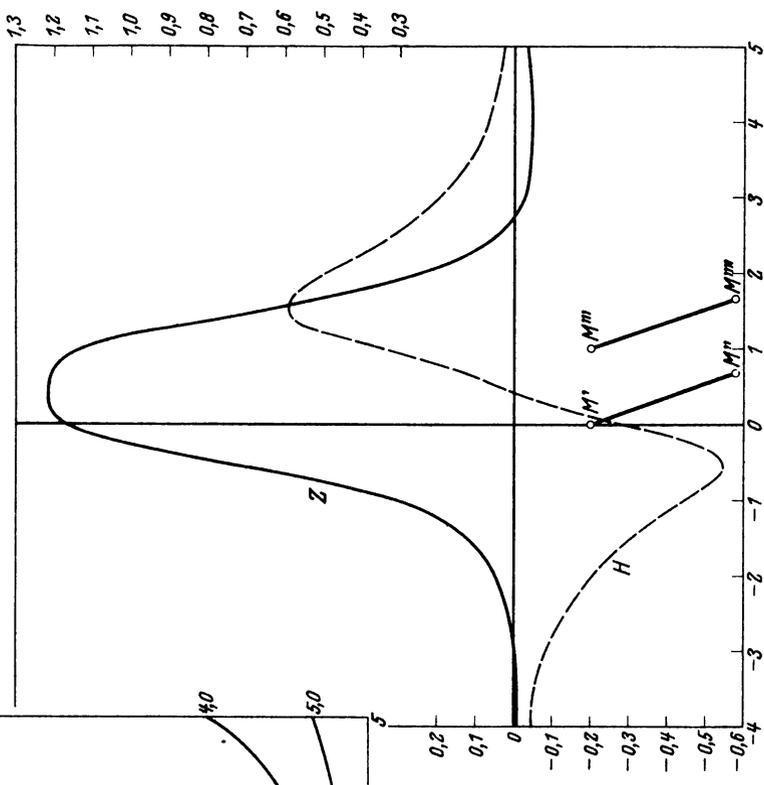
Tafel XXII.



Tafel XXIII.

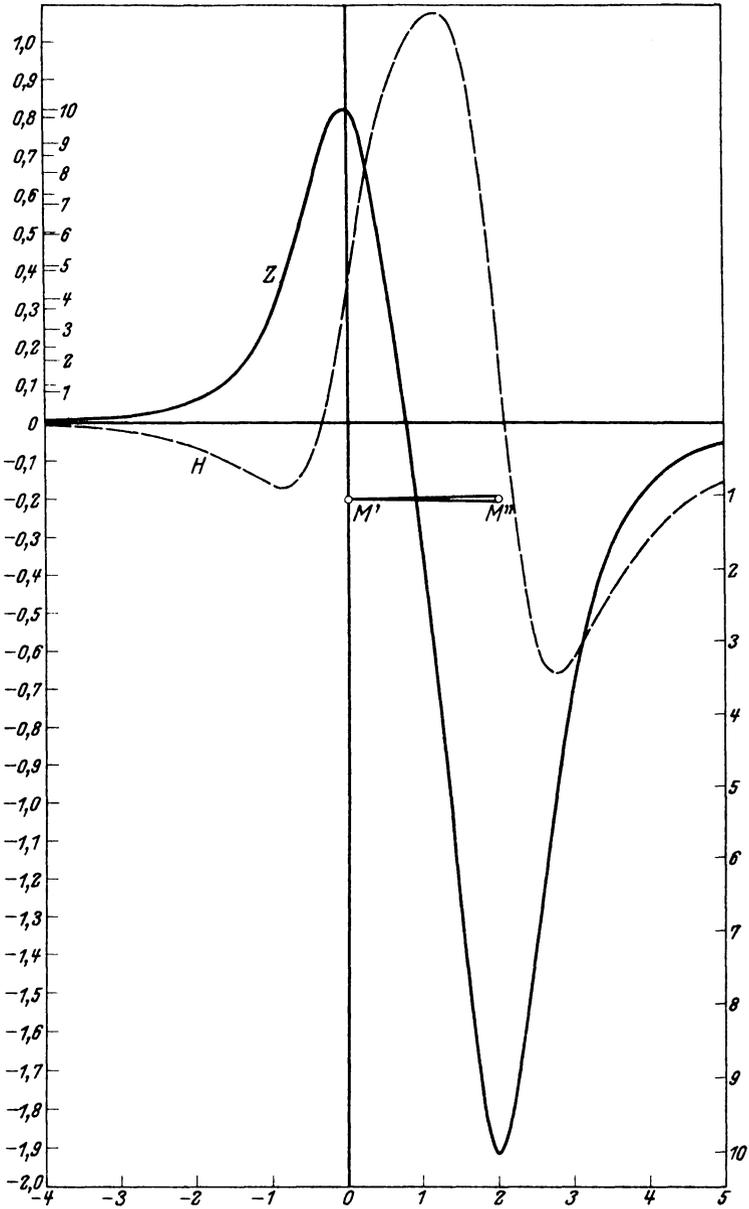


Tafel XXIV.



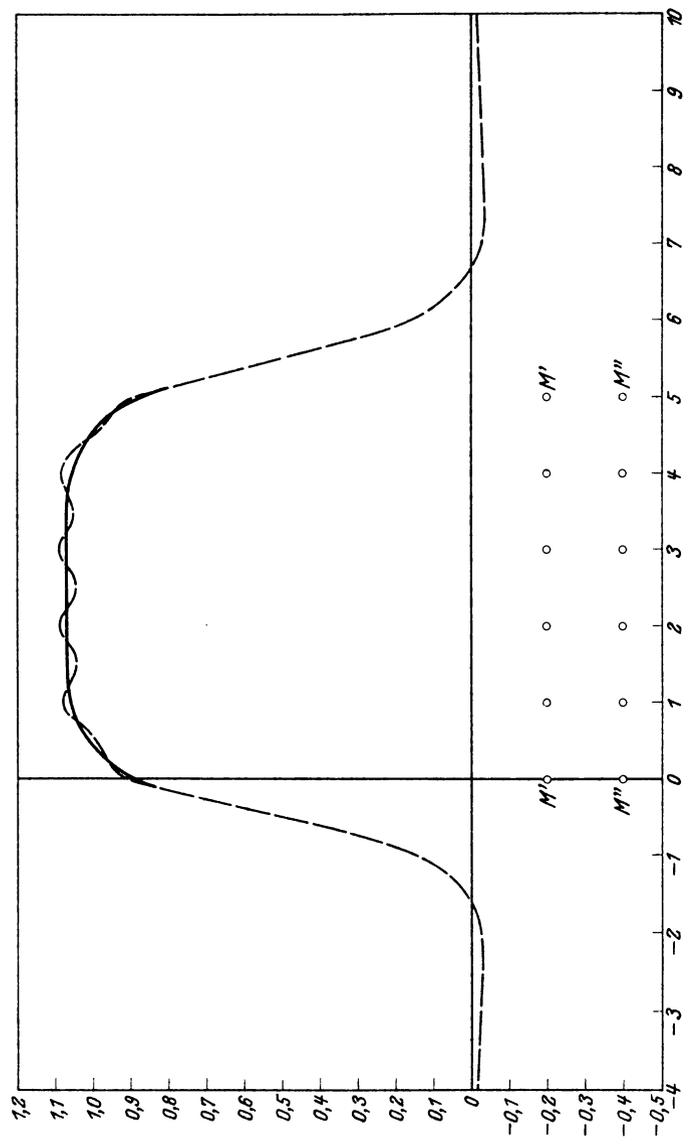
Abhängigkeit von  $Z_0$  von der Teufe und Földistanz.

Nippoldt, Messungen.



Horizontales Magnetoid. Typus 22.

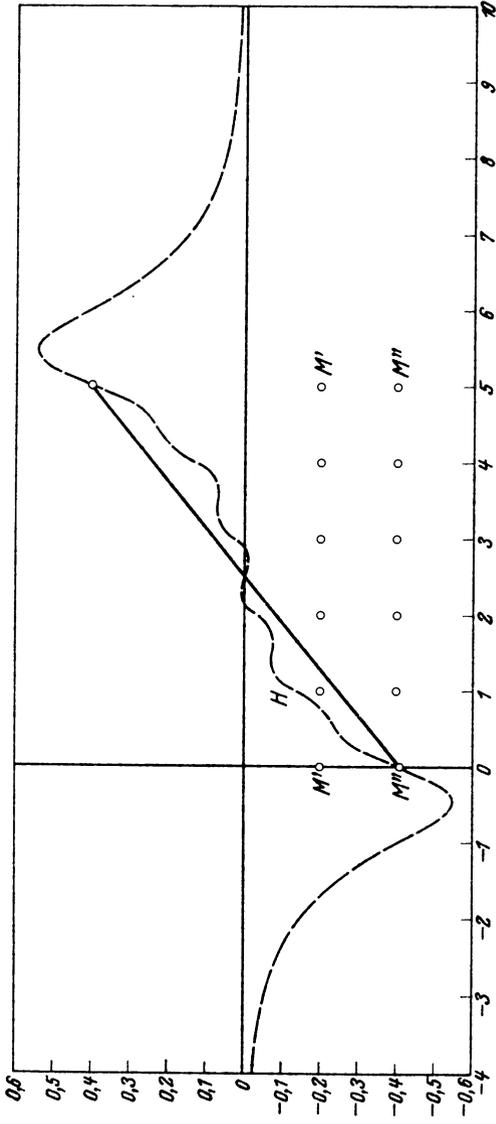
Tafel XXVI.



Horizontale Platte in der Teufe 1. Typus 23.

Nippoldt, Messungen.

Tafel XXVII.

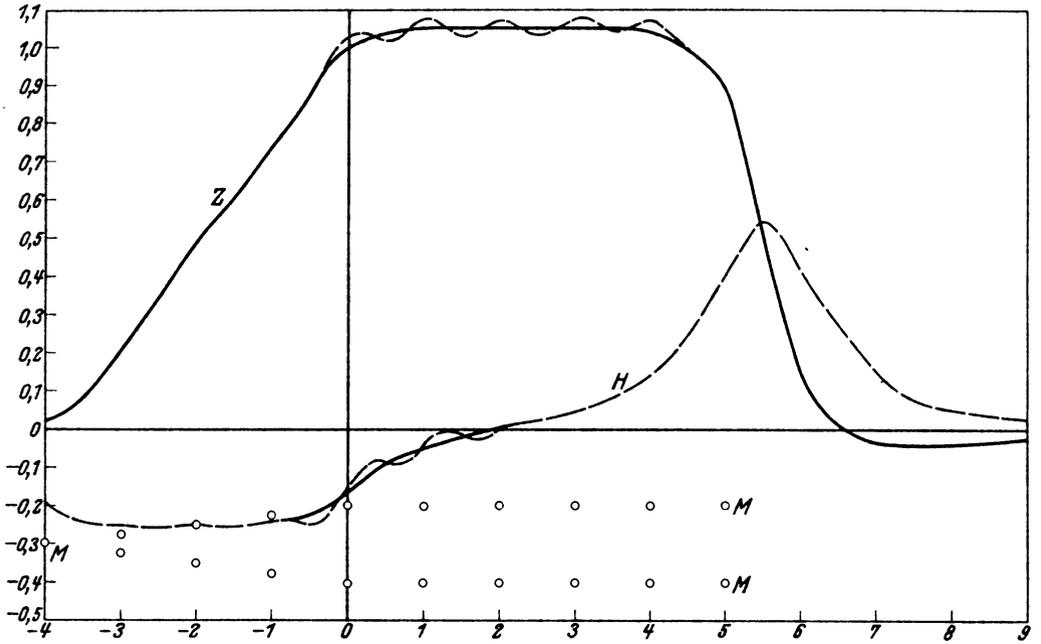


Horizontale Platte in der Teufe 1. Typus 23.

**Tabelle II. Differenzen der Charakteristiken.**

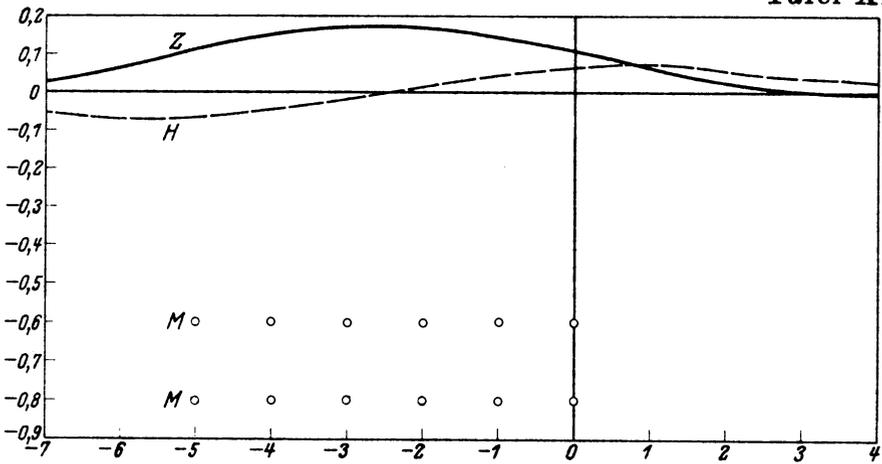
$e$	$L_Z I$	$L_Z II$	$e$	$L_H I$	$L_H II$
0,0	1. Diff.	2. Diff.	0,0	1. Diff.	2. Diff.
0,1	—0,0148	—0,0276	0,1	0,0985	—0,0084
0,2	—0,0424	—0,0217	0,2	0,0901	—0,0150
0,3	—0,0641	—0,0142	0,3	0,0751	—0,0186
0,4	—0,0783	—0,0066	0,4	0,0565	—0,0189
0,5	—0,0849	—0,0001	0,5	0,0376	—0,0171
0,6	—0,0850	0,0043	0,6	0,0205	—0,0139
0,7	—0,0807	0,0070	0,7	0,0066	—0,0106
0,8	—0,0737	0,0083	0,8	—0,0040	—0,0073
0,9	—0,0654	0,0082	0,9	—0,0113	—0,0048
1,0	—0,0572	0,0081	1,0	—0,0161	—0,0026
1,1	—0,0491	0,0081	1,1	—0,0187	—0,0013
1,2	—0,0420	0,0071	1,2	—0,0200	—0,0002
1,3	—0,0358	0,0062	1,3	—0,0202	0,0005
1,4	—0,0302	0,0056	1,4	—0,0197	0,0008
1,5	—0,0257	0,0045	1,5	—0,0189	0,0011
1,6	—0,0218	0,0039	1,6	—0,0178	0,0012
1,7	—0,0186	0,0032	1,7	—0,0166	0,0012
1,8	—0,0158	0,0028	1,8	—0,0154	0,0012
1,9	—0,0135	0,0023	1,9	—0,0142	0,0011
2,0	—0,0116	0,0019	2,0	—0,0131	0,0011
2,1	—0,0099	0,0017	2,1	—0,0120	0,0011
2,2	—0,0086	0,0013	2,2	—0,0110	0,0010
2,3	—0,0075	0,0011	2,3	—0,0101	0,0009
2,4	—0,0065	0,0010	2,4	—0,0092	0,0009
2,5	—0,0057	0,0008	2,5	—0,0085	0,0007
2,6	—0,0049	0,0008	2,6	—0,0078	0,0007
2,7	—0,0044	0,0005	2,7	—0,0072	0,0006
2,8	—0,0039	0,0005	2,8	—0,0066	0,0006
2,9	—0,0034	0,0005	2,9	—0,0060	0,0006
3,0	—0,0030	0,0004	3,0	—0,0056	0,0004

Tafel XXVIII.



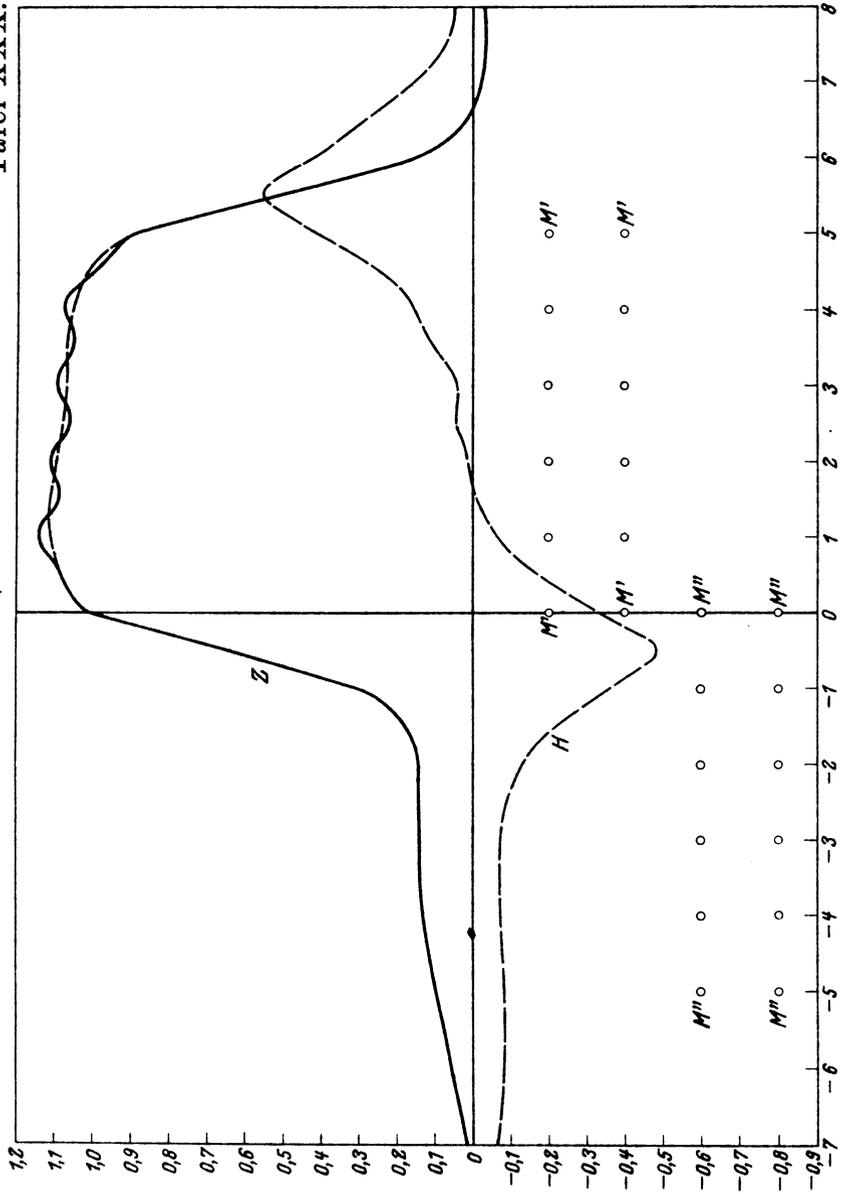
Auskeilende horizontale Platte. Typus 24.

Tafel XXIX.



Horizontale Platte in der Teufe 3. Typus 25.

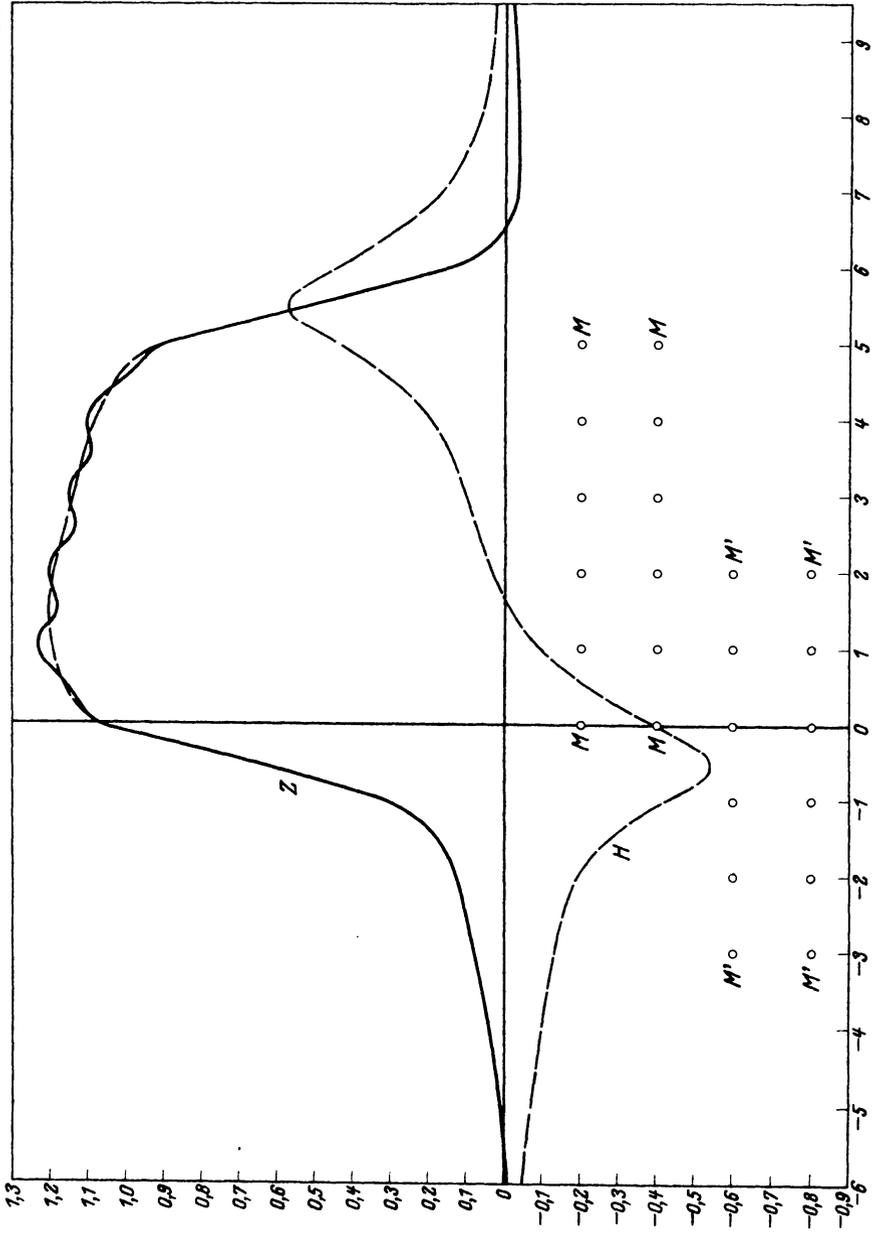
Tafel XXX.



2 senkrecht verworfene horizontale Platten. Typus 26.

Nippoldt, Messungen.

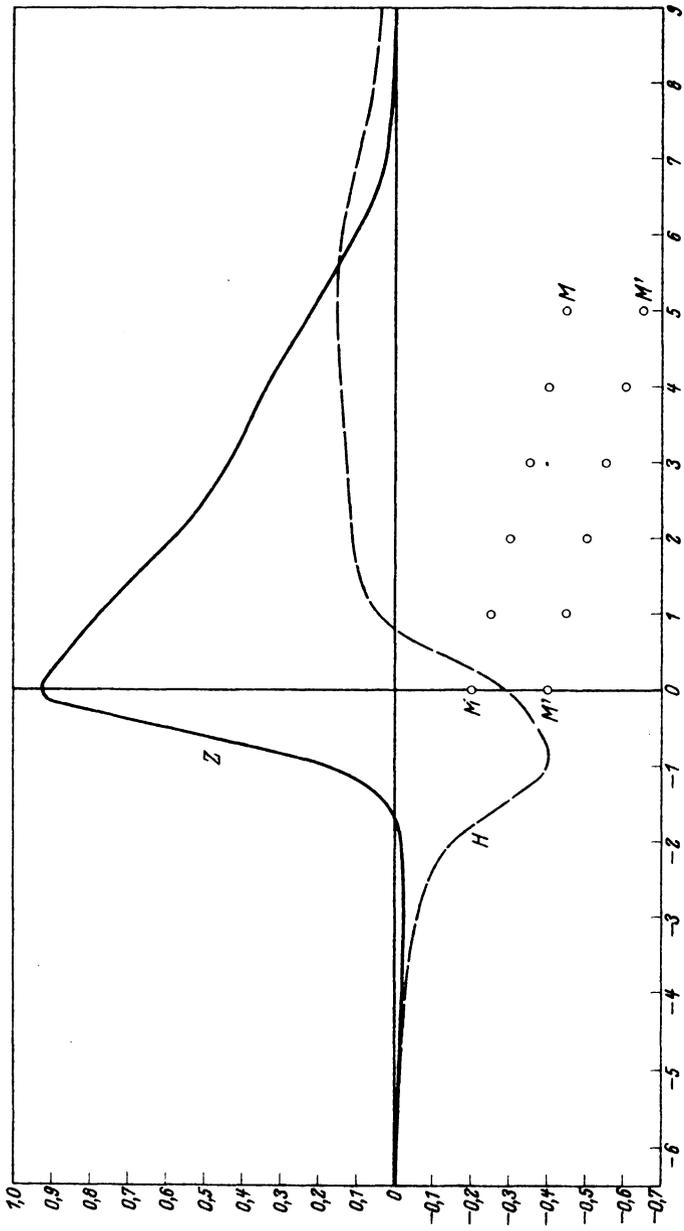
Tafel XXXI.



2 unter 45° verworfene horizontale Platten. Typus 27.

Nippoldt, Messungen.

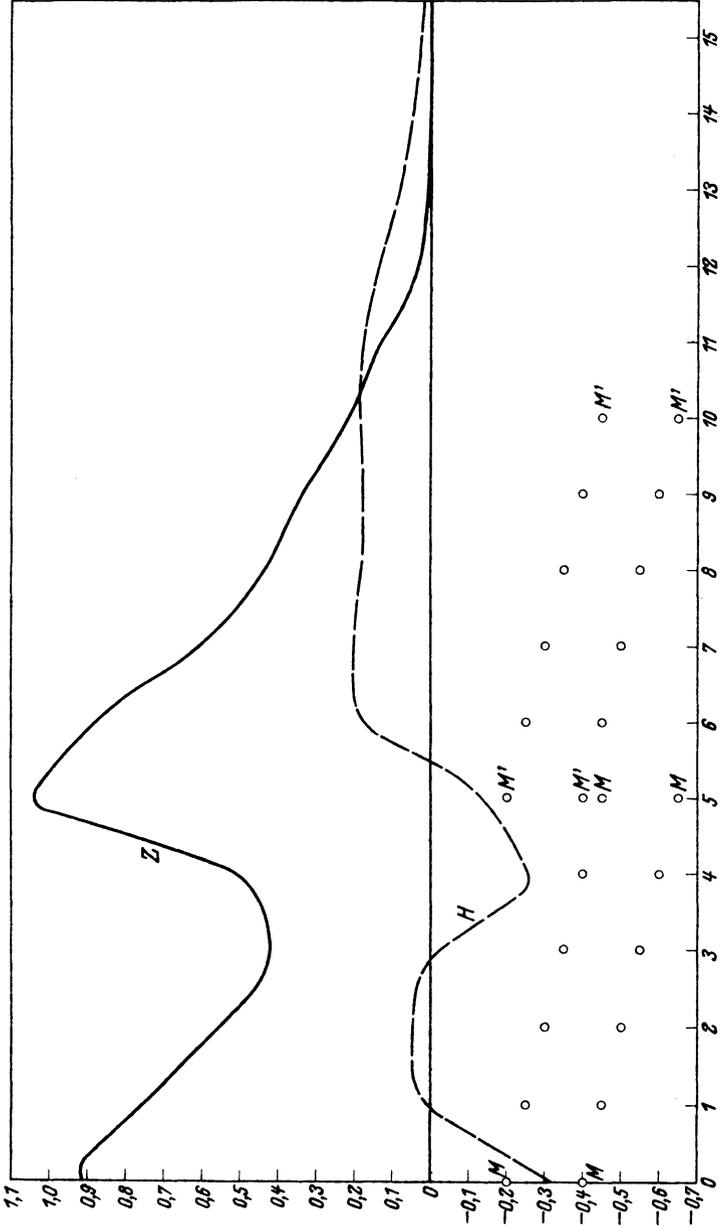
Tafel XXXII.



Schwach geneigte Platte. Typus 28.

Nippoldt, Messungen.

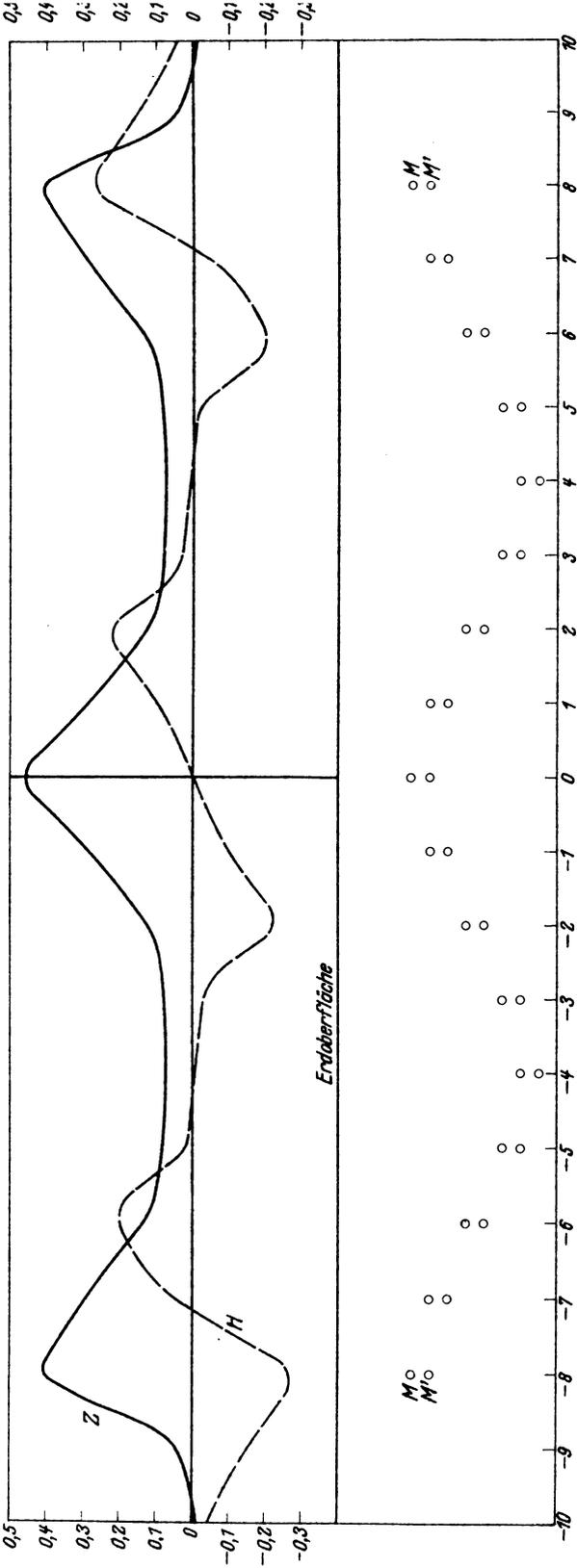
Tafel XXXIII.



2 schwach geneigte senkrecht verworfene Platten. Typus 29.

Nippoldt, Messungen.

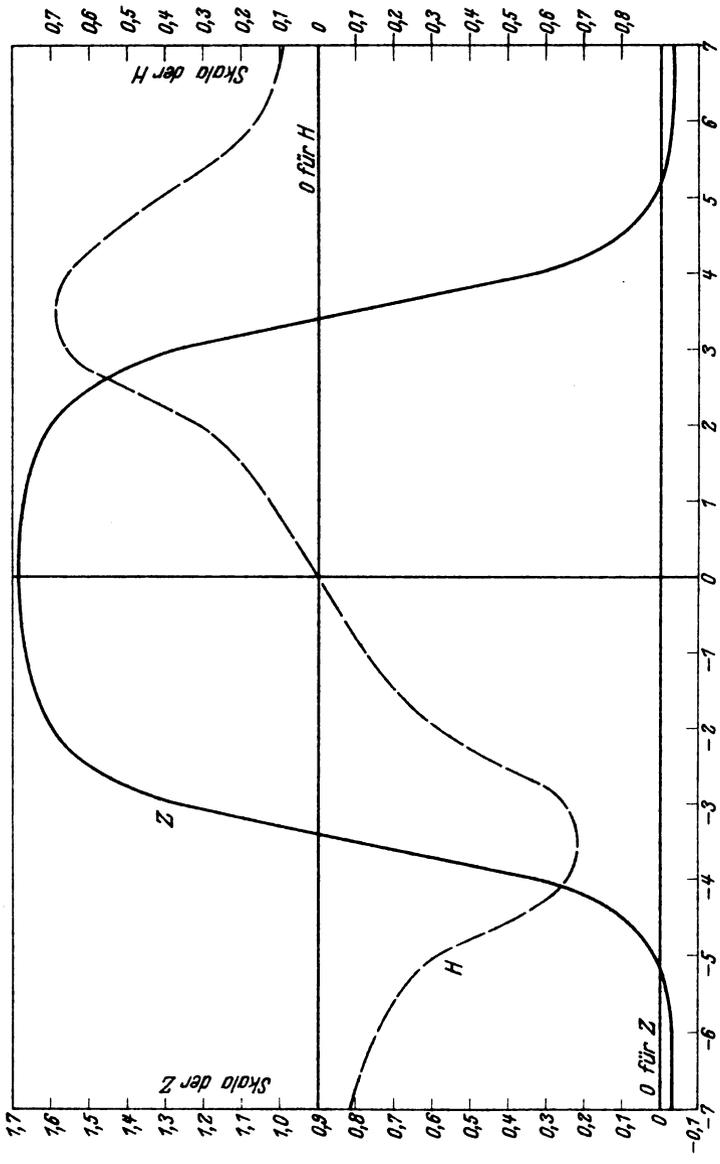
Tafel XXXIV.



Wellige dünne Schale. Typus 30.

Nippoldt, Messungen.

Tafel XXXV.



Mulde. Typus 31.

Nippoldt, Messungen.

Tafel XXXVI.

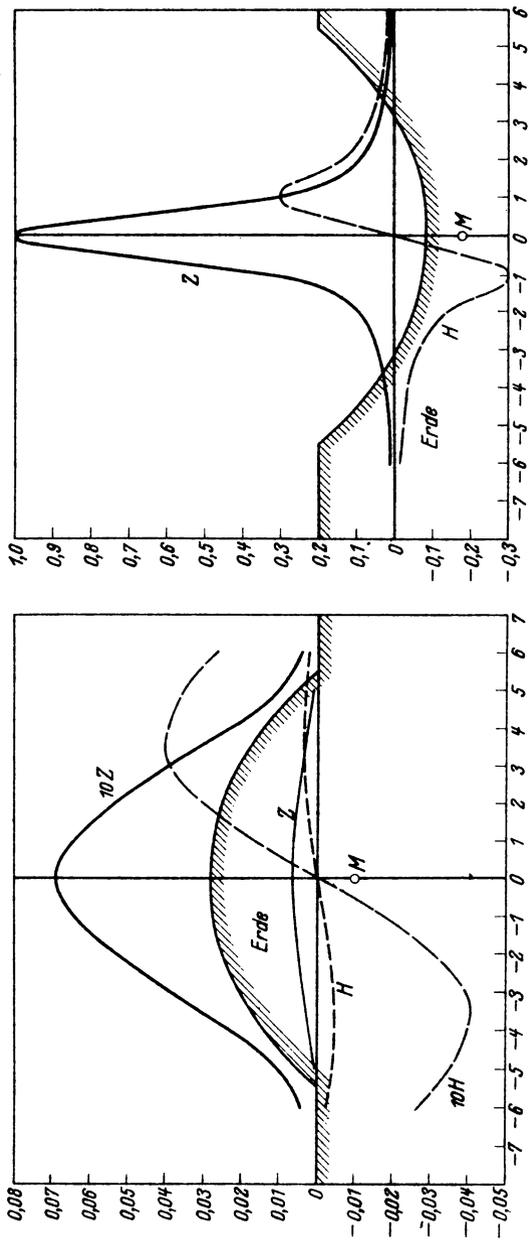
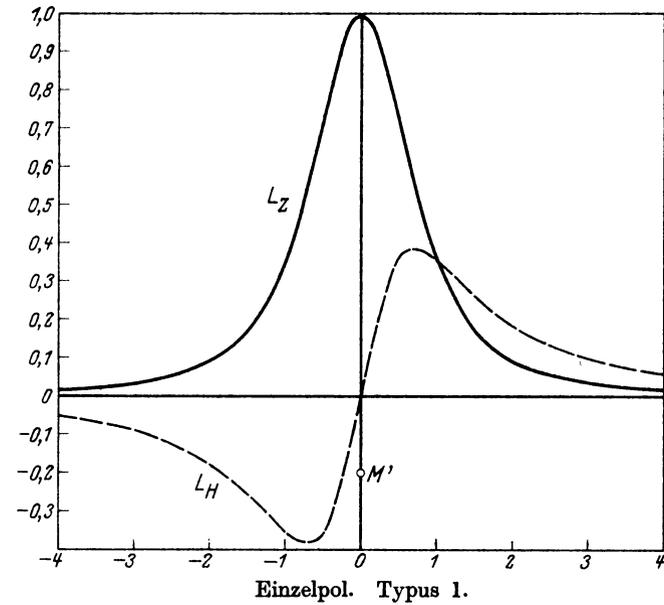


Fig. 1. Einzelpol unter einem Hügel. Fig. 2. Einzelpol in einer Senke.

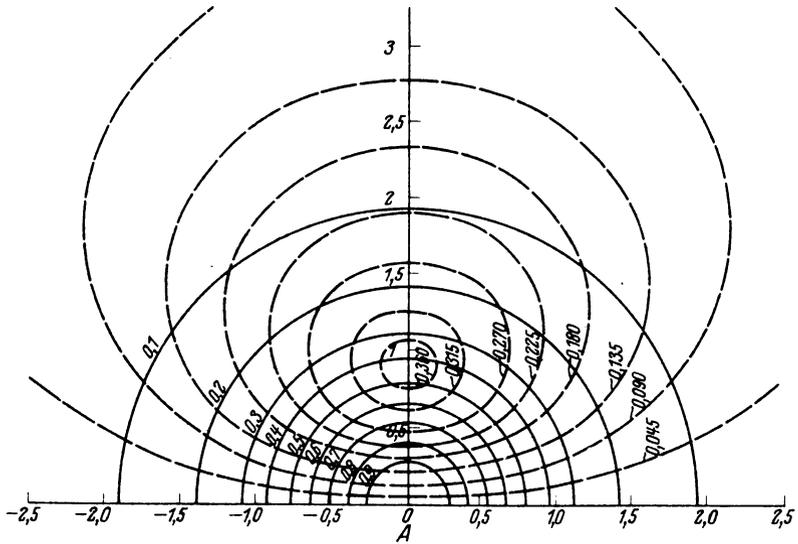
Nippoldt, Messungen.

Tafel I.



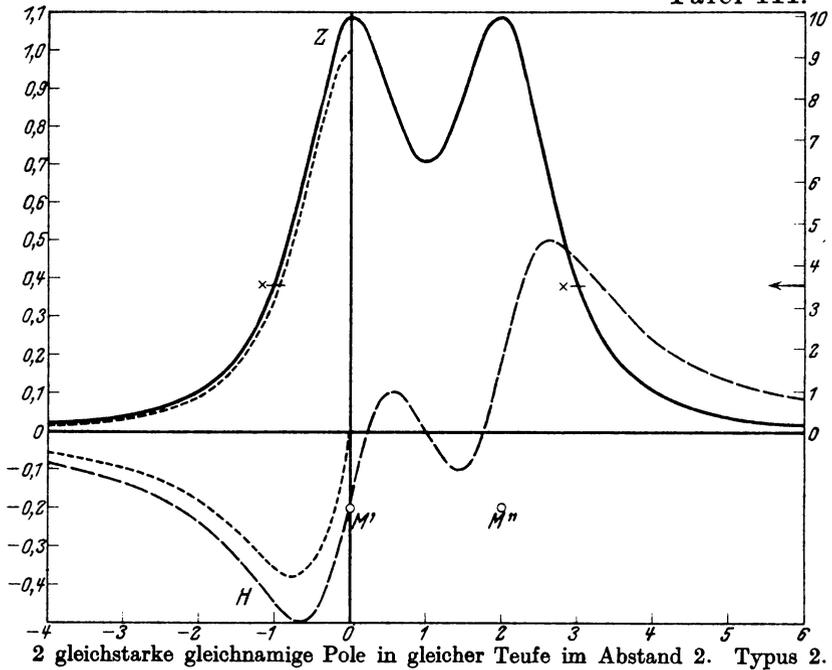
Einzelpol. Typus 1.

Tafel II.

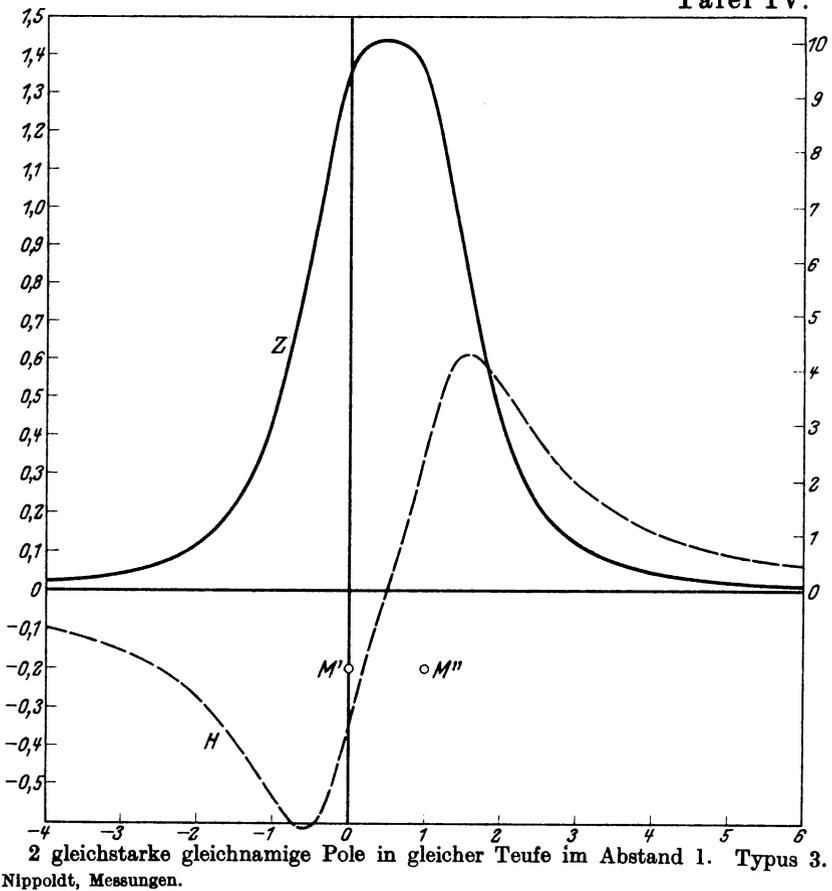


Einzelpol. Typus 1.

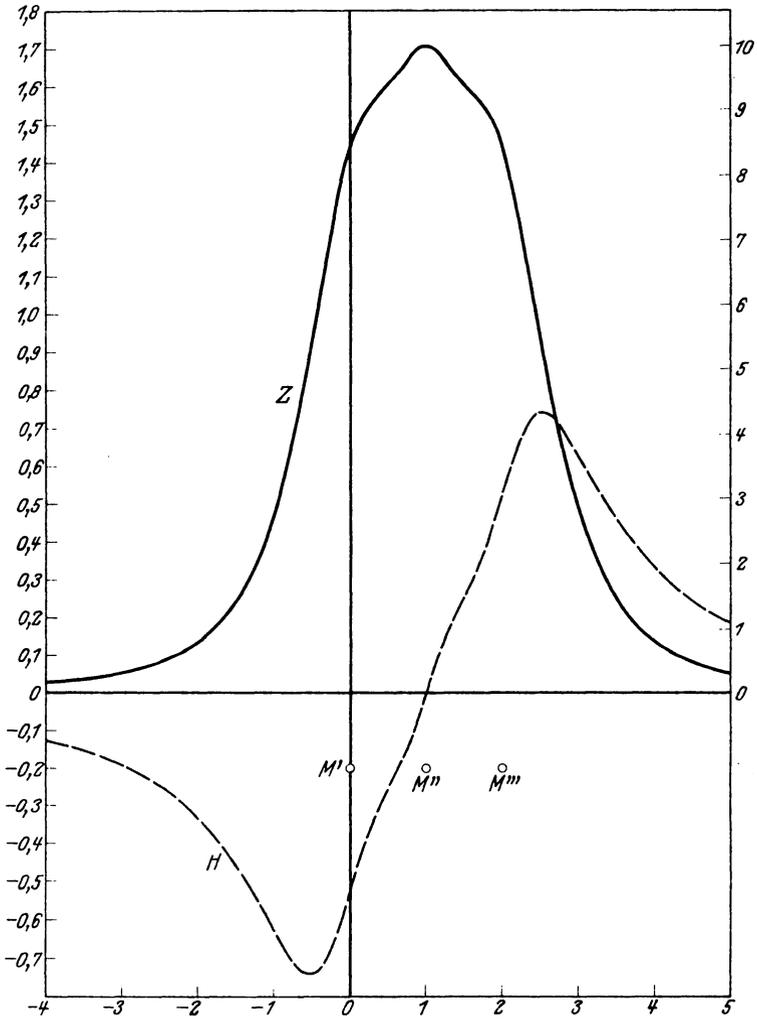
Tafel III.



Tafel IV.

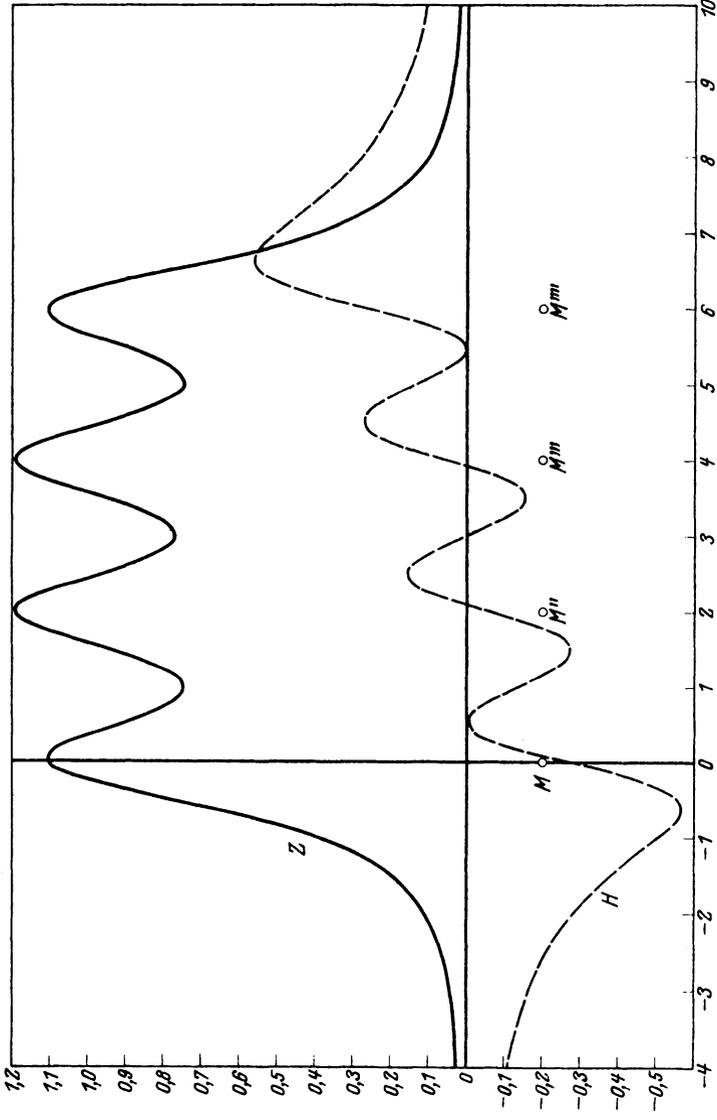


Tafel V.



3 gleichstarke gleichnamige Pole in gleicher Teufe im Abstand 1. Typus 4.

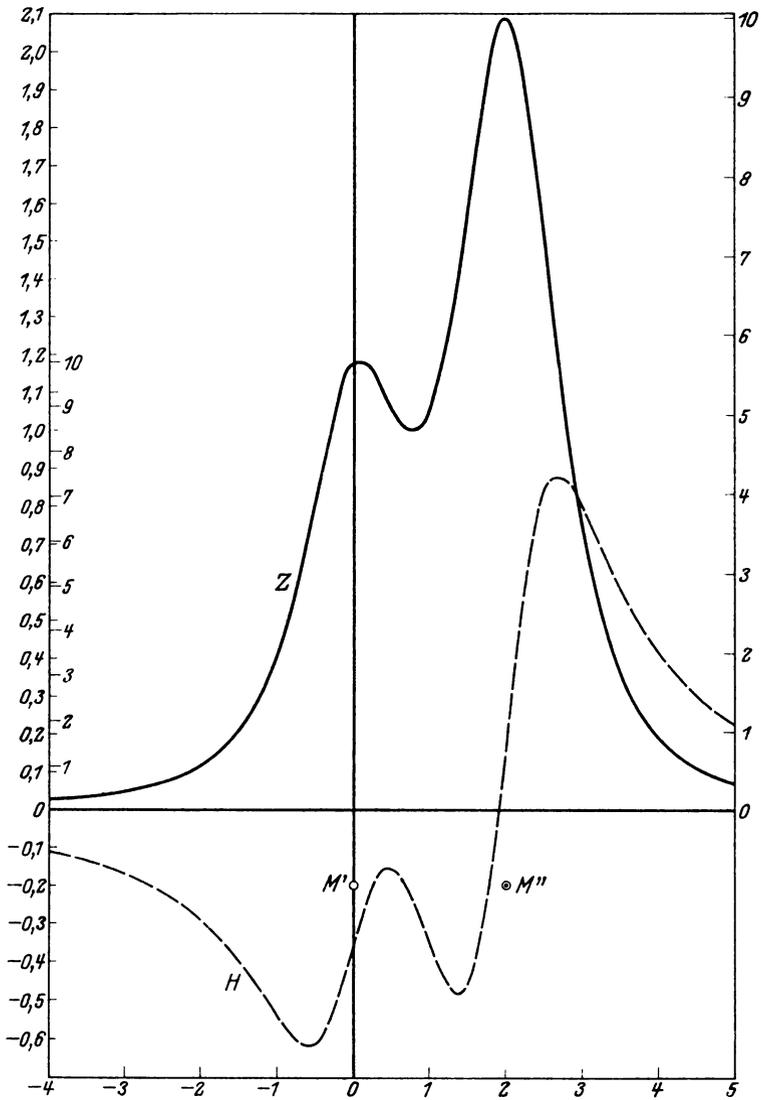
Tafel VI.



4 gleichstarke gleichnamige Pole in gleicher Teufe im Abstand 2. Typus 5.

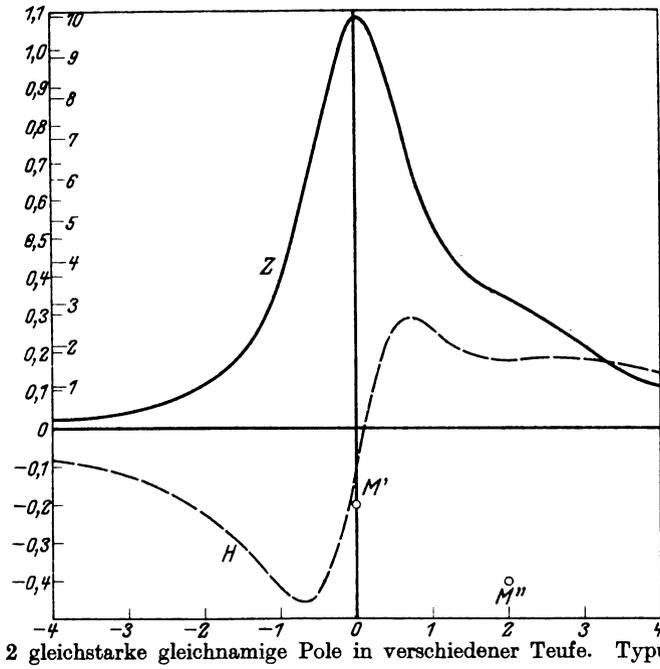
Nippoldt, Messungen.

Tafel VII.

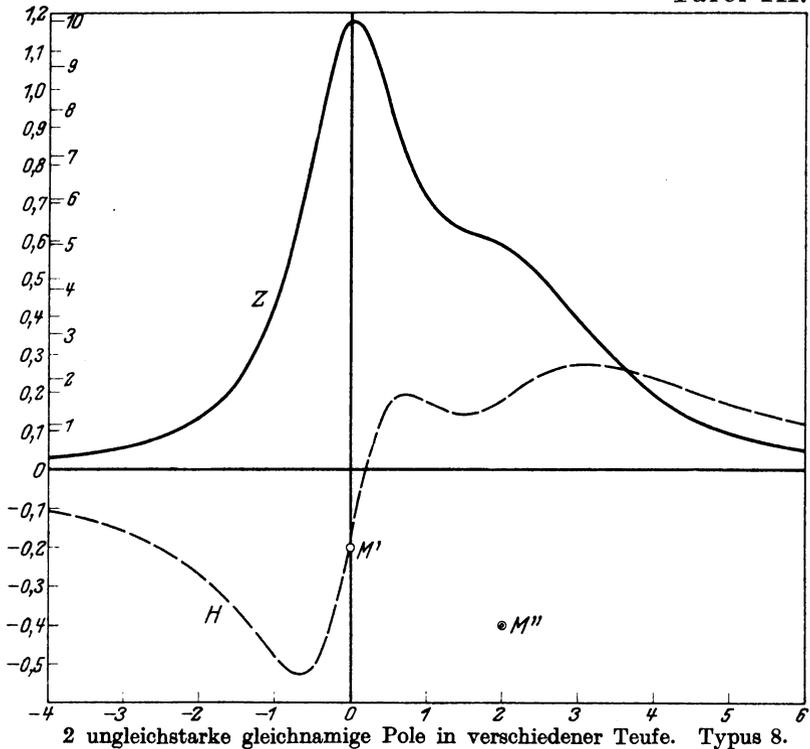


2 ungleichstarke gleichnamige Pole in gleicher Teufe im Abstand 2. Typus 6.

Tafel VIII.

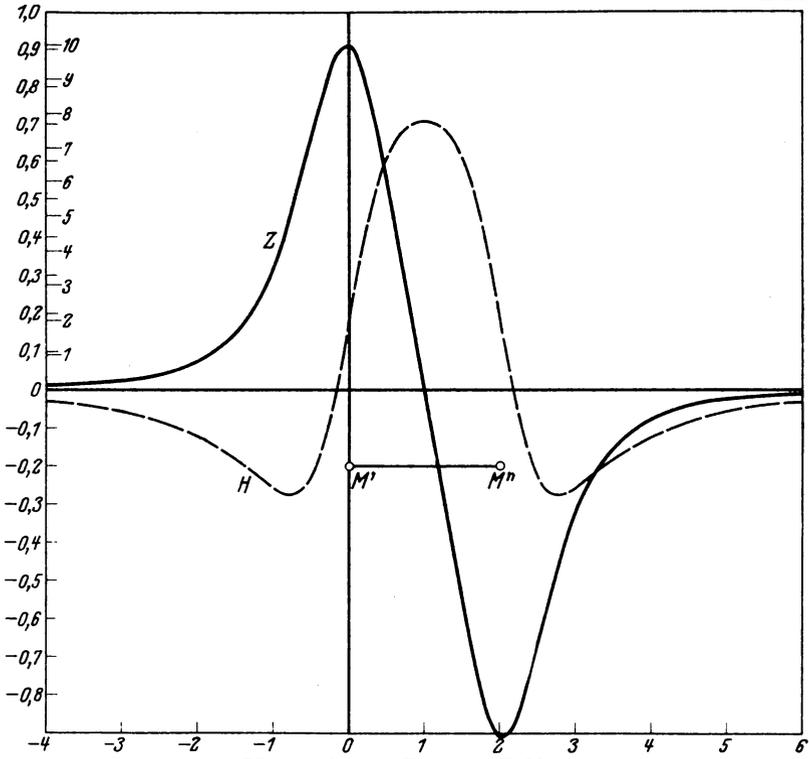


Tafel IX.



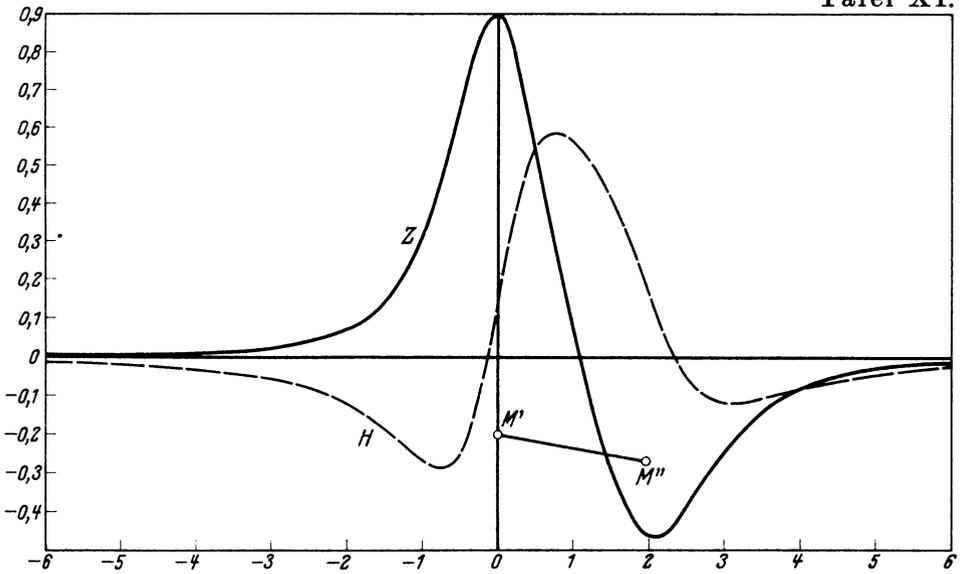
Nippoldt, Messungen.

Tafel X.



Horizontaler Magnet in der Teufe 1, Polabstand 2. Typus 9.

Tafel XI.

Magnet vom Polabstand 2 unter  $10^\circ$  Neigung. Typus 10.

Nippoldt, Messungen.