

Werk

Jahr: 1926

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:2

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0002

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0002

LOG Id: LOG_0022

LOG Titel: Anwendung der magnetischen Aufschlußmethode

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

Anwendung der magnetischen Aufschlußmethode.

Von H. Haalek. — (Mit drei Abbildungen.)

Es werden zunächst die für eine erfolgreiche Durchführung der magnetischen Aufschlußmethode in Betracht kommenden Fragen erörtert, sodann an Hand der im ersten Aufsatz mitgeteilten theoretischen Ergebnisse die Resultate verschiedener praktischer Anwendungen der magnetischen Aufschlußmethode (auf Erzvorkommen, Salzlagerstätten, Untertagemessung) mitgeteilt.

1. Die praktische Anwendung erdmagnetischer Messungen als geophysikalische Aufschlußmethode. Die Tatsache, daß die örtlichen erdmagnetischen Anomalien in Beziehung zum Bau des Untergrundes stehen, läßt die Möglichkeit erkennen, erdmagnetische Messungen als Hilfsmittel für die geologische Forschung zu benutzen. Naturgemäß kann die magnetische Methode nur in ganz bestimmten Fällen anwendbar sein: Vorbedingung für das Vorhandensein einer meßbaren lokalen erdmagnetischen Anomalie überhaupt ist, daß die im Untergrund befindlichen Massen hinsichtlich ihrer magnetischen Permeabilität genügend große Unterschiede aufweisen und nicht überall gleichmäßig horizontal gelagert sind. Aber auch unter solchen Vorbedingungen können die Verhältnisse noch so liegen, daß, besonders bei sehr schwachen Störungen, die magnetische Aufschlußmethode nur unsichere Erfolge verspricht. Andererseits lassen sich in den Fällen, welche für eine magnetische Untersuchungsmethode günstig liegen, aus der Verteilung der Isanomalien Schlüsse ziehen in bezug auf die örtliche Begrenzung, Tiefe und Lagerung der die Störungen hervorruhenden Masse, wozu die vorangestellten theoretischen Untersuchungen eine Grundlage geben.

Untersuchen wir, wie Geländeunebenheiten, deren Einfluß besonders in gebirgigem Gelände sehr erheblich werden kann, die Messungsergebnisse beeinflussen, so ist zunächst die normale Änderung der erdmagnetischen Kraft mit der Höhe praktisch vollkommen bedeutungslos. Im übrigen sind zwei verschiedene Fälle zu unterscheiden:

1. Die die Geländeerhebungen bildende Masse ist praktisch — im Verhältnis zu dem darunter befindlichen Störungskörper — unmagnetisch. In diesem Falle wissen wir, daß die Stärke der magnetischen Störung mit der Höhe abnimmt, und zwar in einem Grade, der von Form und Größe, in der Hauptsache aber von der Tiefe der magnetisch störenden Masse abhängt. Man wird deswegen die Geländeunebenheiten bei der Deutung zwar sehr genau beobachten müssen, aber sie rechnerisch durch eine Korrektur auf ebenes Gelände zu reduzieren, wird nicht möglich sein. Trägt man in dem Querschnitt an den einzelnen Punkten die Größe und Richtung der in diesen Schnitt fallenden Komponente

der störenden Kräfte ein, so ist es sehr einfach, den Einfluß von Unebenheiten im Gelände dadurch auszuschalten, daß die Meßpunkte in ihrer richtigen relativen Höhe eingezeichnet werden.

2. Die die Geländeerhebungen bildende Masse ist selbst magnetisch. Korrekturen der Meßresultate, welche analogisch denjenigen sein müßten, wie sie bei Schwerkraftmessungen angebracht werden, sind in solchen Fällen bei magnetischen Messungen zu kompliziert, als daß sie im Bereich der Möglichkeit liegen. Hierher gehören jene Fälle, bei welchen die unmittelbar an oder unter der Oberfläche liegenden Massen magnetische Eigenschaften besitzen und selbst bei vollkommen ebenem Gelände durch kleine, an und für sich minimale Unregelmäßigkeiten in der oberen Begrenzung, Inhomogenitäten in der Magnetisierbarkeit, welche durch Grundwasser, Verwitterungen oder dgl. hervorgerufen sein können, wegen ihrer geringen Tiefe die erdmagnetischen Messungen so stark beeinflussen, daß der Einfluß der gesuchten magnetisch störenden Massen vollkommen überdeckt wird. Es sind das eben Fälle, wo trotz des Vorhandenseins erdmagnetischer Störungen die Anwendungsmöglichkeit der magnetischen Aufschlußmethode in Frage gestellt wird (vgl. S. 8).

Für schwache Anomalien, die sich über große Gebiete erstrecken (z. B. bei Salzstöcken), ist es von großer Wichtigkeit, aus der durch Messung festgestellten örtlichen Verteilung der erdmagnetischen Kraftkomponenten den Betrag herauszubringen, welcher durch die normale örtliche Änderung des Erdmagnetismus oder durch eine regionale Anomalie bedingt ist.

Die Beobachtungsergebnisse — nach Anbringung aller erforderlichen Reduktionen — enthalten außer der magnetisch störenden Kraft der Masse, die untersucht werden soll, noch den normalen Teil des erdmagnetischen Feldes oder einen Teil derselben — da es sich in der Regel um Messungen mit Lokalvariometern handelt —, Einflüsse des tieferen Untergrundes usw. Haben wir sehr kleine Untersuchungsgebiete oder erreichen die magnetischen Störungen sehr erhebliche Beträge, so kann man das normale Erdfeld — d. h. also ohne die Anomalie — mit hinreichender Annäherung in diesem Gebiet als konstant ansehen. Für große Untersuchungsgebiete (einige Kilometer lang) trifft es dagegen nicht mehr zu. So muß z. B. auf der nördlichen Halbkugel die Vertikalintensität in Richtung des magnetischen Meridians nach Norden hin normalerweise zunehmen, die Horizontalintensität dagegen abnehmen. Außerdem kann in dem ganzen Untersuchungsgebiet eine gleichmäßige Zunahme bzw. Abnahme des Erdfeldes nach irgend einer Richtung hin vorhanden sein, welche durch eine sich über große Ländergebiete erstreckende regionale Anomalie — wahrscheinlich also dem Einfluß der tieferen Partie des Untergrundes *) — hervorgerufen sein kann. Um die Messungsergebnisse von diesen Faktoren möglichst zu befreien, kann man zwei verschiedene Wege einschlagen:

1. Aus den Messungen selbst, indem man die Messungsergebnisse daraufhin untersucht, welche systematische, d. h. mittlere Zunahme vorhanden ist von Süden

*) Z. B. Störungen, sich ändernde Mächtigkeit in den Perm- und Carbonschichten, welche eine relativ hohe Permeabilität besitzen, und bei welchen es sich um ungeheure Gesteinsmassen handelt, denen gegenüber die des Deckgebirges unwesentlich erscheinen.

nach Norden bzw. von Osten nach Westen, und dann diese systematische Änderung aus den Messungsergebnissen eliminiert [vgl. ¹¹⁾].

2. Aus den Kurven der erdmagnetischen Landesaufnahme. Die Karten der erdmagnetischen Landesaufnahmen enthalten die Isogonen, Isoklinen und Vertikal- und Horizontalisodynamen. Aus diesen Karten kann man die systematische Änderung der betreffenden Störungskomponente in dem Untersuchungsgebiet sowohl an Größe wie an Richtung durch Interpolation ohne weiteres entnehmen [vgl. ¹²⁾].

Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile; eine exakte Methode, die lokalen Anomalien für sich dargestellt zu bekommen, gibt es nicht. Die erstere kann deshalb fehlerhaft sein — besonders bei nicht allzu großen Störungsgebieten —, weil durch örtliche Anomalien, z. B. eine negative Anomalie im Süden und eine positive im Norden, eine systematische Änderung vorgetäuscht werden kann, die in Wirklichkeit nur durch die lokalen Anomalien bedingt wird. Die zweite Methode ist deswegen nicht sicher genug, weil die regionale Anomalie des Untersuchungsgebietes nicht immer genau herauskommt.

Um allgemeine geologische Schlußfolgerungen aus erdmagnetischen Messungen zu ziehen, legt man natürlich zunächst die Isonomalkarte der Betrachtung zugrunde; im einzelnen ergeben sich dann die Schlüsse an besten und sichersten, wenn man einzelne passend gewählte Profile — ähnlich wie in den theoretischen Beispielen geschehen ist — betrachtet.

Die Bestimmung der Tiefe der magnetisch störenden Masse geschah früher in Schweden und anderswo, wo man die magnetische Methode anwandte, an Hand einer Reihe von Regeln, die auf Grund von tatsächlichen Messungen in der Umgebung bekannter Erzlagerstätten aufgestellt wurden. Bei der theoretischen Bearbeitung der magnetischen Messungen von Kursk (vgl. S. 6) stellt E. Leyst ¹³⁾ eine Reihe von Regeln für Tiefenbestimmungen auf unter Annahme eines in der Erde eingelagerten Poles. Auf die Unsicherheit, welche diesen Regeln anhaftet und unter Umständen zu großen Fehlern führen kann, weist P. Lasareff ¹⁴⁾ hin und stellt auf Grund der Annahme einer einfallenden, mit magnetischer Masse versehenen Schicht andere Regeln auf. Jede allgemeine Anwendung solcher Regeln für Tiefenbestimmungen erscheint aber als zu unsicher und kann zu erheblichen Fehlschlüssen führen. Zweckmäßig ersetzt man die Regeln, besonders bei genauen Präzisionsmessungen, wie sie in schwachen Störungsgebieten notwendig sind, durch theoretische Überlegungen. Am sichersten sind Tiefenbestimmungen, wenn alle Klassen von Messungen (Deklinationmessungen, Vertikal- und Horizontalintensitätsmessungen) ausgeführt sind. Liegt nur eine einzige Klasse von Messungen vor, so läßt sich in besonders günstigen Fällen aus der Stärke des Anwachsens der betreffenden Störungskomponente wohl ein Anhaltspunkt für die Tiefe der störenden Masse gewinnen. Die Genauigkeit, mit welcher sich aus der Verteilung der magnetischen Störungskräfte auf der Erdoberfläche Schlüsse in bezug auf den Bau des Untergrundes ziehen lassen, hängt ab von dem Magnetismus, der Form und der Gleichmäßigkeit der magnetisch störenden Masse. Solche Schlußfolgerungen sind nicht in allen Fällen eindeutig, da eine magnetische Störung durch verschiedene geo-

logische Zustände verursacht sein kann; z. B. haben mehrere isolierte, in geringem Abstand voneinander befindliche Erzlinsen in einiger Entfernung ganz die Wirkung wie eine einzige zusammenhängende Erzmasse. In solchen Fällen steht eben die einfachste, mit den Beobachtungsergebnissen in Einklang stehende Annahme an erster Stelle. Recht oft werden geologische Gründe zwischen verschiedenen Möglichkeiten entscheiden können. An Hand der theoretisch untersuchten Beispiele lassen sich — innerhalb einer mehr oder weniger großen Genauigkeit — Anhaltspunkte für Tiefe und Lagerung der magnetisch störenden Masse geben. Die Abweichungen, welche die sich aus den Messungen ergebenden Kurven gegenüber den theoretisch berechneten Kurven zeigen, müssen, wie in den am Schlusse angeführten Beispielen gezeigt wird, im einzelnen diskutiert werden. Allgemein gültig für die Gegenden mit größerer Inklination ist, wie die theoretischen Beispiele zeigen, folgende Regel mit hinreichender Annäherung:

Die geringste Tiefe der magnetisch störenden Masse ist vorhanden etwa an dem Punkt, an welchem die Störung in der Vertikalintensität ihr Maximum erreicht, diejenigen in der Deklination und der Horizontalintensität gleich Null sind.

Schlüsse in bezug auf Größe und Form der magnetischen Störungsmasse müssen immer weitaus unsicherer bleiben als die Angaben über Ort und Tiefe. Inhomogenitäten in der Magnetisierung der gesuchten Substanz, Unregelmäßigkeiten in der äußeren Begrenzung derselben, die sich mathematisch nicht wiedergeben lassen, müssen naturgemäß — abgesehen von den durch die begrenzte Genauigkeit des Meßverfahrens bedingten Messungsfehlern — den Verlauf der Störungskräfte verzerren, so daß schon eine sehr große Anzahl von Meßpunkten notwendig ist, um einen verlässlichen Verlauf der Störungskräfte ableiten zu können. Die Störung in der horizontalen Komponente setzt sich zusammen aus den Störungen in der Horizontalintensität und der Deklination (vgl. S. 5, Heft 1); die erstere hat ihre extremen Störungen im wesentlichen an der nördlichen und südlichen Begrenzung, die letztere an der östlichen und westlichen Flanke. Da die Durchführung aller Klassen von erdmagnetischen Messungen recht oft zu kostspielig und umständlich ist, oder auch wegen Geländeschwierigkeiten (z. B. Deklinationsmessungen im Walde oder bei dichtem Unterholz) nur schwer möglich ist, wird es sehr oft genügen, das Untersuchungsgebiet gleichmäßig mit Messungen der Vertikalintensität, die relativ schnell ausgeführt werden können, zu bedecken, und dann auf Grund der erhaltenen Isanomalien der Vertikalintensität in passend gewählten Gebieten genaue Präzisionsmessungen aller Klassen von Messungen (Deklinations-, Vertikalintensitäts- und Horizontalintensitätsmessungen) auszuführen. Vom meßtechnischen Standpunkt aus sind, damit in kurzer Zeit ein Untersuchungsgebiet möglichst dicht mit Meßpunkten überdeckt werden kann, solche Lokalvariometer für alle Messungsarten von der größten Bedeutung, welche Schnelligkeit und Sicherheit der Messungen mit großer Genauigkeit verbinden¹⁵⁾.

Was die Substanz der störenden Masse anbetrifft, so lassen sich im allgemeinen aus den magnetischen Störungskräften keine sicheren Schlüsse

darauf ziehen, da z. B. eine große Masse mit fein verteilten Erzkörnern fast dieselben Anomalien hervorrufen kann, wie eine entsprechende geringe kompakte Erzmasse. Auch bei Tiefenbestimmungen ist diese Tatsache sehr zu beachten. In erster Linie müssen geologische Gründe dafür maßgebend sein, welche Substanz für die Masse des Störungskörpers in Frage kommt. Über die Frage nach dem Unterschied in der Magnetisierbarkeit der verschiedenen Gesteinsarten muß — jedenfalls qualitativ — Klarheit herrschen; aufgestellte Tabellen^{10) 16)}, Kenntnis des Gehalts der Gesteinsarten an magnetisierbaren Erzen (besonders Magnetit, Hämatit, Pyrit usw.), Untersuchung von Gesteinsproben an Magnetometern*), Messungen in geologisch ähnlichen, bekannten Gebieten geben darüber Anhaltspunkte. Besonders bei sehr schwachen Störungen, zumal wenn sie in der Nähe der Beobachtungsgenauigkeit liegen, ist die Frage, welche Substanzen die Ursachen der Störungen sein können, sehr vorsichtig zu untersuchen. Um in solchen Fällen, in welchen man die Permeabilität der gesuchten magnetisch störenden Masse, außerdem diejenige des Nebengesteins kennt, ein Bild von der Größenordnung der zu erwartenden Störung zu erhalten, kann man für die Beispiele einer Kugel, eines Rotationsellipsoids oder eines Zylinders für verschiedene Größen, Tiefen usw. die Größe der Störung rechnerisch bestimmen an Hand der graphischen Darstellung von Fig. 2, Heft 1 oder der entsprechenden Formeln**).

Für eine Kugel mit dem Radius R ist z. B. die maximale Störung:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ma} &= -0.84 \frac{\mu_0 - \mu}{2 \mu_0 + \mu} \cdot \frac{R^3}{z^3}, \\ F_{ma} &= +0.41 \cdot Z_{ma}, \\ F_{mi} &= -0.57 \cdot Z_{ma}. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

Die Tatsache, daß die Intensität der Wirkung magnetisch störender Massen mit der zweiten bis dritten Potenz der Entfernung abnimmt, läßt erkennen, daß es nur dann möglich ist, durch die magnetische Aufschlußmethode größere Tiefen zu erfassen, wenn es sich um sehr große Massen von sehr erheblichem Permeabilitätsunterschied gegen das Nebengestein handelt. Allgemein wird sie sich, um praktisch sichere Resultate zu liefern, auf die Erforschung geringerer Tiefen beschränken müssen. Bei schwachen Anomalien, ebenfalls in Gebieten, in welchen die Störungen sehr kompliziert verlaufen, verspricht die magnetische Methode nur dann eine sichere Hilfe für die geologische Forschung, wenn die geologischen Verhältnisse nicht zu kompliziert und hinreichend bekannt sind. Besonders muß davor gewarnt werden, in solchen Fällen einzelnen Messungen eine zu große Bedeutung zuzumessen; erst das Gesamtbild, besonders wenn die Messungen sehr dicht liegen und durch möglichst viele Kontrollmessungen gesichert sind, gestattet sichere Schlüsse.

*) Solche Messungen sind aber nur sehr bedingt zu verwerten, da verschiedene Proben ein und derselben Gesteinsart sich oft recht verschieden verhalten.

***) Solche theoretischen Berechnungen liefern aber gewöhnlich erheblich geringere Werte, als sich bei den praktischen Messungen ergeben.

2. Beispiele praktisch ausgeführter erdmagnetischer Untersuchungen.

Berichte von tatsächlich erfolgten Messungen von lokalen erdmagnetischen Anomalien, bei denen sämtliche Komponenten der störenden Kräfte gemessen wurden, sind in der Literatur sehr spärlich vorhanden, da entweder die Messungen sich nur auf eine Komponente erstrecken oder die Messungen in privatem Auftrage ausgeführt und deswegen nicht veröffentlicht wurden. Die folgenden kurzen Beispiele behandeln einige Messungen aus der Praxis.

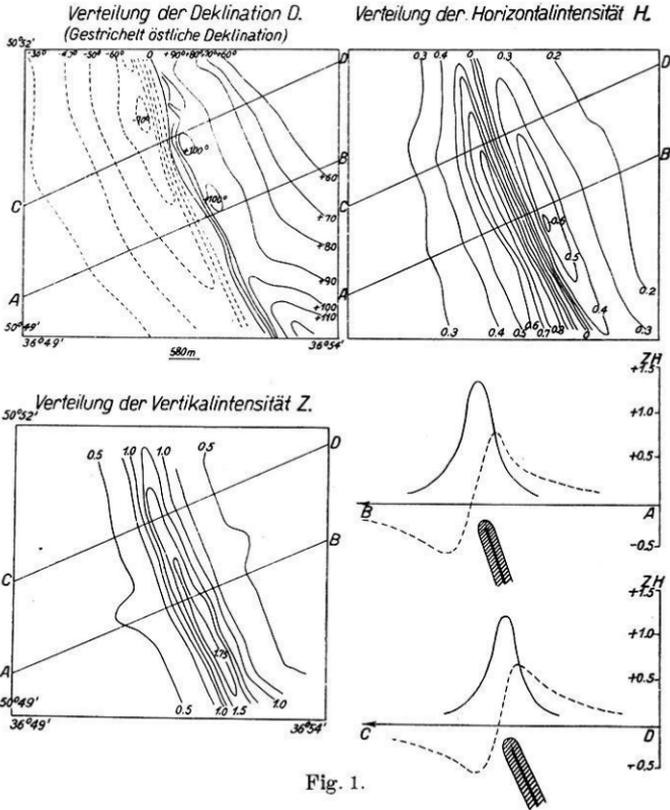


Fig. 1.

a) Untersuchungen auf Erzvorkommen. 1. Beispiel: Als erstes Beispiel betrachten wir das erdmagnetische Störungsgebiet in Rußland im Gouvernement Kursk. Im Jahre 1874 entdeckt, erregte es bald große Aufmerksamkeit, da es sich um Abweichungen handelt, die das Erdfeld noch um das Mehrfache übertreffen und bis jetzt kein Analogon auf der ganzen Welt haben. Die Anomalie gehört zu den eigenartigsten Erscheinungen und steht zurzeit im Mittelpunkt des Interesses der Geologen und der Geophysiker, besonders, da man es unternommen hat, das Problem praktisch durch Bohrungen zu lösen.

Die in Fig. 1 dargestellten Kurven stellen die Verteilung der Deklination, Horizontalintensität und Vertikalintensität dar in einem Teilgebiet, in welchem die Störungen ihre größten Beträge erreichen (in CGS-Einheiten). Als normale erdmagnetische Werte in dem betreffenden Gebiet setzen wir abgerundet:

$$\begin{aligned} D_0 &= 0 \\ H_0 &= 0.2 \\ V_0 &= 0.4. \end{aligned}$$

Aus den Isanomalen ergibt sich als Streichungsrichtung der Achse des magnetischen Störungskörpers etwa 22° nach Westen von der Nordrichtung abweichend.

Legen wir die beiden Querschnitte AB und CD senkrecht zu der Streichungsrichtung der Störung, so ergibt sich für die in dieser Schnittebene liegende horizontale Störungskomponente F nach Gleichung (2):

$$F = H \cos (68^\circ + D) - H_0 \cos 68^\circ$$

positiv in Richtung nach D bzw. nach B gerechnet.

Die unteren Figuren zeigen die in den Querschnitten AB und CD liegenden Kurven der horizontalen und vertikalen Störungskomponenten. Die Berechnung des Einfallens der störenden Masse ergibt sich am sichersten aus dem Verhältnis des Maximums zum Minimum in der Störung der horizontalen Komponente F , und zwar erhalten wir durch Interpolation aus dem Vergleich mit den theoretisch berechneten Beispielen einer einfallenden Schicht auf S. 7/8, Heft 1, daß die störende Schicht nach Nordosten einfällt unter einem Winkel von 65° im Querschnitt AB , unter einem Winkel von 68° im Querschnitt CD .

Die Berechnung der Tiefe z der störenden Masse geschieht am besten durch Interpolation aus der Lage der Maxima und Minima der beiden Störungskomponenten zueinander:

1. im Querschnitt $AB: z = 350$ m,
2. " " " " $CD: z = 270$ m.

Dabei ist in Betracht zu ziehen, daß die geringste Tiefe der magnetisch störenden Masse erheblich geringer sein muß, denn die theoretische Tiefenberechnung S. 7/8, Heft 1, bezieht sich streng auf eine sehr geringe Dicke der störenden Schicht.

Die im Herbst 1923 in dem Gebiet der stärksten magnetischen Abweichungen niedergebrachten fünf Bohrungen¹⁷⁾ ergaben als Einfallen der störenden Schichten etwa 70° nach NO, als geringste Tiefe einer magnetisch störenden Masse 160 m; bis etwa 300 m halten dieselben Schichten (magnetithaltige Quarzite) noch an bei zunehmendem Magnetitgehalt. Es ist aber noch die Frage, ob der erbohrte Magnetitquarzit ausreicht zur Erklärung der magnetischen Anomalien, da nach Ansicht von Lasareff der Magnetismus der Bohrkerne zu gering ist, um die Intensität der Störung zu erklären. Die Tatsache der Übereinstimmung des Ergebnisses der Bohrungen mit der Theorie, welche auf der Annahme fußt, daß ausschließlich die Induktion des Erdfeldes auf die Massen des Untergrundes die Ursache der Störungen bildet, läßt den Schluß zu, daß auch bei den

großen Anomalien von Kursk eine wesentlich störende Wirkung durch permanenten Eigenmagnetismus nicht vorhanden ist*).

2. Beispiel: Das zweite Beispiel betrifft eine kleine örtliche Anomalie, hervorgerufen durch schwach magnetische Erzlagerstätten nach A. Wagner¹⁸⁾:

Gemessen wurde die örtliche Verteilung der Vertikal- und Horizontalintensität; ein Querschnitt durch das Gebiet etwa in Richtung des magnetischen

Meridians durch die extremen Störungen ergibt auf Grund der von A. Wagner festgestellten örtlichen Verteilung der erdmagnetischen Kräfte die in Fig. 2 oben dargestellten Kurven.

Das Bild steht mit dem Ergebnis der theoretischen Untersuchung Fig. 3 unten und Fig. 4 oben, Heft 1, am meisten in Übereinstimmung. Nur das Maximum der Störung in der Vertikalintensität fällt nicht mit dem Punkte der Nullstörung in der Horizontalintensität zusammen, sondern liegt zu beiden Seiten. Die Erklärung ist darin zu suchen, daß sich die magnetische Störungsmasse an den beiden Stellen A und B der maximalen Störung in der Vertikalintensität entweder in geringerer Tiefe oder in konzentrierter Form befindet. Die Tiefe des magnetischen Störungskörpers wäre etwa folgende:

1. für Teil A: $z = 8$ bis 12 m**)
2. „ „ B: $z = 7$ „ 10 „

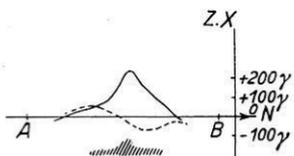
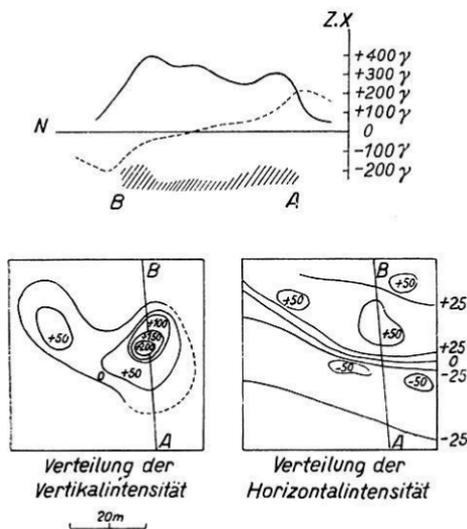


Fig. 2.

Eine Bohrung ergab Anzeichen für die Nähe von Erz: ein Kaolinband und oberhalb desselben stark eisenoxydhaltiges Gestein, welches auf die Nähe von Fahl-erzstöcken hindeutet.

3. Beispiel: Eine sehr kleine schwache Anomalie zeigt folgendes Beispiel, s. Fig. 2 unten***):

*) Auffallend ist aber die Tatsache, daß in dem Timsker Bezirk, wo sich bei fast vollkommener Abwesenheit einer Magnetanomalie eine bedeutende Schwereanomalie zeigt, die Bohrungen reichhaltige Eisenerzlager feststellten²⁰⁾.

***) A. Wagner kommt zu dem etwas abweichenden Resultat, daß die Tiefe des Teiles A etwa zwischen 20 und 25 m zu suchen ist.

****) Aus einer von der früheren Erda A.-G., Göttingen, im Auftrage der Österr. Alpen Mont. Ges. in Kärnten durchgeführten Untersuchung im Sommer 1924.

Die aus den durch Messungen gefundenen Isanomalien konstruierte Kurve der störenden Kräfte längs des Querschnitts AB steht mit der Theorie in guter Übereinstimmung. Die geringste Tiefe der magnetisch störenden Masse würde etwa in 6 bis 12 m zu suchen sein. Da die Intensität der Störung sehr gering und die Wirkungszone sehr beschränkt ist, so kommt nur ein schwach magnetischer Störungskörper von geringen Dimensionen als Ursache in Frage *).

b) Feststellung von Salzlagerstätten. In den letzten Jahren ist es wiederholt und zum Teil mit Erfolg unternommen worden, durch magnetische Vermessungen Salzhorste bzw. Zechsteinaufpressungen aufzusuchen und in ihrer Begrenzung festzustellen, besonders auch zu dem Zwecke, die an die Flanken von Salzstöcken gebunden vorkommenden Erdölvorkommen aufzufinden. Die Möglichkeit, die magnetische Aufschlußmethode für diese Aufgaben anzuwenden, ist dadurch gegeben, daß die in einem Salzstock bzw. in einer Zechsteinautiklinale vorkommenden Gesteine eine geringere magnetische Permeabilität besitzen als die umgebenden schwach magnetithaltigen Sedimentgesteine. Salzstöcke müßten sich also durch eine negative erdmagnetische Anomalie bemerkbar machen **). Zwei Momente sind es, welche die Anwendbarkeit der magnetischen Methode besonders erschweren: 1. Da die Unterschiede in der Permeabilität des die Antiklinale bildenden Gesteins nur von geringer Größenordnung sind, so sind auch die zu erwartenden magnetischen Anomalien von geringer Größenordnung. 2. Da das die Antiklinale überdeckende und benachbarte Gestein stärker magnetisierbar ist als die die Antiklinale bildenden Massen, so gehen Unregelmäßigkeiten in der Magnetisierbarkeit des Nebengesteins, wie sie durch ungleichmäßigen Gehalt an magnetisierbaren kleinen Erzteilen, wie Magnetit usw., leicht verursacht werden können, wegen ihrer geringen Tiefe verhältnismäßig stärker im Vergleich zu der durch die Antiklinale verursachten Anomalien in die Messungsergebnisse ein. Aus dem ersten Grunde folgt, daß die Antiklinalen sich magnetisch um so mehr bemerkbar machen, je gewaltiger die aufgepreßten Massen sind und je steiler die seitliche Begrenzung ist. Sind die Massen nicht zu solcher Höhe emporgepreßt und fallen sie nach den Flanken hin nicht sehr steil ab, so bleibt möglicherweise die magnetische Anomalie innerhalb der Messungsunsicherheit. Der zweite Umstand läßt die Möglichkeit erkennen, daß die durch Unregelmäßigkeiten in der Magnetisierbarkeit des überdeckenden und begrenzenden Gesteins verursachten erdmagnetischen Störungen diejenigen von der Antiklinale verursachten Anomalien überdecken, oder auch magnetische Maxima und Minima zur Folge haben, deren Ursache dann leicht auf das Vorhandensein eines Salzstocks zurückgeführt werden kann. Derartige wechselvolle magnetische Verhältnisse innerhalb des Diluviums sind oft konstatiert worden. Aus den angegebenen theoretischen

*) Aus geologischen Gründen ist wahrscheinlich kein Erz, sondern nur eine magnetithaltige Masse zu erwarten.

***) Den Nachweis, daß zwischen negativen Anomalien der Vertikalintensität und Salzhorsten ein Zusammenhang bestand, erbrachte zuerst F. Schuh in Mecklenburg 1920¹³⁾.

Gründen ist ersichtlich, daß die Frage, ob die magnetische Methode zur Aufsuchung und Vermessung von Salzlagerstätten Erfolg verspricht, allgemein nicht zu entscheiden ist. Hier können nur praktisch durchgeführte Untersuchungen ein Urteil abgeben. Leider liegen magnetische Vermessungen von Salzstöcken, bei denen genaue Präzisionsmessungen sämtlicher erdmagnetischer Größen — Vertikal- und Horizontalintensitäts- sowie Deklinationsmessungen — ausgeführt sind, nicht vor. Doch genügen die bis heute vorliegenden magnetischen Vermessungen von Salzlagerstätten, die sich auf Messungen einzelner Komponenten der erdmagnetischen Kraft — hauptsächlich der Vertikalintensität — beschränken, um die Frage der Anwendbarkeit der magnetischen Aufschlußmethode bei der Aufsuchung und Vermessung von Salzhorsten und Zechsteinaufpressungen kritisch zu untersuchen. Von den von der früheren Erda A.-G., Göttingen, ausgeführten erdmagnetischen Messungen kann man die Ergebnisse der Messungen bei Stade (Hannover) und Hemmingstedt (Holstein) als durchaus positiv anführen*), während die Messungen am Salzstock von Oldau-Hambühren (Hannover) nicht befriedigten. Weitere Beispiele sind hinsichtlich ihres Resultats fraglich, da die Verhältnisse ihres Untergrundes nicht genügend bekannt sind.

Es seien noch besonders angeführt folgende bereits veröffentlichte magnetische Vermessungen von Salzstöcken bzw. Zechsteinaufpressungen mittels der Schmidt'schen Feldwage:

1. Salzlager von Lübtheen und Jessenitz in Mecklenburg von F. Schuh 1920¹²⁾.
2. Salzstock von Segeberg von C. Heiland 1922⁵⁾.
3. Lüneburger Zechsteinaufbruch von C. Heiland 1922⁵⁾.
4. Salzstock der Burbacher Achsenzone bei Wefensleben von H. Haalck und G. Brinkmeier 1922¹¹⁾.

Die angeführten Beispiele sind als Beleg dafür anzuführen, daß nicht oberflächliche Inhomogenitäten im Deckgebirge (Diluvium, Tertiär) die Ursache der negativen magnetischen Anomalien bilden, sondern daß diese tatsächlich, wie Schuh richtig erkannte, im wesentlichen von den Salzstöcken bzw. Zechsteinaufpressungen hervorgerufen werden; Einflüsse der noch tiefer liegenden Schichten sind aber ebenfalls — wenn auch in geringem Maße — möglich. Die Anwendbarkeit der magnetischen Aufschlußmethode für die Aufsuchung und Vermessung von Salzlagerstätten — jedenfalls für eine Reihe von Fällen — ist damit als erwiesen anzusehen. Wollen wir aber noch die Sicherheit der Methode kritisch untersuchen, so müssen wir das Verhältnis der Meßgenauigkeit, Stärke der aufgepreßten Masse und Größe der Anomalie betrachten. Über die Größenordnung der von Salzlagerstätten hervorgerufenen magnetischen Störungen hat bereits J. Königsberger¹⁹⁾ theoretische Betrachtungen angestellt. Als einen mittleren — eher schon etwas zu

*) Leider konnten diese Beispiele — wohl die instruktivsten dieser Art — nicht veröffentlicht werden, da sie Eigentum des Auftraggebers geblieben sind.

günstigen — Wert der vorkommenden Suszeptibilitätsdifferenzen nimmt Königsberger $5 \cdot 10^{-5}$ an [Salz: $\frac{\mu - 1}{4\pi} = \kappa = -4 \cdot 10^{-7}$, umgebende Schichten $\kappa = \frac{\mu_0 - 1}{4\pi} = 4 \cdot 10^{-5}$ *]. Legen wir diese Werte der Rechnung zugrunde, so können wir auf Grund der Formel (9) für verschiedene Tiefen und Größen einer in der Erde eingelagerten Salzkugel die durch diese hervorgerufenen Anomalien in der Vertikal- und Horizontalintensität der Größenordnung nach einfach berechnen; es ist dann:

$$Z_{ma} = -18.3 \cdot \frac{R^3}{z^3} \text{ in } \gamma,$$

z. B. für $R = z$, d. i. etwa für sehr geringes Deckgebirge, würden wir erhalten:

$$Z_{ma} = -18,3 \gamma,$$

$$F_{ma} = -7,1 \gamma,$$

$$F_{mi} = +9,9 \gamma.$$

Die obige Formel würde aussagen, daß jede Salzkugel, wenn sie die Erdoberfläche gerade berührt, keine größere magnetische Störung verursachen kann, mag der Durchmesser auch noch so groß sein; ist $\frac{R}{z} = 0.8$, so beträgt die maximale Störung nur noch -9.4γ . Königsberger kommt an der Hand von Berechnungen an dem Beispiel der Kugel und des Rotationsellipsoids zu dem Resultat, daß Salzlagerstätten kaum eine größere Anomalie als 27γ hervorrufen können, und daß man es in solchen Fällen nur mit kurzen Salzstöcken und nicht mit ausgedehnten Salzflözen zu tun hat. Die praktischen Messungen zeigen aber in allen Fällen bedeutend größere Anomalien, was darauf schließen läßt, daß eben Salz allein nicht die Ursache der Störungen bildet, oder daß doch eine stärkere Magnetisierung des Nebengesteins vorhanden ist.

Die Theorie läßt klar erkennen, wie groß schon störende Massen bei Zechsteinaufpressungen sein können, ohne magnetische Anomalien, welche die Beobachtungsunsicherheit (etwa 10 bis 15γ) übertreffen, hervorzurufen. Eine theoretische Tiefenbestimmung aus den magnetischen Störungen ist deswegen bei derartig geringen Anomalien, wie sie bei Zechsteinaufpressungen vorkommen, als zu unsicher anzusehen; aus demselben Grunde kann man ebenfalls nicht erwarten, daß sich Einzelheiten in der Tektonik, wie z. B. Ausbuchtungen, Sättel, scharfe Begrenzung usw., magnetisch genügend bemerkbar machen. Einzelheiten in der Karte der magnetischen Isanomalien, auch wenn sie nicht durch Inhomogenitäten in der Magnetisierbarkeit der Oberflächenpartien erklärt werden können, darf man deswegen keine zu große Bedeutung beimessen. Vielmehr als die ungefähre Lage eines Salzstockes oder einer Zechsteinaufpressung — falls die hervorgerufene magnetische Anomalie überhaupt hinreichend groß ist, um in den Messungen zum Ausdruck zu kommen — wird man aus der auf

*) Die Werte ergeben sich auch aus physikalischen Tabellen, indem man den Prozentgehalt an magnetisierbaren Erzen: Magnetit, Pyrit, Hämatit usw. zugrunde legt.

Grund erdmagnetischer Messungen hergestellten Isanomalienkarte kaum herauslesen können. Da aber die Messungen sehr schnell ausgeführt werden können, so kann die magnetische Aufschlußmethode in solchen Fällen für genauere arbeitende Verfahren, wie z. B. die gravimetrische oder seismische, unter Umständen wertvolle Vorarbeiten leisten.

c) Messungen unter Tage. Im Erzbergbau können magnetische Messungen unter Tage im Schacht oder im Stollen praktisch von großer Bedeutung sein, um festzustellen, nach welcher Richtung hin ein Stollen fortgetrieben werden muß, um magnetisierbare Erze anzutreffen oder über Lagerung und Erstreckung von magnetisch störenden Erzmassen, welche sich in der Nähe eines Stollens oder Schachtes befinden, ein Urteil zu gewinnen. Da man bei den Messungen unter Tage der magnetisch störenden Masse sehr nahe kommt, ihre störende Wirkung also dementsprechend größer wird als bei Messungen über Tage, so erstreckt sich die Anwendungsmöglichkeit der magnetischen Aufschlußmethode bei Messungen unter Tage auch auf schwach magnetisierbare Erze (z. B. Spateisenstein u. dgl.), welche sich bei Messungen auf der Erdoberfläche nur unter besonders günstigen Umständen (verhältnismäßig große Massen im Vergleich zur Tiefe, sehr geringe Permeabilität des Nebengesteins) magnetisch störend bemerkbar machen. Rein meßtechnisch haben Untertagemessungen den Vorteil, daß die Temperatur, welche eine wesentliche Ursache der Messungenauigkeit bildet, unter Tage sehr konstant ist, wodurch die Messungen eine größere Sicherheit erhalten als die Messungen über Tage, bei denen Temperatureinflüsse stets die Messungsgenauigkeit mehr oder weniger ungünstig beeinflussen. Andererseits beeinträchtigen eine Reihe von Umständen sowohl die Genauigkeit der Messungen unter Tage, als auch die Sicherheit ihrer Deutung, d. h. der Rückschlüsse auf ihre Ursachen, erheblich; z. B. vermögen geringfügige magnetische Erzstücke, die während des Transports vom Abbau zur Halde vom Kipper gefallen sind, wegen ihrer geringeren Entfernung vom Apparat dieselben Wirkungen hervorzubringen, wie ein in einiger Tiefe unter dem Stollen befindliches Erzlager von entsprechender Größe. Ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn vom Bergmann kaum beachtete schwache Erze an den Streckenstößen oder in der Firste vorhanden sind. In diesen Fällen werden leicht seitliche oder über dem Stollen liegende magnetische Störungskörper vorgetäuscht; besonders, wenn nur eine Komponente der erdmagnetischen Kraft gemessen wird, sind die Rückschlüsse auf die Ursache der magnetischen Störung, d. i. also auf das magnetische Erzlager, mehrdeutig. Dagegen bei Messungen sämtlicher Komponenten der erdmagnetischen Kraft, und wenn die Messungspunkte sehr eng gewählt werden, lassen sich einmal die sich nur auf kleine Räume erstreckenden Unregelmäßigkeiten eliminieren, andererseits erhalten die Schlüsse in bezug auf die magnetisch störende Masse eine größere Sicherheit. Auf diese Weise läßt sich im Stollen und Schacht die Lage in der Nähe befindlicher magnetisierbarer Erze feststellen; magnetische Messungen im Erzlager selbst, um ein Urteil über die Erstreckung des Erzlagers zu gewinnen, bieten nur in wenigen Fällen Aussicht auf Erfolg; die Unsicherheit, welche in die Messungsergebnisse eingeht durch mehr oder weniger starke Konzentration des Erzes in der Nähe oder dadurch, daß sich der

Apparat mehr oder weniger dicht an der Stollenwand befindet u. dgl., ist so beträchtlich, daß derartige Schlüsse wohl nur selten möglich sind. In der praktischen Ausführung werden die Messungen unter Tage sehr dadurch behindert, daß in den seltensten Fällen die zu untersuchenden Stollen eisenfrei und hinreichend weit genug entfernt von größeren Eisenmassen (wie z. B. von dem Gestänge des Schachtes) sind. Eingehende, vom Verfasser unternommene Versuche, in einem nicht eisenfreien Stollen, der nur gleichmäßige Förderbahnschienen enthielt, brauchbare Messungsergebnisse zu erzielen, wenn die Stellung der Apparate relativ zu den Eisenschienen stets die gleiche ist, führten zu einem negativen Resultat: Es zeigte sich ein starkes, völlig unregelmäßiges Hin- und Herspringen der Messungswerte, welches darauf zurückzuführen ist, daß die Eisenschienen, welche im Laufe der Zeit infolge der induzierenden Wirkung des Erdmagnetismus magnetische Eigenschaften angenommen haben, Ursache der Unregelmäßigkeiten bilden, welche dann alle tektonischen Einflüsse überdecken. Deshalb ist es für die Durchführung einer einwandfreien magnetischen Untersuchung unter Tage unbedingt erforderlich, daß die obigen Voraussetzungen erfüllt sind. Praktische Erfolge versprechen die magnetischen Untertagemessungen besonders in alten verlassen Stollen, um die Frage zu untersuchen, ob in der Nähe dieser Stollen noch magnetisierbare Erzkorkommen sich befinden.

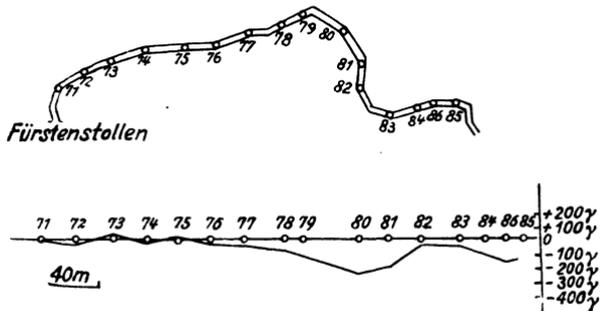


Fig. 3.

Beispiel einer Untertagemessung*). Die Messungen wurden in einem alten eisenfreien Stollen ausgeführt; das in Fig. 3 aufgezeichnete Profil stellt die Kurve der Vertikalintensität (in γ) längs des Stollens dar. Die letztere läßt zwei ausgeprägte Störungen deutlich erkennen: 1. zwischen den Punkten 78 und 81 einschließlich, und 2. von Punkt 84 bis über den Punkt 85 hinaus. Wie im einzelnen die genaue Lage der magnetisch störenden Masse (magnetithaltiger Serpentin) zum Stollen ist, läßt sich schwer daraus ersehen, zumal da die Messungen der Horizontalintensität keine wesentlichen Anhaltspunkte geben. Deklinationsmessungen sind leider nicht ausgeführt worden.

Literatur.

1) Naumann: Die Erscheinungen des Erdmagnetismus in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdkruste. Stuttgart 1887.

2) S. Günther: Handb. d. Geophys. S. 587.

3) v. Carlheim-Gyllensköld: A brief account of a magnetic survey of the iron ore-field of Kiirunavaara made in the years 1900 to 1910. Stockholm 1910. Vgl.

*) Aus einer von der früheren „Erda“ A.-G., Göttingen, im Auftrage der Arsenikwerke Reichenstein G. m. b. H. durchgeführten Untersuchung, Oktober 1924.

ebenfalls: *Mém. sur le magnétisme terrestre*. Svenska vetenscaps Acad. Handlingar N. F. 27, Nr. 7.

4) A. Nippoldt: Über das Wesen des Erdstroms. *Meteorol. Zeitschr.* 1911.

5) C Heiland: Das Erdgasvorkommen von Neuengamme im Lichte geologischer und geophysikalischer Forschung. *Diss. Hamburg* 1923.

6) Eschenhagen: *Magnetische Untersuchungen im Harz*. Stuttgart 1898.

7) Thalén: *Berg- und Hüttenm. Zeitschr.* 1875. — Sur la Recherche des Mines de Fer à l'aide de Mesures magnétiques, Upsala 1877. — Dahlbom: *Magnetische Erzlagerstätten*, übersetzt von P. Uhlich, Freiberg 1899.

8) Smyth: *U. S. Geolog. Survey. Monograph* 36, 1899.

9) P. Uhlich: *Aufsuchung magnetischer Erzlagerstätten*. *Jahrb. f. Berg. u. Hüttenw., Freiberg* i. S. 1902.

10) R. Griesser: *Berechnung der Störungen in der Deklination und Horizontalintensität durch Eisenerzlager, die als abgeplattete Rotationsellipsoide aufgefaßt werden können*. *Diss. Freiburg* i. Br. 1920.

11) Haalck und Brinckmeier: *Erdmagnetische Untersuchungen am Salzstock der Burbacher Absenzzone*. *Kali*, Heft 16, 1923.

12) F. Schuh: *Magnetische Messungen im südwestlichen Mecklenburg als Methode geologischer Forschung*. *Mitteil. d. Meckl. Geolog. Landesanstalt, Rostock* 1920.

13) E. Leyst: *Bericht im Physikal. Institut a. d. Universität Moskau*, 1918.

14) P. Lasareff: *Nachr. d. Physikal. Instituts d. Universität Moskau*, 1820.

15) H. Haalck: *Über eine Möglichkeit der Konstruktion empfindlicher Universalvariometer für erdmagnetische Messungen*. *Zeitschr. f. techn. Phys.*, Heft 7, 1925. Derselbe: *Der Erdinduktor als Lokalvariometer und seine praktische Verwendungsmöglichkeit*. *Ebenda*, Heft 8.

16) A. W. Rücker: *On the relation between the magnetic permeability of rocks and regional magnetic disturbances*, London, *Roy. Soc. Proc.* 1890. — Rücker und Thorpe: *Phil. Trans.* 188, London 1896. Eine weitere befindet sich in Vorbereitung von J. Königsberger, *Freiburg* i. Br.

17) S. Bubnoff: *Zeitschr. f. angew. Geophys.*, Heft 5 u. 8, 1924.

18) A. Wagner: *Ebenda*, Heft 8.

19) J. Königsberger: *Zeitschr. Kali*, Heft 5, 1924.

20) A. Nippoldt: *Magnetische Aufnahme des Südost-Harzes mittels Ad. Schmidts Feldwage*. *Veröff. d. Pr. Meteorol. Inst. Berlin*, 1920.

21) A. Nippoldt und K. Schering: *Erdmagnetische Landesaufnahme von Hessen*. *Darmstadt* 1923.

22) H. Moll: *Erdmagnetische Vermessung der Gegend von Rostock—Warnemünde*. *Steinbruch u. Sandgrube* 1922/23, Halle a. S.

23) Errulat: *Erdmagnetische Aufnahmen des westlichen Samlandes*. *Geolog. Archiv* 1923, Königsberg.

24) A. H. Cox: *A Report of Magn. Disturbances in Northamptonshire and Leicestershire and their Relations to the Geological Structure*. *Phil. Trans.* July 1919.

25) H. Reich: *Magnetische Messungen in Oberschlesien*. *Jahrb. d. Geolog. Landesanstalt, Berlin* 1923.

26) J. N. Gubkin: *Ekonomitscheskaja* 1925, Nr. 284 (2106).