

Veröffentlichungen des Königlich Preussischen Meteorologischen Instituts

Herausgegeben durch dessen Direktor

G. Hellmann

Nr. 258

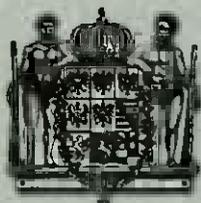
Abhandlungen Bd. IV. Nr. 9.

**Beobachtungen in den Schweizer Hochalpen
über die Änderung der erdmagnetischen Kraft
mit der Höhe**

Von

W. Brückmann

Mit einer Karte und einer Tafel



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1913

Preis 3.50 M



Fig. 1.
Variationshütte in Grindelwald, im Hintergrund
das Wetterhorn.



Fig. 2.
Gipfel des Wetterhorns (3703 m) mit dem
Beobachtungsplatz.



Fig. 3.
Gipfel des Blümlisalphorns (3674 m) vom
Beobachtungsplatz aus.



Fig. 4.
Gipfel des Wilerhorns (3311 m). Der Pfeil
bezeichnet den Beobachtungsplatz.

Veröffentlichungen des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts

Herausgegeben durch dessen Direktor

G. Hellmann

Nr. 258

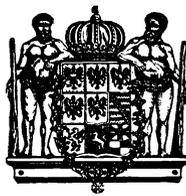
Abhandlungen Bd. IV. Nr. 9.

**Beobachtungen in den Schweizer Hochalpen
über die Änderung der erdmagnetischen Kraft
mit der Höhe**

Von

W. Brückmann

Mit einer Karte und einer Tafel



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1913

ISBN 978-3-662-24462-3
DOI 10.1007/978-3-662-26606-9

ISBN 978-3-662-26606-9 (eBook)

Einleitung.

Die Durchführung der erdmagnetischen Untersuchung, die ich im Sommer 1909 im Berner Oberland angestellt habe, und die im folgenden besprochen werden soll, ist mir durch wesentliche Unterstützung von verschiedenen Seiten erleichtert worden. Dies möchte ich hier vor Allem dankbar hervorheben.

Meine Verwandten, Frau Geheimrat Overbeck in Dortmund und Herr V. Overbeck in Wiesbaden, selbst große Freunde der Alpnatur, hatten einen namhaften Teil der besonders wegen des Transportes des Instrumentariums in den Hochalpen nicht unerheblichen Kosten getragen.

Der Direktor des Meteorologischen Instituts, Herr Geheimrat Hellmann, gab seine Zustimmung dazu, daß der größte Teil der instrumentellen Ausrüstung aus den Beständen des magnetischen Observatoriums bei Potsdam mitgenommen wurde, und bewilligte mir außerdem die für die Durchführung nötige Ausdehnung meinesurlaubes.

Herr Geheimrat Schmidt, der Vorsteher des genannten Observatoriums, hat mich bei jeder Gelegenheit mit seinem fachmännischen Rat unterstützt.

Vom Preußischen Geodätischen Institut erhielt ich ein Boxchronometer geliehen, von Herrn Mechaniker Schulze in Potsdam je eines seiner vorzüglichen Horizontal- und Vertikalvariometer.

Während der Vermessung selbst ist mir eine wesentliche Hilfe dadurch geworden, daß meine Frau das in Grindelwald zu dem besonderen Zwecke eingerichtete Variationsobservatorium in der sorgfältigsten Weise verwaltete.

Auch meine ständigen Begleiter in den Bergen, die Führer Ulrich Brawand und Peter Bernet und den Wirt und Träger Fritz Brawand, alle aus Grindelwald, möchte ich hier nennen, die ihrer nicht leichten Aufgabe, dem mühsamen Transport und mehrstündigen Aufenthalt auf den Hochgipfeln, in anerkennenswerter Weise gerecht wurden. Der zuletzt genannte hat sich auch bei der Ermittlung eines geeigneten Gebäudes für das Variationsobservatorium verdient gemacht.

Die Gauß'sche Berechnung des erdmagnetischen Potentials, bei der die vereinfachende Voraussetzung gemacht ist, daß ausschließlich Kräfte im Innern der Erde und nur solche mit Potential vorhanden seien, läßt für jeden Punkt, nicht nur der Erdoberfläche, sondern auch des Außenraumes, die Größe der magnetischen Kraft berechnen. Damit ist also auch der Betrag ihrer Abnahme mit zunehmender Erhebung über die Erde ohne Weiteres gegeben. Man be-

kommt auf diesem Wege für 1000 m Erhebung eine Abnahme der Horizontalintensität von $10-12 \gamma$ ($1 \gamma = 10^{-5}$ C. G. S.), der Vertikalintensität von etwas über 20γ für mittlere Breiten.

Anders dagegen, wenn die Gauß'schen Einschränkungen aufgegeben und bei der Berechnung außer innern Kräften mit Potential, auch die andern noch möglichen, nämlich äußere mit Potential und Kräfte ohne Potential, berücksichtigt werden.

Eine solche vollständige Potentialberechnung von Ad. Schmidt hat bekanntlich ergeben, daß die Ursachen von etwa $1/40$ der Gesamtkraft außerhalb der Erde zu suchen seien, und daß ein ähnlicher Betrag von potentiallosen Kräften herzurühren scheine. Dies Verhältnis der verschiedenen Kräfte wird zwar vermutlich bei einer Berechnung, die auf den allerneuesten Beobachtungen fußen wird, noch etwas anders ausfallen, denn die großen Vermessungen der Carnegie-Institution haben bereits von verschiedenen Teilen der Erde, besonders von den Ozeanen, wesentliche Abweichungen der magnetischen Werte von den bisher angenommenen gebracht. Das tatsächliche Vorhandensein von äußeren Kräften ist aber wohl zweifellos, eher erscheint die Existenz von potentiallosen, durch elektrische Vertikalströme hervergerufenen Kräften fraglich.

Unter diesen Umständen läßt sich nun die Änderung der Kraft mit zunehmender Höhe nicht mehr ohne Weiteres ableiten, da wir nicht wissen, in welchem Teil der Atmosphäre die elektrischen Ströme verlaufen, die wir als die Ursachen der äußeren Kräfte ansehen müssen, wie groß ihre Intensität ist, wie ausgedehnt die Strömungsschicht usw. Wir müssen uns erst durch Anstellung von Beobachtungen in verschiedenen Höhen über der Erde empirisches Material für die Untersuchung der Frage zu verschaffen suchen. Wenn die Strömungsschicht so nahe der Erde läge, daß wir über sie hinauf zu kommen vermöchten, so würde sich die Nähe und das Passieren der Schicht in den Messungsergebnissen andeuten, insbesondere würde nach dem Durchgang eine Änderung der Konstanten der Kugelfunktionsentwicklung angeben, daß die bisherigen äußeren Kräfte nunmehr zu inneren geworden seien.

Da sich im Ballon Beobachtungen von der Genauigkeit, wie die Aufgabe sie verlangt, bei der Schwierigkeit, eine genügend unveränderliche Stellung des Instrumentes zu erreichen, bisher nicht gewinnen lassen, so ist man für die Untersuchung auf das Gebirge angewiesen. Und zwar kommt nur das Hochgebirge in Frage, da wir jedenfalls erwarten müssen, daß die Änderung mit der Höhe verhältnismäßig gering sein wird, infolgedessen nur große Höhenunterschiede zwischen den Stationen für den Zweck dienlich sind.

Aber auch hier treten der Untersuchung beträchtliche Schwierigkeiten in den Weg durch Einflüsse, die neben dem der Höhe vorhanden sind, und die ihn unter Umständen zu überdecken vermögen.

Eine erste Schwierigkeit entsteht daraus, daß obere und untere Stationen nicht senkrecht über einander gelegen, sondern meist horizontal beträchtlich von einander entfernt sind. Infolge davon muß die Verteilung des Magnetismus nach geographischer Länge und Breite genau berücksichtigt werden können, diese Verteilung wird aber durch den Einfluß tektonischer Erscheinungen, Verwerfungen, Unregelmäßigkeiten in der Massenverteilung, gestört. Der Untergrund vermag auch dadurch die Untersuchung zu beeinflussen, daß der einzelne Berg, mindestens bei bestimmten Gesteinsarten, in sich magnetisiert erscheinen kann.

Dazu kommen Schwierigkeiten instrumenteller Natur. Da die Temperatur, unter der die magnetischen Beobachtungen ausgeführt werden, bei der sehr verschiedenen Höhenlage der Stationen sehr verschieden ist, ist auch ihr Einfluß auf die Ergebnisse bedeutend. Die scharfe Bestimmung der Temperatur der Magnete, die deswegen für die Reduktion der Messungen nötig ist, wird aber durch die starke direkte und indirekte Strahlung in der Höhe erschwert, infolge deren das in den Röhrenmagneten eingeschobene Thermometer eine andere Temperatur anzeigen kann, als der Magnet besitzt.

Eine weitere Gefahr liegt in der leichten Veränderlichkeit des magnetischen Momentes der Magnete durch Erschütterungen, denen sie beim Transport im Hochgebirge naturgemäß in besonderem Maße ausgesetzt sind.

Auch die Variationen der magnetischen Elemente vermögen Unterschiede zwischen den Stationen zu verdecken. Der normale tägliche Gang beträgt in unseren Breiten im Sommer in der Deklination über 10', in der Horizontalintensität über 40%, in der Vertikalintensität über 20%. Es folgt daraus für die Untersuchung die Notwendigkeit der Nähe magnetischer Registrierinstrumente, durch die die genaue Ermittlung der Variationen zur Zeit der Messungen ermöglicht wird.

Schließlich erscheint es — auch abgesehen von den instrumentellen Momenten — nicht ohne Weiteres außer Zweifel, ob die gleiche Genauigkeit der Messungen, wie wir sie im Flachlande bei Feldbeobachtungen haben, im Hochgebirge erreichbar ist. Der Anstieg zu den hohen Gipfeln ist im Allgemeinen sehr lang, zur Durchführung einer vollständigen Messung ist ein Aufenthalt von mehreren Stunden auf dem Gipfel nötig und daran schließt sich wieder ein langer Abstieg. Abgesehen von der objektiven Schwierigkeit, die dabei aus der großen Abhängigkeit von Witterung und Schneeverhältnissen in der Hochgebirgsregion entspringt, ist auch mit der Möglichkeit zu rechnen, daß nach dem in den meisten Fällen mühsamen Anstieg die mehrstündige, sehr subtile Messungstätigkeit nicht mit der gleichen Sicherheit durchführbar sein werde, wie unter den einfachen Verhältnissen im Flachlande.

Aus alledem geht hervor, daß für die Untersuchung des Höheneinflusses durch Messungen im Hochgebirge jedenfalls nur eine systematisch angelegte Spezialvermessung von Erfolg sein kann, und man versteht, daß bisherige vereinzelt oder mehr gelegentlich im Gebirge ange stellte Beobachtungen — auch wenn wir die älteren Versuche außer Betracht lassen, bei denen vollkommenere Instrumente noch nicht zur Verfügung standen¹⁾ — zu so verschiedenen und selbst widersprechenden Ergebnissen geführt haben.

Eine solche systematische Untersuchung würde also zur Vermeidung aller Fehlerquellen erfordern: große Höhenunterschiede zwischen den Stationen bei möglichst geringem horizontalen Abstand, ein engmaschiges Stationsnetz, damit die Verteilung des Magnetismus im Gebiet sich möglichst sicher feststellen ließe, Messungen sowohl im sedimentären, als auch im Urgestein mit Rücksicht auf den Einfluß der geologischen Verhältnisse. Ferner: sehr sorgfältigen Transport der Magnete, um sprungweise Änderungen ihres Moments zu verhüten und häufige Kontrollmessungen an einer Basisstation zur Festlegung des Ganges des Moments, sehr exakte Ausführung der Beobachtungen, Schutz der Magnete vor Strahlungseinwirkungen, desgleichen auch

¹⁾ wie die von Bache, Bravais, Broeck, Forbes, Humboldt, Kupffer, Quetelet u. A.

des Stativs, damit stärkere Drehungen des Instrumentes vermieden werden, und schließlich die Nähe eines Variations-Observatoriums. Ein Versuch, wie weit dies alles zu erreichen sei und ob demgemäß Resultate von Bedeutung zu erwarten seien, würde zweckmäßig den ersten Schritt einer solchen Untersuchung zu bilden haben.

Die Ergebnisse der in neuerer Zeit vorgenommenen Messungen an Bergen seien hier kurz zusammengestellt.

Sella hat aus Schwingungsbeobachtungen auf der Punta Gnifetti in der Monte Rosa-Gruppe und in Biella am Nordrand der lombardischen Ebene bei etwa 4000 m Höhenunterschied eine Abnahme der Horizontalintensität von etwa 22γ auf 1000 m errechnet, sein Landsmann Pochettino aus Beobachtungen der gleichen Art am Gran Sasso d'Italia bei einem Höhenunterschied von 2100 m gar 50γ auf 1000 m, und bei einem Stationspaar in der Rocciamelone-Gruppe (westlich von Turin) bei 2500 m Höhenunterschied 40γ . Die beiden letzteren Werte erregen durch ihre außerordentlich hohen Beträge Zweifel; da sie beide von Stationen im Sediment herrühren, kann ein Einfluß des Gesteins wohl nicht vorliegen, vielleicht ist die Schuld in der für Feldmessungen wenig günstigen Methode der Schwingungsbeobachtungen zu suchen. Bei Sella lag die Basisstation über 40 km Luftlinie südlich von der Gipfelstation. Er mußte also bei der Berechnung bestimmte Annahmen über die Änderung der Horizontalintensität mit der geographischen Breite machen, was, wie er selbst hervorhebt, gerade in den Alpen sehr unsicher ist. Im Besonderen lag auch seine Basisstation Biella im Bereiche der geologisch und nach italienischen Beobachtungen auch magnetisch gestörten Zone von Ivrea. Messerschmitt glaubte aus einigen, übrigens kaum bedeutungsvoll erscheinenden Messungen der Inklination in der Schweiz — er hatte bei nur geringen Höhenunterschieden eine Genauigkeit von nur $1/4^\circ$! — auf eine Zunahme der magnetischen Kraft mit der Höhe schließen zu dürfen. Desgleichen Meyer im Riesengebirge. Die sehr sorgfältige Untersuchung von van Rijkevorsel und van Bemmelen am Rigi hat kein ausgesprochenes Resultat gebracht. Die Höhendifferenz ist aber am Rigi in maximo nur rund 1300 m, und die Variationen mußten die beiden Forscher den Aufzeichnungen der viel zu weit entfernten Observatorien Paris, Perpignan, Pola und Potsdam entnehmen. Unter diesen Umständen konnte in der Tat nicht mehr erreicht werden, als die Forscher erreicht haben. Liznar hat die Stationen seiner magnetischen Vermessung Österreich-Ungarns nach ihrer Seehöhe in drei Gruppen eingeteilt (0—200 m, 200—400 m, 400—1300 m), so daß jede Gruppe räumlich sehr weit auseinanderliegende und, besonders in der dritten Gruppe, auch recht verschieden hoch gelegene Orte umfaßt. Aus den magnetischen Werten der Stationen wurden dann Gruppenmittel gebildet und mit diesen der Höhengeneinfluß berechnet. Es kam mit dieser, bei den gegebenen Verhältnissen kaum unbedenklichen Methode, in H eine Abnahme von 29γ , in Z sogar von 64γ heraus. Senouque fand am Mont Blanc ein ΔH von -21γ , ein ΔZ von -27γ auf 1000 m Höhenzunahme.

Plan und Ausführung der Messungen im Sommer 1909.

Nachdem ich den Entschluß, einen Messungsversuch der angegebenen Art vorzunehmen, hatte fassen können, schien mir dafür allen Anforderungen am besten das Berner Oberland zu entsprechen, also das Gebiet zwischen Briener- und Thunersee im Norden, oberem Rhonetal im

Süden, Kandertal im Westen und oberem Aaretal im Osten. Hier treten von Norden her tief eingeschnittene Täler bis dicht an den gewaltigen Nordabsturz heran, mit dem die hochalpine Region unvermittelt zum Vorland abfällt. Aus dem etwa 1000 m hohen Talkessel von Grindelwald steigen die steilen Wände des Wetterhorns bis 3703 m empor, aus dem Lauterbrunnental (800 m) die der Jungfrau bis 4167 m, des Mönch bis 4104 m usw. Von diesem von hohen Gipfeln gekrönten Nordrand zieht sich dann die vergletscherte Hochregion, aus der die Berge der Schreckhorn-, Finsteraarhorn-, Aletschhorngruppe usw. emporragen, nach Süden hin, bis sie rasch und ebenfalls ohne vermittelnde Vorberge in das tief eingeschnittene obere Rhonetal abfällt, und so auch nach dieser Seite einen scharfen Abschluß erhält. Im Westen tritt das Gebiet in der Blümlisalpgruppe (3674 m) bis dicht an das Kandertal heran, es sind dadurch an dieser Stelle ebenfalls große Höhenunterschiede auf kurze horizontale Entfernung vorhanden. Ähnlich sind die Verhältnisse auch im Osten am oberen Aaretal. Wir haben also hier ein bis zu sehr großen Höhen ansteigendes nicht zu ausgedehntes Gebiet, umgeben von tief eingeschnittenen Tälern, und damit, der Forderung entsprechend, große Höhenunterschiede auf kurze horizontale Entfernung, und außerdem die Möglichkeit, aus den Messungen in den Tälern auf die Änderung des Erdmagnetismus nach geographischer Länge und Breite in der dazwischen liegenden Hochregion zu schließen. Dazu kommt der weitere Vorteil, daß in ost-westlicher Richtung durch das Berner Oberland eine Gesteinsgrenze läuft, derart, daß am Nordrand die Täler und ein Teil der Gipfel im Sediment (Kalk), im südlichen Teil fast ausschließlich im Urgestein liegen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, die Untersuchung in verschiedenem Gestein vorzunehmen.

Diesen Vorzügen steht allerdings der Nachteil gegenüber, daß das Berner Oberland das niederschlagreichste Gebiet der Alpen ist, ein Umstand, der wie schon angedeutet, bei den langen, meist auf zwei Tage sich verteilenden Anstiegen und dem notwendigen mehrstündigen Aufenthalt auf den Hochgipfeln, die Ausführbarkeit sehr zu beeinträchtigen im Stande ist. Die Bedenken in dieser Richtung habe ich aber schließlich wegen der Vorzüge, die das Gebiet sonst für die Untersuchung hatte, zurücktreten lassen.

Die Beobachtungspunkte beabsichtigte ich, um ein genügend engmaschiges Netz zu bekommen, nach Möglichkeit zu häufen, im Besonderen mußte ihre Zahl von der Witterung, von der verfügbaren Zeit, von den Erfahrungen, die erst zu gewinnen waren, abhängig gemacht werden.

Die Beobachtungen kamen im August und Anfang September 1909 zur Ausführung. Das ungewöhnlich ungünstige Wetter hat das Unternehmen beträchtlich erschwert. Rasche, unerwartete Witterungswechsel waren sehr häufig, und die Ausführung von Turen ist durch Schlechtwetterperioden öfter mehrere Tage unmöglich gemacht worden; auch sind drei der höchsten Gipfel mit allem Gepäck umsonst erstiegen worden.

Auf dem Wetterhorn mußte die Messung gleich nach dem Beginn wegen eines heranziehenden Gewitters abgebrochen werden, so daß später eine zweite Besteigung — die dann auch von Erfolg war — ausgeführt werden mußte. Zweimal innerhalb von 14 Tagen waren wir in der Konkordiahütte am Aletschgletscher durch förmlich winterliche Schneestürme, die einen ganzen Tag anhielten, festgehalten, der darauffolgende Tag, beide Male von vollkommener Klarheit, ging für Gipfelturen wegen der großen Mengen von Neuschnee verloren. Auf dem Mönch

mußte der Versuch, zu messen, aufgegeben werden, weil der heftige Wind (bei -7°C) den Pinnenmagnet in beständige Schwingungen versetzte, und auf dem Gipfel des Finsteraarhorns (4275 m), dem höchsten Punkte des Berner Oberlandes, kam es wegen des Sturmes und der Kälte überhaupt nicht zur Aufstellung des Instrumentes. Auch im westlichen Teil des Gebietes, in Kandersteg und auf dem Blümlisalphorn, gelangen die Beobachtungen erst, nachdem wir bei einem ersten Versuch umsonst zwei Tage in Kandersteg auf das Ende des Regenwetters gewartet hatten.

An den folgenden Punkten sind nun die Messungen zur Ausführung gekommen. Den Namen der Stationen sind noch Angaben über Meereshöhe, Gesteinsart des Untergrundes, nähere Bezeichnung des Beobachtungsortes hinzugefügt.

Grindelwald, 1100 m, Jura, Beobachtungsort vgl. S. 16.

Schwarzhorn, 2930 m, Jura, äußerster östlicher Punkt des Gipfels.

Wetterhorn, 3700 m, Jura, wenige Schritte südwestlich unter dem Gipfel auf einer schneefreien Stelle (vgl. Tafel, Fig. 2).

Konkordiaplatz, ca. 2820 m, Gneiß, südwestlich der neuen Klubbütte auf einem Felskopf etwa in halber Höhe zwischen Aletschgletscher und Hütte.

Fiesch, 1080 m, kristallinische Schiefer, etwa 100 m nordöstlich der ersten großen Straßenkehre oberhalb des Dorfes, an dem Fußweg, der ins Fieschertal führt.

Kandersteg, 1190 m, Alluvium (Tertiär und Kreide), am orographisch linken Ufer des Oeschinenbaches, kurz unterhalb der Einmündung des westlichsten der vom Doldenhorn kommenden Bäche.

Blümlisalphorn, 3674 m, Kreide, südlich vom Gipfel auf einem Felsvorsprung (vgl. Tafel, Fig. 3. Die Aufnahme zeigt den Gipfel vom Beobachtungsort aus).

Wilerhorn, 3311 m, Strahlsteinschiefer, 4 m nordöstlich vom Steinsignal (vgl. Tafel, Fig. 4).

Raron, ca. 700 m, Kalk, südlich der Kirche in halber Höhe des Kirchhügels.

Der Abstand der Stationen beträgt in Luftlinie rund: Grindelwald-Schwarzhorn 7,5 km, Grindelwald-Wetterhorn 6 km, Schwarzhorn-Wetterhorn 6 km, Grindelwald-Konkordiaplatz 14 km, Konkordiaplatz-Fiesch 12 km; Kandersteg-Blümlisalphorn 7 km, Blümlisalphorn-Wilerhorn 12,5 km, Wilerhorn-Raron 7,5 km. Die westliche Gruppe von Stationen ist von der östlichen in Luftlinie 24—30 km entfernt. Vgl. auch die Karte am Schluß der Abhandlung.

An jedem Beobachtungsort wurden gemessen: die Deklination, die Horizontalintensität durch Ablenkungsbeobachtungen mit zwei Ablenkungsmagneten, die Vertikalintensität mittelst weicher Eisenstäbe. Um die Variationen genügend sicher anbringen zu können, hatte ich mir für die Dauer der Vermessung in Grindelwald ein einfaches Variationsobservatorium eingerichtet. Grindelwald war auch insofern Basisstation, als hier öfter zwischen den Beobachtungen an den andern Punkten die Messungen zur Kontrolle des Ganges der Magnetmomente eingeschoben wurden. Hierbei sind neben den Ablenkungen auch Schwingungsdauern beobachtet worden, was an den andern Stationen wegen der geringeren Genauigkeit dieser Bestimmung im Felde als unzweckmäßig unterblieb.

Auf allen Turen mußte ich zum Transport des Gepäckes drei Begleiter mitnehmen. Einer von ihnen trug den Theodoliten, der zweite die leichtere, aber unbequeme Last des Stativs und Beobachtungsschirms, der dritte war nötig für den Transport des Proviant und des Gletscherseiles. Ich selbst trug stets im Rucksack den Kasten mit den Magneten, dem empfindlichsten Teil des Instrumentariums, den ich zur Dämpfung der Erschütterungen mit einem Heukissen umgeben hatte, und außerdem natürlich durch möglichste Behutsamkeit der Bewegungen vor Stößen zu bewahren suchte. Bei Bahnfahrten habe ich den Magnetkasten stets in der Hand gehalten.

Instrumente. Zur Ausführung der Feldmessungen wurde der vorzügliche magnetische Reisetheodolit Hechelmann 2003 des Magnetischen Observatoriums bei Potsdam benutzt, der außer Bayern und Württemberg ganz Deutschland vermessen hat.

Das Instrument ist in A. Nippoldts „Magnetischen Karten von Südwestdeutschland für 1909“ (Abh. des Pr. Meteor. Inst. Bd. III, Nr. 7) besprochen, auch in O. Göllnitzs „Magnetischer Vermessung des Gebietes des Königreichs Sachsen“ (Jahrb. f. d. Berg- und Hüttenwesen im Kgr. Sachsen, 1909), so daß eine ausführliche Beschreibung hier unterbleiben kann.

Das Instrument war damals — seither ist verschiedenes daran geändert worden — für Finnenbeobachtung eingerichtet, besaß für die Messungen der Horizontalintensität anschaubare Ablenkungsschienen und einen einfachen Schwingungskasten, für die Deklinationsbestimmung einen wegen der Kollimation in zwei Lagen benutzbaren Magneten (der zugleich auch als abgelenkter Magnet für die H-Messungen diente), ferner ein Nadelinklinatorium, das aber noch kurz vor meiner Ausreise durch eine Vorrichtung zur Bestimmung der Vertikalintensität mittelst zweier vertikaler Eisenstäbe ersetzt worden war. Auch ein astronomischer Aufsatz gehört zu dem Instrument, er ist aber bei dieser Vermessung nur einmal, an der Basisstation Grindelwald, verwendet worden.

Der Teilkreis des Theodoliten, dessen Bezifferung von N über E, also im Sinne der Uhrzeigerbewegung läuft, ist von 20 zu 20' geteilt, die beiden Mikroskope lassen 2' direkt ablesen und 0.2' schätzen.

Das Fernrohr ist mit Gaußschem Okular versehen, bei dem an Stelle des ursprünglich vorhandenen Fadenkreuzes eine kleine Skala gesetzt worden ist. Diese Abänderung bedeutet eine wesentliche Verbesserung. Früher mußte der direkt gesehene vertikale Faden mit seinem Spiegelbild, durch Nachdrehen des Theodoliten mit der Feinschraube, zur Deckung gebracht werden, und dies war bei kleinen Schwingungen des Magnets, die gerade auch durch dieses Nachdrehen leicht erzeugt wurden, sehr zeitraubend, zumal da ja zur Vermeidung des toten Ganges der Schraube die Deckung der Fäden stets nur durch gleichsinniges Drehen erreicht werden durfte. Jetzt genügt es, die Stellung des direkt gesehenen Nullstriches an der gespiegelten Skala abzulesen, auch können bei leichten Schwingungen einfach Umkehrpunkte beobachtet werden. Natürlich muß dabei der Wert eines Teilstriches der Skala bekannt sein. Er beträgt 2', wie bei den beiden Mikroskopen, so daß ebenfalls 0.2 geschätzt werden können.

Die Pinnen bestehen aus leicht auswechselbaren, gut gehärteten Nähnadelspitzen. Diese Pinnenart ist zweifellos weit zweckmäßiger, als die früheren, dickeren Formen, die eingeschraubt wurden. Denn für die ungehinderte Beweglichkeit des Magnets ist erforderlich, daß sein

Achathütchen auf einer möglichst feinen Spitze aufricht. Schon bei ganz geringer Abstumpfung wird die Bewegung durch Reibung gehindert, weil der Magnet dann auf einer Fläche ruht. Beim Abheben und Wiederaufsetzen kommt dann das Achathütchen leicht in einer andern Lage auf diese Fläche, als beim ersten Mal, was eine andere Einstellung zur Folge hat. Wenn größere Verschiedenheiten in den Ablesungen vorkommen, läßt sich fast stets mit Hilfe der Lupe feststellen, daß die oberste Spitze der Pinne leicht abgestumpft ist. Infolgedessen habe ich grundsätzlich an jeder Station vor Beginn der Messung eine neue Pinne, deren Spitze ich vorher noch mit der Lupe untersucht hatte, in den Apparat eingesetzt.

Wenn auch der Beobachter am Pinneninstrument bald Übung im Behandeln dieser nicht launenfreien Einrichtung erhält, so ist doch zweifellos zu empfehlen, auch für die Feldinstrumente die Fadenaufhängung anzuwenden. Sie hat, abgesehen von der Möglichkeit des Fadenreißen, denn aber auch schon durch einfache Auswechsellvorrichtungen begegnet wird, nur Vorzüge, vor Allem den der weit sichereren Einstellung und damit der größeren Genauigkeit der Beobachtung. Damit hängt ein beträchtlicher Zeitgewinn zusammen — was gerade für Messungen im Hochgebirge sehr wichtig ist —, denn es ist nicht mehr, wie bei den Pinnen, eine Häufung der Einstellungen für eine und dieselbe Lage mit dem zeitraubenden Abheben und Wiederaufsetzen des Magnets nötig, sondern es genügen einige wenige rasch hintereinander erfolgende Ablesungen an der Fernrohrskala. Hechelmann 2003 ist neuerdings auch mit Fadeneinrichtung versehen worden.

Das Gehäuse für den Pinnenmagnet, das übrigens eine einfache, von außen zu betätigende Vorrichtung zum Abheben des Magnets von der Nadelspitze besitzt, kann von dem Theodoliten abgenommen und durch einen kleinen Schwingungskasten mit Fadenaufhängung ersetzt werden, der etwas primitiv ist. Er ist vor allem zu hoch gebaut und daher wenig stabil. Das kleine dazu gehörige Fernrohr kann nur roh von Hand verstellt werden, und hierbei, wie bei den übrigen Hantierungen, Drehen des Torsionskreises, Heben oder Senken der Skala usw. pflegt der Magnet in starke horizontale und vertikale Schwingungen zu geraten, bei deren Dämpfung man Mühe hat, nicht wieder neue zu erregen. Der Wert eines Teilstriches der Skala im Schwingungskasten ist 1.1⁰.

Magnete. Von den zu dem Theodoliten gehörigen Magneten sei zunächst der schon erwähnte Pinnenmagnet angeführt, der als Deklinationsmagnet und als abgelenkter Magnet bei den Ablenkungsbeobachtungen dient. Er ist, um Gewicht und magnetisches Moment in günstiges Verhältnis zu bringen, aus vier von einander getrennten Lamellen gebildet. Nord- und Südende tragen einen Glasspiegel, das Achathütchen ist beweglich und doppelseitig, so daß der Magnet, zur Beseitigung des Kollimationsfehlers, in zwei verschiedenen Lagen auf die Pinne aufgesetzt werden kann.

Für die Ablenkungs- und Schwingungsbeobachtungen bei Bestimmung der Horizontalintensität sind 4 Röhrenmagnete vorhanden, zwei Hechelmannsche (H_I , H_{II}) und zwei, die von dem früheren Theodoliten Edelman des Potsdamer Observatoriums herkommen (E_I , E_{II}). Alle vier haben im Innern Glasspiegel, die aber bei E_I und E_{II} im Laufe der Zeit blind geworden sind, so daß mit diesen Magneten keine Schwingungsbeobachtungen mehr angestellt

werden können. Bei H_I und H_{II} kann dies übrigens auch nur in einer Lage geschehen, da sie nur je einen Aufhängestift besitzen.

Diese 4 Röhrenmagnete sind, als der empfindlichste und wichtigste Teil der ganzen instrumentalen Ausrüstung nicht im Theodolitenkasten, sondern in einem besonderen Holzkasten aufbewahrt. Sie liegen in tuchgefütterten Holzlagern, die zum Schutz gegen andere magnetische oder elektrische Einflüsse in Hülsen von weichem Eisen eingeschoben sind. Diese Hülsen werden in dem Kasten parallel nebeneinander so angeordnet, daß die Pole der Magnete abwechselnd gerichtet sind. Doppelwände aus Holz, in denen zur weiteren Sicherheit noch je eine dünne Weicheisenplatte steckt, trennen sie von einander. Den Magnetkasten umgibt zum Schutz gegen die Witterung noch ein festes Lederfutteral.

Da diese Magnete besonders vor unkontrollierbaren sprungweisen Änderungen ihres magnetischen Momentes zu hüten sind, die, außer durch andere Magnete oder durch elektrische Ströme, insbesondere durch starke Erschütterungen eintreten können, habe ich, wie schon erwähnt, den Magnetkasten stets selbst getragen, auf den Türen in einem kissenartigen Heupolster im Rucksack, sonst in der Hand. Die Magnete haben auch, wie sich später aus den Ergebnissen zeigen wird, den Transport im Hochgebirge sehr gut überstanden.

Zur Bestimmung der Vertikalintensität ist noch kurz vor der Reise eine Vorrichtung mit Eisenstäben hergestellt worden, da die Nadelinklinatorien, die bisher im Felde vorzugsweise benutzt wurden, zu wenig zuverlässig sind. Die genannte Einrichtung besteht aus zwei röhrenförmigen Stäben aus weichem Eisen von je 15 cm Länge, 1.5 cm äußerem und 0.7 cm innerem Durchmesser. Am einen Ende trägt jeder eine Fassung, mit der er an die auf der Alhidade des Theodoliten sitzenden Träger für Ablenkungsschienen angeschraubt wird. Stellt man diese Stäbe vertikal, das freie Ende des einen nach oben, des andern nach unten gerichtet, so entsteht durch Induktion von der Vertikalkomponente des Erdmagnetismus an den unteren Enden ein Südpol, an den oberen ein Nordpol. Der Pinnenmagnet in der Mitte zwischen den festen Stabenden wird dadurch aus dem Meridian abgelenkt, der Ablenkungswinkel ist der herrschenden Vertikalintensität direkt, der Horizontalintensität umgekehrt proportional. Voraussetzung ist dabei, daß die Stäbe wirklich lotrecht gerichtet sind. Eine Abweichung der Stabrichtung von der Senkrechten um den Winkel ζ in der vom magnetischen Meridian um den Winkel φ abweichenden Ebene bewirkt, daß statt der Vertikalintensität Z die Komponente

$$T (\sin i \cos \zeta + \cos i \sin \zeta \cos \varphi) = Z \cos \zeta + H \sin \zeta \cos \varphi$$

induzierend wirkt. Beim Einsetzen der Zahlenwerte (wobei $\varphi = 13^\circ$) findet man, daß einer Abweichung ζ der Stäbe von der vertikalen Stellung um 1' schon eine Änderung von Z von 67 entspricht. Es ist also sehr genaue Senkrechtstellung der Stäbe erforderlich. Da die Vorrichtung, wie schon erwähnt, erst kurz vor der Ausreise fertig geworden war, hatte sie in dieser Beziehung nicht genügend ausprobiert werden können. Die Senkrechtstellung mußte mit Hilfe eines Lotes geprüft werden, was sich als für die Beobachtungen im Freien wenig geeignete, nicht ausreichende Methode erwiesen hat.

Eine zweckmäßigere Vorrichtung hat dann Herr Geheimrat Schmidt in Potsdam für ein anderes Feldinstrument herstellen lassen (s. Göllnitz, a. a. O.). Die Stäbe sind hier in

fester Verbindung mit einem massiven, auf die Alhidade des Theodoliten sicher aufsetzbaren Ring. Dieser Aufsatz kann in verschiedenen Lagen auf den Theodoliten gebracht werden, so daß Messungen in allen Stellungskombinationen der Stäbe möglich sind. Auf diese Weise eliminiert man alle Fehler, die von der Abweichung der Stabrichtung von der Vertikalen, von etwaigem permanenten Magnetismus der Stäbe usw. herrühren.

Bei den Deklinationsmessungen zeigte sich, daß das Theodolitenfernrohr nicht stark genug war, um die im Hochgebirge sehr weit auseinanderliegenden trigonometrischen Signale damit anvisieren zu können. Für die Vermessung im Flachland reichen die kleinen Fernrohre vollkommen aus, da hier meist über den Beobachtungspunkten der trigonometrischen Netze höherer Ordnung gemessen wird, deren Miren genügend nahe gelegen sind, im Hochgebirge ist das trigonometrische Netz naturgemäß sehr weitmaschig. Auf astronomische Beobachtungen wurde — abgesehen davon, daß sie des Wetters wegen nur in wenigen Fällen möglich gewesen wären — verzichtet, um nicht den Aufenthalt auf den Gipfeln noch länger auszudehnen. Ich habe mich darauf beschränkt, charakteristische Punkte der Umgebung, Bergspitzen oder Felszacken und dgl., die bei anderer Gelegenheit leicht wieder aufgefunden werden könnten, anzuvisieren. Für die Deklinationsbestimmung im Hochgebirge sind also viel kräftigere Fernrohre nötig. Sofern man drei entfernte Signale anzuvisieren vermag, ist ja nach der Methode von Snellius-Pothenot die Bestimmung der astronomischen Nordrichtung ermöglicht, auch wenn die Beobachtung nicht an einem trigonometrischen Punkt erfolgt. Astronomische Beobachtungen werden besonders in den Tälern trotzdem angestellt werden müssen, das erforderliche Mehr an Zeit läßt sich durch den oben erwähnten Ersatz der Pinnen- durch die Fadeneinrichtung und der beweglichen durch feste vertikale Eisenstäbe reichlich gewinnen. Aber man darf, besonders auf den Gipfeln, nicht ausschließlich auf diese Art der Bestimmung angewiesen sein, weil man sonst öfter gezwungen wäre, des Wetters wegen lange Besteigungen zu wiederholen.

Zum Theodoliten gehört ein kräftiges Holzstativ, ferner ein Beobachtungsschirm, dessen Stock beim Transport in zwei Teile aus einander genommen wird, und der durch mehrere kräftige Schnüre mit Messingbolzen, die im Erdboden oder im Gestein befestigt werden, gegen den Wind gesichert wird. Um auch die Beine des Stativs stets vor Bestrahlung, die ein Verziehen des Holzes und so ein Drehen des Instrumentes zur Folge haben kann, zu schützen, lassen sich seitlich Leinwandbahnen, die bis zum Boden reichen und ebenfalls durch Schnüre festgemacht werden können, am Schirmdach anhaken (Vgl. Tafel, Fig. 2). Auf die richtige Stellung des Schirmes und sein rechtzeitiges Nachdrehen ist stets besonders geachtet worden, und es ist auch gelungen, Drehungen des Stativs um schädliche Beträge zu vermeiden. Trotzdem ist vielleicht für Messungen im Hochgebirge ein metallenes, natürlich eisenfreies Gestell, weil es starrer, und deshalb der Gefahr des Drehens noch weniger ausgesetzt ist, vorzuziehen.

Variationsinstrumente und -observatorium. Als Variationsinstrumente dienen ein Deklinometer nach Eschenhagen, älteren Modells, ein Horizontalvariometer Eschenhagen-Schulze, neuerer Bauart, eine Schulzesche Wage und dazu ein transportabler Registrierapparat für photographische Aufzeichnung mit Trommel von 24^h Umlaufzeit. Die Instrumente sind ebenfalls schon mehrfach besprochen worden, so daß hier auf Einzelheiten

nicht eingegangen zu werden braucht (s. z. B. Nippoldt, Magnetische Beobachtungen während der totalen Sonnenfinsternis vom 30. August 1905. Abh. des Preuss. Meteor. Inst., Bd II, Nr. 6).

Die neueren Fadenvariometer sind gegenüber den älteren ganz wesentlich verbessert. Die letzteren tragen am Faden ein leichtes Gehänge mit zwei Spiegeln über einander, die die Bewegungen der Magnetnadel in zwei etwa um Registrierblatbreite auseinander liegenden Kurven aufzeichnen sollen, damit auch bei stärkeren Störungen die Registrierung nicht verloren geht. Fallen nun die Lichtpunkte beider Spiegel nicht von Anfang an in gewünschtem Abstand oder in gleicher Höhe auf die Cylinderlinse des Registrierapparates, so muß das Gehänge von Hand gebogen werden, bis der gewünschte Effekt erreicht ist. Die sehr geringen Änderungen, die dabei in Frage stehen, sind auf diese rohe Weise naturgemäß mit irgendwelcher Sicherheit garnicht zu bewerkstelligen, man ist vielmehr gänzlich auf den glücklichen Zufall angewiesen. Diesem Mißstand ist bei den neuen Variometern abgeholfen. Hier sind seitlich von dem, nicht mehr senkrecht, sondern parallel zur Magnetaxe gerichteten Spiegel, und in gleicher Höhe mit ihm, im Instrumentengehäuse¹ zwei kleine Glasprismen über einander angebracht, durch die das vom Spiegel zurückgeworfene Licht nach der Registrierwalze hingebrochen wird. Diese Prismen lassen sich nun von außen durch kleine Schrauben drehen, heben und senken, und auf diese Weise werden die Lichtpunkte leicht an die Stelle der Walze gebracht, an der man sie haben will, ohne daß am Spiegelgehänge selbst etwas geändert wird.

Der Einfluß der Temperatur soll beim H-Variometer — wie auch bei der Wage — magnetisch kompensiert werden. Die Vorrichtungen sind bei den neuen Variometern im Wesentlichen noch dieselben einfachen, wie bei den ersten Instrumenten Eschenhagens und Edlers. Davon sind natürlich auszunehmen die sehr vervollkommenen Instrumente des Observatoriums zu Seddin (s. A. d. Schmidt, Erg. der magnet. Beob. in Potsdam und Seddin im Jahre 1908). Beim Horizontalvariometer dienen als Kompensationsmagnete eine Anzahl magnetisierter Stricknadelstücke, die auf dreh- und verstellbaren Platten unter dem Variometergehäuse und an der Suspensionsröhre festgelegt werden können.

Die Intensität dieses Hilfsfeldes soll nun, durch Variation der Anzahl der Stricknadelmagnete oder ihrer Entfernung und Richtung, so gewählt werden, daß die Änderung ihrer Wirkung auf den Variometermagneten infolge Temperaturänderung gleich ist der des Erdfeldes aus derselben Ursache. Der Temperatureinfluß ist dann aufgehoben. Die richtige Stellung der Kompensationsmagnete wird in einem ständigen Observatorium durch Registrierung unter wechselnder Temperatur, und Vergleich der Aufzeichnungen mit den gleichzeitigen eines von Temperaturschwankungen freien Systems gewonnen, im Feldobservatorium fehlt im Allgemeinen naturgemäß die Möglichkeit einer solchen Untersuchung.

Der Temperatureinfluß ändert sich aber mit der Intensität des umgebenden Erdfeldes, die bei der Untersuchung gefundene Kompensierungsstellung der Hilfsmagnete gilt also für den neuen Ort der Variometer nicht mehr. Das Gleichgewicht der auf den Variometermagneten wirkenden Kräfte ist ausgedrückt durch:

$$m H \sin \varphi = \frac{m m^1}{v^3} k \sin \psi + \theta \sin \theta^1).$$

¹) Näheres über die Theorie siehe A. d. Schmidt, Erg. d. magn. Beob. in Potsdam u. Seddin i. J. 1908.

Soll daher am neuen Orte die Wirkung des Hilfsfeldes die gleiche sein, wie am alten, so muß jedes der beiden Glieder auf der rechten Seite der Gleichung im selben Verhältnis geändert werden, wie die linke Seite sich ändert, es müssen also beim Übergang e^3 und k , oder $\sin \psi$, außerdem $\sin \vartheta$, d. h. also die Funktionen der Entfernung oder der Drehung (ψ) der Hilfsmagnete und die der Faden-Torsion, im Verhältnis $\frac{H_1}{H_2}$ — da $\sin \varphi_1 = \sin \varphi_2 = 1$ sein soll — vergrößert oder verkleinert werden. Die geschilderte einfache Kompensationseinrichtung läßt nun aber Entfernung und Richtung nicht messen, also auch nicht exakt variieren, dazu kommt noch, daß die Bestimmung der Ablenkungsfunktion k bei solchen drahtförmigen Magneten schwierig ist. Da sich auch die Ost-West-Stellung des Variometermagnets nicht beliebig exakt erreichen läßt, bleibt als einziger Anhaltspunkt bei der Änderung des Hilfsfeldes die Änderung der Torsion des Aufhängefadens im Verhältnis $\frac{H_1}{H_2}$.

Es wäre deshalb zweckmäßiger, die Stricknadelstücke zu ersetzen durch einen größeren Magneten, der auf einer vom Variometergehäuse seitlich ausgehenden Ablenkungsschiene angebracht würde, ähnlich wie dies bei den Seddiner Instrumenten der Fall ist. Eine exakte Teilung auf der Schiene müßte die berechnete Verschiebung des Magnets zu bestimmen erlauben, ferner wäre das Lager des Magnets drehbar und mit Kreisteilung einzurichten. Um die anderen Instrumente möglichst wenig durch diesen stärkeren Kompensationsmagneten zu beeinflussen, würde das H-Variometer, wie dies schon jetzt meist geschieht, dem Registrierapparat am nächsten aufzustellen und die Ablenkungsschiene gegen diesen hin zu richten sein. Der Ersatz der Stricknadelstücke durch einen größeren Magneten wäre außerdem auch zweckmäßig wegen des anomalen thermo-magnetischen Verhaltens, das solche magnetische Drähte nach Ashworth (Internat. Konferenz, Bristol 1898) zeigen können.

Man könnte auch daran denken, bei Bestimmung der Temperaturkoeffizienten im Hauptobservatorium das umgebende Erdfeld um den fraglichen Betrag $\frac{H_1}{H_2}$ zu ändern durch Anwendung eines weiteren Magnets, den man etwa in einer Flüssigkeit oder in einem Dewarschen Gefäß vor den Temperaturänderungen bewahrte. Allerdings würde dieses Verfahren den Nachteil der Komplizierung der Rechnung besitzen.

Auch bei der Wage könnte den Trägern der Kompensationsmagnete eine Teilung zur genaueren Einstellung auf die errechnete Entfernung gegeben werden.

Die Skalenwertbestimmungen sind in üblicher Weise durch Ablenkungen mittelst eines kleinen Magnets bestimmt worden. Es ist für D: $\varepsilon = \frac{171.89(1+\theta)}{\Lambda}$, wo θ das Torsionsverhältnis, Λ den Abstand des D-Spiegels von der Registrierwalze bedeutet. In Grindelwald war $\theta = 0.0033$, $\Lambda = 176.00$, folglich $\varepsilon = 0.980$. Nach Anbringen der zu den übrigen Variometern gehörenden Magnete erhöhte sich ε auf 1.030. Ferner war für das H-Instrument $\varepsilon' = \frac{n}{n'} \varepsilon H \frac{1}{\rho} = 3.16 \gamma$ (mit $H = 0.21$), für die Wage: $\varepsilon'' = x \frac{n}{2n''} \varepsilon H \frac{1}{\rho} = 2.38 \gamma$. x ist ein Faktor, der wegen der ungleichen Form des Deklinatorium- und des Wagemagnets anzubringen ist und der = 1.05 angenommen wurde.

Für das Variationsobservatorium in Grindelwald wurde eine etwa 150 m NNE von der Pension Kirchbühl, oberhalb der Kirche in ausgedehnter Wiese freiliegende Hütte gewonnen, die sich vorzüglich bewährt hat (s. Tafel, Fig. 1). Sie war ganz aus Holz gebaut und in drei Räume geteilt, der mittlere größer als die beiden seitlichen. Da sie im Winter als Stall dient, sind die Wände dicht aus starken Balken gefügt. Der Giebelraum, den ein mäßig geneigtes, mit Holzschindeln gedecktes und den üblichen Steinen beschwertes Dach deckt, und der direkt über den drei Räumen liegt, war bis etwa zur halben Höhe mit Heu gefüllt. Dieser Umstand hat bewirkt, daß die Temperaturschwankungen im Mittelraume, in dem die Variometer standen, sehr gering waren. Im selben Sinne haben offenbar auch die Holzkonstruktion des Hauses, die schützenden seitlichen Räume, schließlich noch zwei das Gebäude überschattende Bäume gewirkt. Die mittlere beobachtete Temperatur betrug rund $16\frac{1}{2}^{\circ}$, der höchste abgelesene Wert in der ganzen Vermessungszeit war 20° , der tiefste 12.5° .

Eisen kommt bei diesen Hütten, mit Ausnahme der Türangeln, kaum zur Verwendung, selbst Nägel werden, um Verletzungen des Viehs zu verhüten, vermieden.

Die Hütte wurde, nachdem sie ausgeräumt worden war, in folgender Weise für ihren neuen Zweck eingerichtet. Im Mittelraum — der rund 5.7 m lang, 5.4 m breit und 1.8 m hoch war — lief längs der einen Breitwand ein hölzerner Futtertrog. Dieser bildete die eine, ein kräftiges, stabil aufgestelltes Baumstück die andere Stützfläche für ein 5 cm starkes, rund 60 cm breites und 3.7 m langes, schweres Brett, auf das die Variometer zu stehen kamen. Fensteröffnungen hatte der Raum nicht, doch kam an verschiedenen Stellen durch die Balkenritzen etwas Licht hinein. Die Wände haben deshalb, mit Rücksicht auf die photographische Registrierung, teilweise mit rotem Tu ausgeschlagen werden müssen, außerdem wurde die Tür, die unmittelbar ins Freie führte, innen mit zwei etwa $\frac{1}{2}$ m von einander abstehenden roten Vorhängen umgeben. Da die ersten Kurven trotzdem noch starke Schwärzung zeigten, mußte die Stoffauskleidung überall verdoppelt werden. Über der Registrierlampe wurde zur Sicherung gegen Feuergefahr die Decke mit Messingblech beschlagen.

Die Variometer standen auf dem erwähnten Eichenbrett etwa in der Mitte des Raumes in gleicher Anordnung, wie bei ihrer Proberegistrierung in Potsdam, nahe dem östlichen Ende des Brettes der Registrierapparat, ihm zunächst in rund 1.09 m Abstand von der Cylinderlinse das H-Variometer, 1.71 m entfernt das Deklinatorium, in 2.32 m Entfernung die Wage.

Ausführung der Feldbeobachtungen. Nach der Ankunft an einer Station war zunächst ein geeigneter Beobachtungsplatz ausfindig zu machen, auf den Gipfeln besonders nach Möglichkeit eine schneefreie Stelle, um dem Stativ einen sicheren Stand zu geben. Dann wurden Stativ und Instrument aufgestellt und ihnen zunächst Zeit gelassen, sich der Temperatur der umgebenden Luft anzupassen, ferner der Schirm so angebracht, daß er der Sonne bequem nachgedreht werden konnte. Nachdem hierauf der Theodolit horizontalisiert worden war, wurden die Beobachtungen mit der Anvisierung der Miren begonnen, die sich, wie erwähnt, wegen der mangelnden Stärke des Fernrohrs in den meisten Fällen auf charakteristische Gipfel oder Felszacken der umgebenden Berge beschränken mußte. Hierauf folgten nach Einsetzen einer neuen Nadelpinne, mehrere, durch Abheben und Wiedersinken des Pinnenmagnets getrennte Deklinationseinstellungen erst in der einen, dann in der andern Magnetlage. Daran

schloß sich die Horizontalintensitätsmessung, die auf den Feldstationen durchweg aus Ablenkungsbeobachtungen in einer Entfernung erst mit dem Magneten H_1 , dann mit H_{11} , bestand. Die Ausführung dieser Messungen erfolgte in üblicher Weise: Zunächst mehrere Einstellungen ohne Ablenkungsmagnet (v_0), dann solche mit dem Ablenkungsmagnet (dem ebenfalls Gelegenheit gegeben war, vorher die Temperatur der Luft anzunehmen) auf der östlichen Schiene, sein Nordpol nach Osten gerichtet (v_1), hierauf Magnet West Nordpol nach Ost (v_2), Magnet West Nordpol nach West (v_3), Magnet Ost Nordpol nach West (v_4), schließlich wieder v_0 und daran anschließend dieselben Beobachtungen mit H_{11} . Bei jeder Einstellung wurde das in den röhrenförmigen Ablenkungsmagnet eingeschobene Thermometer abgelesen. Vor Strahlungseinflüssen sind Thermometer wie Magnete so sorgfältig wie möglich bewahrt worden.

Nach der H-Messung wurden die Ablenkungsschienen abgenommen und durch die vertikalen Eisenstäbe ersetzt. Mit Hilfe des Lotes erfolgte die Senkrechtstellung dieser Stäbe und zwar zunächst in der einen der möglichen Stellungen: westlicher Stab freies Ende nach unten, östlicher Stab freies Ende nach oben gerichtet, das Thermometer in das obere Ende des westlichen gesteckt. Nach etwa 5 Minuten, die zur vollen Induktion nötig sind, mehrere Einstellungen mit dem üblichen Abheben und Wiederaufsetzen des Pinnenmagnets. Dann Umstellung der Stäbe derart, daß der westliche mit dem freien Ende nach oben, der östliche nach unten zeigte und Beobachtungen in derselben Weise, wie vorher. Nach Abnahme der Stäbe noch einmal einige v_0 -Einstellungen, und schließlich Anvisieren der Miren, zur Kontrolle eines etwaigen Drehens des Stativs im Verlaufe der Messung. Öfter ist auch die Deklinationsbestimmung statt am Anfang, am Ende der Messung vor den letzten Mireneinstellungen ausgeführt worden.

Der Aufenthalt auf einer Station betrug im Allgemeinen $3\frac{1}{2}$ bis 4 Stunden. Die Messungen haben sich auch auf den Gipfeln, trotz der Schwierigkeiten, von denen in der Einleitung die Rede war, in gleich befriedigender Weise, wie bei den gewöhnlichen Feldmessungen durchführen lassen. Dementsprechend ist auch, wie sich weiterhin zeigen wird, die Genauigkeit der Ergebnisse gleich groß, wie bei den gewöhnlichen Landesaufnahmen.

Bei den Kontrollmessungen an der Basisstation Grindelwald sind mit den Magneten H_1 und H_{11} außer den Ablenkungs- auch Schwingungsbeobachtungen angestellt, außerdem noch mit den Magneten E_1 und E_{11} , die auf den Turen nicht mitgenommen wurden, sondern unverändert in Grindelwald aufbewahrt blieben, zur Kontrolle der andern, Ablenkungsmessungen ausgeführt worden. Die Schwingungen mußten in Grindelwald, wie die Ablenkungen, im Freien erfolgen. Der Beobachtungsplatz lag etwa 100 Meter nördlich der Variationshütte auf einem durch die Wiese führenden kleinen Fußweg. Die Schwingungsdauer ist in gewohnter Weise durch Beobachtung der Durchgänge des gespiegelten Nullstriches durch den vertikalen Faden des Fernrohres bestimmt worden, und zwar wurde vom 1. bis 60. Durchgang jeder dritte beobachtet, dann der Eintritt des 101. berechnet und darauf wiederum bis zum 160. beobachtet. Die Schwingungsbeobachtungen sind bekanntermaßen im Feld weit weniger zuverlässig, als die Ablenkungsbeobachtungen. Die Unruhe in der umgebenden Natur, entfernte Geräusche, selbst schon das leichte Wehen des Windes machen es unmöglich, den Schlag des 1—2 m entfernten Chronometers noch genügend sicher zu hören.

Uhren. Für die Schwingungsbeobachtungen ist das im Übrigen als Normaluhr in der Variationshütte aufbewahrte halbe Sekunden schlagende Chronometer Parkinson des Preuß. Geodätischen Instituts benutzt worden. Für die Feldstationen stand mir die Taschenuhr Lange des Magnetischen Observatoriums Potsdam zur Verfügung. Erschütterungen beim Transport beeinflussen den Gang der Taschenuhren, sie können auch leicht eine Beschädigung, nämlich ein Verbiegen oder Abbrechen der Achse der Unruhe hervorrufen. Bei der Uhr Lange war nach den ersten Hochtüren eine Reparatur dieser Art nötig geworden, nachher hat sie sich sehr gut gehalten, ihr Gang war größer als in Potsdam, aber sehr gleichmäßig. Während ihrer Reparatur habe ich an den Stationen meine Taschenuhr benutzt, die ich täglich mindestens einmal mit denen meiner Begleiter, außerdem bei jeder Gelegenheit mit Bahnuhren, nach jeder Rückkehr nach Grindelwald natürlich mit Chronometer Parkinson verglich. Mit Hilfe dieser Vergleiche hat auch für die wenigen Tage, wo die Uhr Lange nicht benutzt war, die Zeitbestimmung genügend sicher für die Entnahme der Variationen aus den Kurven erfolgen können.

Berechnung.

Die Berechnung der Deklinationsmessungen hat, da eine Bestimmung des astronomischen Meridians nicht erfolgen konnte, unterbleiben müssen.

Vertikalintensität. Bei senkrechter Stellung der Eisenstäbe wirkt auf den Pinnmagnet einerseits eine Komponente der Horizontalintensität, andererseits das magnetische Moment der Eisenstäbe. Dieses besteht aus dem permanenten Magnetismus der Stäbe und dem durch die vertikale Komponente des Erdmagnetismus induzierten Momente, das der induzierenden Kraft proportional ist. Das Gleichgewicht ist also ausgedrückt durch die Gleichung:

$$H \sin \varphi = M + c Z.$$

Der permanente Magnetismus M wird durch die Beobachtung in zwei verschiedenen Stellungen der Stäbe ausgeschaltet. Im Übrigen ist die Messung eine relative, indem $Z_2 = Z_1 \frac{H_2 \sin \varphi_2}{H_1 \sin \varphi_1}$, wobei Z_1 und φ_1 durch Vergleichsmessungen an einem Observatorium erhalten sind. Die beobachteten Ablenkungswinkel φ sind wegen der Änderungen von D , H und Z zu korrigieren. Für die beiden letzteren ergibt sich die Formel (in Bogenminuten):

$$d\varphi^{(1)} = \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{dZ}{Z} - \frac{dH}{H} \right) = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{10^6 \cdot Z} \cdot s'' \cdot \rho \cdot \Delta n'' - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{10^6 \cdot H} \cdot s'' \cdot \rho \cdot \Delta n'.$$

Bei der Berechnung wurden erst an alle einzelnen Kreislesungen die D -Variationen angebracht, dann die zu jeder Stabstellung gehörigen Werte zusammengefaßt und an diese Mittel die H -Variationen angebracht. Die halbe Differenz der nunmehr wegen ΔD und ΔH korrigierten Werte erhielt dann die Verbesserung wegen der Z -Variationen, und schließlich noch wegen etwaiger Drehung des Stativs und wegen der Temperatur.

Die Temperaturkoeffizientenbestimmung der vertikalen Eisenstäbe in Potsdam, ebenfalls in zwei Stellungen durchgeführt, hat -0.074 und -0.110 , im Mittel also -0.092 ergeben.

Durch Einsetzen der Zahlenwerte wird die obige Formel:

$$d\varphi^{(1)} = 0.047 \Delta n'' - 0.120 \Delta n'.$$

Horizontalintensität. Auch die H-Messungen sind, wie das schon aus dem Fehlen von Schwingungsbeobachtungen an den Feldstationen folgt, relative. Die Entfernung e des Ablenkungsmagnets vom Pinnenmagnet wird bei diesen transportablen Instrumenten nicht ausgemessen, ebenso auch die Ablenkungsfunktion k der Röhrenmagnete nicht bestimmt. An ihre Stelle tritt eine durch Vergleichsmessungen an einem ständigen Observatorium, in diesem Falle in Potsdam, gewonnene Konstante. Soweit Schwingungsbeobachtungen in Frage kommen, gilt das gleiche für die Bestimmung des Trägheitsmomentes. Hiernach reduziert sich die für die erste Lamontsche Hauptlage gültige Ablenkungs-Gleichung $\frac{M}{H} = \frac{e^3 \sin \varphi}{2k}$ auf die Form $H_0 = \frac{c_a}{\sin \varphi_0}$, wo φ_0 der aus dem Mittel der vier Lagen berechnete und wegen der Variationen von D , H und der Temperatur korrigierte Ablenkungswinkel ist. Die Größe $c_a = \frac{2kM}{e^3}$ ist, da das magnetische Moment M sich ändert, variabel; unter gewöhnlichen Umständen kann man diese Änderung von c_a als im Allgemeinen linear in der Zeit vor sich gehend voraussetzen, einer gleichmäßigen Verringerung des Moments entsprechend. Auf Reisen aber muß damit gerechnet werden, daß durch die Erschütterungen und anderen Einwirkungen, denen die Magnete ausgesetzt sind, auch sprungweise Änderungen ihrer Momente eintreten. Da der Zeitpunkt und der Betrag solcher Sprünge bekannt sein muß, wenn man den Wert von c_a für jeden Messungstag feststellen können soll, so genügen Anschlußmessungen vor und nach der Reise nicht, die ja nur im Falle eines linearen Ganges ausreichen würden. Man muß deshalb versuchen, durch möglichst zahlreich zwischen die andern Stationen eingeschobene Kontrollmessungen an der Basisstation den wirklichen Gang von c_a festzulegen.

Die Schwingungsgleichung $MH = \frac{K}{T^2}$ geht nach dem oben gesagten in die Form $H_0 = \frac{c_a}{T_0^2}$ über, wo T_0 die wegen der Variationen von H und der Temperatur, ferner noch wegen des Torsionsverhältnisses des Aufhängefadens ($\theta = \frac{\psi}{360 - \psi}$, wo ψ die Ablenkung bei einer Drehung des Torsionskreises um 360° ist), der Größe h des Schwingungsbogens und des Ganges Δs des Chronometers reduzierte einfache Schwingungsdauer bedeutet.

Sind Ablenkungen und Schwingungen gemessen worden, so wird aus der Gesamtgleichung

$$H = \pi \sqrt{\frac{2kK}{e^3} \left(1 - \frac{k'}{2} H (1 + \sin \varphi)\right) \frac{1}{TV \sin \varphi}}$$

die vereinfachte

$$H = \frac{C \left(1 - \frac{k'}{2} H (1 + \sin \varphi)\right)}{TV \sin \varphi},$$

wo C also die Unbekannten k , e , K enthält, und natürlich gleichfalls durch Anschlußmessungen am Ausgangsobservatorium gewonnen wird. Der Klammerausdruck im Zähler enthält den Induktionseinfluß, der sich beim Übergang vom einen Ort zum andern ändert und daher besonders berücksichtigt werden muß. C ist naturgemäß konstanter als c_a , da es das magnetische Moment nicht enthält; dafür sind aber die Schwingungsbeobachtungen im Felde, wie schon erwähnt, von geringer Genauigkeit. Infolge der geringen Veränderlichkeit von C liegt aber in voll-

ständigen H-Messungen das beste Mittel, den Gang von c_a zu kontrollieren. Es empfiehlt sich daher, bei solchen Vermessungen die Möglichkeit zu suchen, auch genaue Schwingungsbeobachtungen an der Basisstation anzustellen. Erforderlich ist, daß dies innerhalb eines Hauses geschieht, doch braucht der Raum nicht von Eisen frei zu sein, es genügt, daß dieses stets unverändert bleibt. Daneben müßten dann noch, um ungestörte Werte von H zu bekommen, im Freien Ablenkungsbeobachtungen allein ausgeführt werden.

Die Reduktion der Beobachtungen erfolgte doppelt. Zuerst wurden die Einstellungen nach den vier Lagen $v_1 \dots v_4$ des Ablenkungsmagnets, zu vier Mitteln zusammengefaßt und an diese die mittleren D- und H-Variationen angebracht. Der Ablenkungswinkel $\frac{1}{2} \left(\frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{v_3 + v_4}{2} \right)$ erhielt dann noch die Korrektur wegen der mittleren Temperatur in der Messungszeit. Bei der zweiten, endgültigen Berechnung ist jede Einzelablesung reduziert worden. Die D-Variationen sind nach Multiplikation mit dem Skalenwert ε einfach additiv den Kreisablesungen beizufügen, für die Änderung infolge der H-Variationen gilt (in Bogenminuten ausgedrückt):

$$d\varphi^{(1)} = - \frac{\varepsilon'}{10^5 H} \cdot \rho \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \Delta n'.$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte wurde

$$d\varphi^{(1)} = - 0.518 \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \Delta n'.$$

Der Faktor von $\Delta n'$ ändert sich, wie der Ausdruck besagt, mit dem Winkel φ , sein Wert variierte zwischen 0.394 und 0.420.

Als Temperaturkoeffizienten der vier Magnete H_I, H_{II}, E_I, E_{II} sind die seinerzeit von Edler bestimmten benutzt worden (siehe Nippoldt, Magnet. Karten von Südwestdeutschland usw.), die in logarithmischer Form in folgenden Gleichungen enthalten sind:

$$\begin{array}{ll} \text{für } H_I: \log \sin \varphi_0 = \log \sin \varphi + 0.0003479 (t - 15^0) & \\ & + 0.000000811 (t - 15^0)^2 \\ \text{„ } H_{II} & + 0.0003757 (t - 15^0) \\ & + 0.000000613 (t - 15^0)^2 \\ \text{„ } E_I & + 0.0001598 (t - 15^0) \\ & + 0.000000600 (t - 15^0)^2 \\ \text{„ } E_{II} & + 0.0001110 (t - 15^0) \\ & + 0.000001100 (t - 15^0)^2. \end{array}$$

Schließlich wurden an dem nach Zusammenfassung aller korrigierten v_1, v_2, v_3, v_4 aus $\frac{1}{2} \left(\frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{v_3 + v_4}{2} \right)$ hervorgehenden Ablenkungswinkel φ noch die Verbesserungen angebracht wegen Ungleichheit der Entfernungen der Ablenkungsmagnete ($A \Delta \varphi^2$), und wegen der Drehung des Stativs, die sich aus den Änderungen der v_0 zwischen Anfang und Ende eines Ablenkungssatzes und denen der Mireneinstellungen zu Beginn und am Schluß der ganzen Messung ergeben. Diese Drehungen des Stativs waren immer genügend gering, auch stimmten die Δv_0 und die Unterschiede in den Mirenazimuten gut überein.

Die Schwingungsbeobachtungen sind logarithmisch reduziert worden. Es ist:

$$\log T_0 = \log T - 0.2171 (\alpha + 2\beta)t + 0.2171 \frac{e}{H} \Delta n' + 0.2171 \theta - 0.0000083 h^2 + 0.4343 \frac{\Delta s}{86400}$$

Die erste der Korrekturen, die wegen des Temperatureinflusses, ist nach Edlers Bestimmung

$$\begin{aligned} \text{für } H_I &: -0.0001690 (t - 15^0) \\ \text{„ } H_{II} &: -0.0001857 (t - 15^0), \end{aligned}$$

die letzte, wegen des Uhrgangs Δs , brauchte bei der erreichbaren Genauigkeit der Feldmessungen nicht berücksichtigt zu werden.

Bei der Berechnung der Ablenkungsbeobachtungen bleibt nach der Reduktion der Winkel noch der schwierigste Teil, die Untersuchung des Ganges von c_a oder von $\log c_a$ im Laufe der Vermessungsreise, die Bestimmung dieser Größe für jeden einzelnen Messungstag. Diese Untersuchung ist auf mehrere Arten erfolgt. Zunächst ergibt sich aus den Werten, die man durch die Anschlußmessungen vor und nach der Reise erhalten hat, unter der Annahme einer linearen Änderung ein $\log c_a$ für jeden Messungstag. Auf einem zweiten Wege wird aus Ablenkungen und Schwingungen und mit einem wegen der Induktionsänderung korrigierten C ein Wert von H und daraus, da $c_a = H \sin \varphi$, c_a bestimmt. Ein dritter Weg führt von den Schwingungsbeobachtungen und einem angenommenen Wert von c_a zu H und von da wieder zu c_a .

Der zweite und dritte Weg sind, solange die Schwingungsbeobachtungen nicht unter günstigen Bedingungen zur Ausführung kommen können, und daher geringe Zuverlässigkeit haben, die unsichersten. Man muß aber bei der Beurteilung der auf den verschiedenen Wegen gewonnenen Werte vor Allem auch berücksichtigen, daß c_a bzw. $\log c_a$ bei der Genauigkeit, die die Bestimmung von H im Felde hat, in ziemlich weiten Grenzen schwanken kann. Läßt man eine Unsicherheit der H -Bestimmung von $8-10\%$ zu, so dürfen die Werte von $\log c_a$, bei einem φ von etwa 40° innerhalb $16-20$ Einheiten der fünften Dezimale des Logarithmus verschieden sein.

Die Anschlußmessungen in Potsdam im Juli und im November 1909 ergeben für den Magneten H_I eine geringe Abnahme des $\log c_a$ von 9.11721 auf 9.11720, bei H_{II} eine Abnahme von 9.10978 auf 9.10971. Nimmt man nun für jeden Messungstag den bei Voraussetzung linearer Abnahme sich ergebenden Wert und berechnet damit die Horizontalintensität, so tritt eine Eigentümlichkeit hervor, die einen Fingerzeig für die wahren Gänge der $\log c_a$ gibt. Beim Vergleich der auf diese Weise aus den Messungen mit den beiden Magneten berechneten Werte der Horizontalintensität findet man nämlich einen ausgesprochenen Gang in den Unterschieden der beiden. Die Differenzen nehmen vom Anfang der Vermessung allmähig ab bis um die Mitte und dann mit umgekehrtem Vorzeichen wieder zu bis zu den letzten Messungstagen. Und zwar sind am Anfang die aus H_{II} , am Ende die aus H_I hervorgehenden Werte der Horizontalintensität, die größeren. Ein Grund für die Realität einer derartig gesetzmäßigen Verteilung der Differenzen ist nicht gegeben; es folgt offenbar aus ihr, daß die Gänge der beiden $\log c_a$ während der Vermessung zwar im Wesentlichen linear gewesen sind, aber nicht so, wie aus den Anschlußmessungen zu schließen ist. Da beide Magnete gemeinsam transportiert und auch sonst stets gleich behandelt wurden, wäre es das Gegebene, zur Gewinnung der wirklichen Gänge die Ver-

besserungen auf beide $\log c_a$ gleichmäßig zu verteilen. Tut man dies, und gleicht die Einzelwerte aus, so erhält man bei H_I eine etwas stärkere Abnahme von $\log c_a$, als die lineare angibt, bei H_{II} dagegen eine entsprechende Zunahme, statt der Abnahme. Das richtigste dürfte es aber unter den gegebenen Umständen sein, überhaupt keine weiteren Voraussetzungen über den Verlauf der $\log c_a$ im Einzelnen zu machen, sondern einfach die von beiden Magneten in der angegebenen Weise gewonnenen Werte der Horizontalintensität zu mitteln. Dieses Mittel ist ja auch der Wert von H , den man bei gleichmäßiger Verteilung der genannten Abweichungen auf beide $\log c_a$ erhalten würde.

Der zweite Weg wäre, wie schon erwähnt, wegen der gleichmäßigen Änderung von C wertvoll, wenn die Schwingungsbeobachtungen unter günstigeren Umständen ausgeführt werden könnten. Die Anschlußmessungen in Potsdam ergeben für C_I vor und nach der Reise den gleichen Wert 9.80730, für C_{II} dagegen eine Abnahme von 9.80680 auf 9.80635. Die hieraus für die Grindelwaldner Messungstage abgeleiteten Werte von C müssen nach der Formel noch die Induktionskorrektur erhalten. Nach Edlers Bestimmung beträgt der Induktionskoeffizient

$$\begin{aligned} \text{für } H_I & 0.01439 \\ \text{„ } H_{II} & 0.01429. \end{aligned}$$

Die Änderung von $\log C$ beim Übergang von Potsdam nach Grindelwald, $\Delta \log C = -0.2171 k' \Delta H$, ist, nach Einsetzung der Zahlenwerte, für beide Magnete: -7 Einheiten der fünften Dezimale des Logarithmus. Für die $\log c_a$ beider Magnete ergibt sich nun auf diesem Bestimmungswege zwischen den einzelnen Grindelwaldner Messungstagen ein Verlauf, der dem nach der ersten Methode bei gleicher Verteilung der Differenzen gewonnenen ausgeglichenen ähnlich, aber etwas gegen ihn geneigt ist. Allerdings bekommt man aus den einzelnen Schwingungssätzen eines und desselben Tages recht verschiedene Werte von c_a , was die geringe Sicherheit dieses Bestimmungsweges kennzeichnet.

Man könnte nun die aus beiden Verfahren hervorgehenden Werte von H zusammennehmen. Wegen der Unsicherheit der Schwingungsmessungen könnten die c_a der zweiten Methode aber nur mit einem geringeren Gewicht eingesetzt werden, und danach würden die Ergebnisse von denen der ersten Methode sich kaum mehr unterscheiden. Ich möchte deshalb vorziehen, die auf dem zweiten Wege gewonnenen Werte ganz auszuschließen. Die Änderung mit der Höhe wird durch die Wahl der einen oder anderen Werte sowieso nicht praktisch beeinflusst.

Damit kann auch die Berechnung von c_a auf dem Umwege über c_s hier übergangen werden, denn die Unsicherheit der Schwingungsbeobachtungen geht dabei ja quadratisch in das Resultat ein.

Auch auf die Messungen, die in Grindelwald mit E_I und E_{II} angestellt worden sind, möchte ich nicht weiter eingehen; besonders E_{II} hat sich, wie auch bei früherer Verwendung wieder als weniger guter, offenbar nicht genug gehärteter oder gealterter Magnet erwiesen, der leicht größere sprünghafte Änderungen im magnetischen Moment erleidet. Aber auch bei E_I scheinen solche Sprünge vorgekommen zu sein, ohne daß sich Ursache oder Betrag feststellen läßt.

Die **Genauigkeit** der Messungen der Horizontalintensität, abgeleitet aus den Differenzen der mit H_1 und H_{11} erhaltenen Resultate, beträgt im Mittel aller Stationen $\pm 5.3 \gamma$, ist also von derselben Größe, wie im flachen Lande, der größte Fehler betrug nur 9γ . Damit ist auch zahlenmäßig erwiesen, daß trotz der besonderen Anforderungen, die im Hochgebirge an die Beobachtungen und an das Instrumentarium gestellt werden, die Messungen mit aller gewünschten Exaktheit sich haben durchführen lassen.

Ergebnisse.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Horizontalintensitätsmessungen zusammengestellt.

Tabelle

Datum	Station	Meeres- höhe	H 1909,5	Δ Gr
1909				
August 12	Grindelwald	1100	0.21043	
» 13	Schwarzhorn	2930	0.21008	— 13
» 20	Grindelwald	1100	0.21046	
» 24	Wilerhorn	3311	0.21134	+ 118
» 25	Raron	700	0.21136	+ 88
» 30	Wetterhorn	3700	0.21014	+ 2
Septbr. 1	Grindelwald	1100	0.21036	
» 2	Kandersteg	1200	0.21081	+ 39
» 3	Blümlisalphorn	3674	0.21054	+ 42
» 6	Konkordiaplatz	2820	0.21074	+ 52
» 8	Fiesch	1080	0.21226	+ 184
» 9	Grindelwald	1100	0.21048	

Die vierte Spalte enthält die aus den Messungen mit den Magneten H_1 und H_{11} gewonnenen, auf die Epoche 1909,5 reduzierten Werte der Horizontalintensität. Diese Reduktion ist in der Weise vorgenommen worden, daß aus den zunächst auf den Stand 60 des Grindelwaldner H-Variometers bezogenen Werten das mittlere Tagesmittel von H für die Vermessungszeit berechnet, und hierzu dann die Differenz zwischen dem H_m Potsdam derselben Zeit und dem für 1909,5 geltenden Jahresmittel Potsdam hinzugefügt wurde. Die Werte H_{60} waren auf diese Weise um 10γ zu erhöhen.

In der fünften Spalte stehen unter der Überschrift Δ Gr, in γ ausgedrückt, die Differenzen der auf das Niveau von 1100 m reduzierten Stationswerte gegen das mittlere H (= 0.21043) der Basisstation Grindelwald. Nach diesen Zahlen sind auch die Kurven in der Karte am Schluß der Abhandlung gezeichnet. Bei der Reduktion auf das gleiche Niveau ist folgendermaßen verfahren worden.

Für die Untersuchung des Höheneinflusses liegt besonders günstig das Stationspaar Grindelwald-Wetterhorn, dessen Verbindungslinie die Richtung der normalen Isodynamen hat, und das im Sedimentgestein gelegen ist. Fast gleich günstig sind Kandersteg-Blümlisalphorn, auch hier ist der Untergrund Kalk und beide Punkte liegen auch angenähert auf gleicher magnetischer Breite. Aus den H-Werten beider Stationspaare (wobei für Grindelwald wiederum

das Mittel 0.21043 angenommen ist) ergibt sich nun eine Abnahme der Horizontalintensität von rund 11γ auf 1000 m Erhebung, berücksichtigt man bei dem westlichen Paar noch den Breitenunterschied, indem man das H des Blümlisalphorns um 5γ erhöht, so erhält man hier 13γ .

Diese Werte erhalten eine gewisse Bestätigung durch die übrigen Paare Grindelwald-Schwarzhorn, Fiesch-Konkordiaplatz, Raron-Wilerhorn, die wegen ihrer gegenseitigen Lage, durch die ein größerer Einfluß der meridionalen Änderung der Horizontalintensität bedingt ist, für die Bestimmung zunächst nicht so günstig liegen, wie die beiden ersten. Nimmt man nämlich den Betrag von im Mittel 12γ Abnahme auf 1000 m auch für diese Punkte an und reduziert nun die H-Werte aller Stationen auf das gleiche Niveau von 1100 m, so zeigen die danach gezeichneten Isodynamen einen ganz gleichmäßigen Verlauf, in den alle Stationswerte hineinpassen.

Die Änderungen, die an die H-Werte der einzelnen Stationen bei dieser Reduktion anzubringen sind, betragen:

Grindelwald . . .	0 γ	Schwarzhorn	+22 γ
		Wetterhorn	+31
Fiesch	0	Konkordiaplatz . . .	+21
Kandersteg . . .	+ 1	Blümlisalphorn . . .	+31
Raron	- 5	Wilerhorn	+27

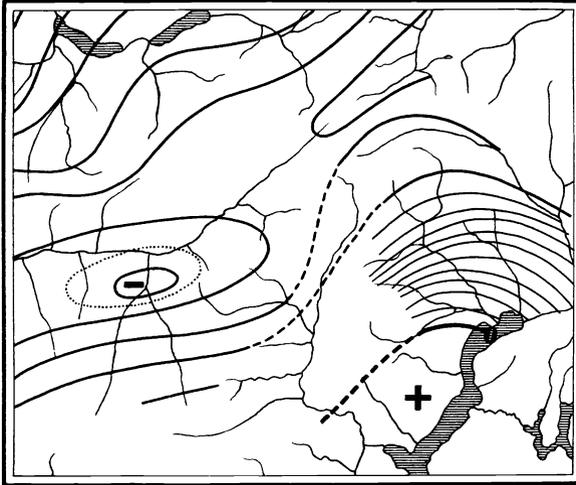
Die wenigen Stationen genügen natürlich nicht für eine endgültige Entscheidung der Frage der Änderung mit der Höhe. Demgemäß können auch noch keine bestimmten Schlüsse bezüglich der äußeren Kräfte, oder bezüglich der Art der Änderung mit der Höhe im verschiedenen Gestein gezogen werden. Die Untersuchung dieser Fragen würde eine viel ausgedehntere Vermessung verlangen; der Zweck des hier besprochenen Unternehmens war ja in allererster Linie die Anstellung eines methodischen Versuches.

Die Linien in der Karte am Schluss weisen auf zwei Gebiete gestörter Verteilung der horizontalen Kraft hin. Geht man von Grindelwald südlich, so nimmt die Intensität zunächst normal, weiterhin aber beim Übergang ins Rhonetal plötzlich sehr rasch zu. Zweitens läuft die Linie $\Delta = 150$ nicht parallel mit den nördlicheren, sondern sie biegt in ihrem westlichen Teil stark nach Süden aus, um einer niedrigeren Isodyname im mittleren Rhonetal Platz zu machen, die hier ein lokales Minimum andeutet.

Diese gestörte Verteilung des Erdmagnetismus gewinnt nun ein besonderes Interesse durch ihre augenscheinliche Beziehung zu einer andern Gruppe von Erscheinungen, nämlich zu Störungen der Schwerkraft, also der Massenverteilung in der Erdrinde. Aus den Pendelbeobachtungen, die Herr Dr. Th. Niethammer im Auftrage der Schweizer. Geodätischen Kommission im letzten Dezennium in der Südwest-Schweiz ausgeführt hat¹⁾, ergibt sich nämlich ein dem der magnetischen Horizontalisodynamen ähnlicher Verlauf der Linien gleicher Schwereabweichung. Die folgende Textfigur gibt Dr. Niethammers Karte wieder.

¹⁾ Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, herausgeg. v. d. Schweizer. Geodät. Komm., 12. Bd., Zürich 1910, und Th. Niethammer, Schwerebestimmungen der Schweizer. Geodät. Komm., Verhandl. der Naturf. Ges. in Basel 1912.

Die rasche Zunahme der Horizontalintensität im oberen Wallis deutet auf ein Maximum hin, das in das Gebiet des stärksten Gradienten der Schwerkraft zu fallen scheint, der sich in der Niethammerschen Karte zwischen dem oberen Rhonetal und dem Lago maggiore sehr stark ausgeprägt zeigt. Dies entspräche, wenn wir an eine magnetische Wirkung der Gesteinsmassen denken, der Theorie¹⁾, denn diese verlangt, daß die stärkste magnetische Wirkung einer



Linien gleicher Schwereabweichung, nach Dr. Th. Niethammer.

Gesteinsschicht nicht örtlich mit dem Maximum ihrer Wirkung auf das Pendel zusammenfällt, sondern mit dem stärksten Gradienten, daß also ein magnetisches Maximum oder Minimum nicht über einem Massenüberschuß oder -defekt, sondern längs einer tektonischen Linie gelegen sein muß²⁾. Statt um die Wirkung magnetisierter Gesteinsmassen kann es sich bei diesen Störungen in der magnetischen Verteilung auch etwa um Störungen im Verlauf der Erdströme an Verwerfungen u. dgl. handeln.

Gleicherweise entspricht dem Minimum der Horizontalintensität, das die Beobachtungen in Raron andeuten, auf der Niethammerschen Karte der Abfall zu einem Gebiet stärkster negativer Schwereabweichung, also maximalen Massendefektes, das sich südlich davon, in der Mitte zwischen der Walliser und der Berner Alpenkette, über der Randlinie der südlichen Deckfalten hinzieht, unter denen in der Gegend von Raron das Aaremassiv auftaucht. Dies Gebiet ist

¹⁾ Vgl. R. v. Eötvös in den Verh. der 16. allg. Confer. der internat. Erdmessung, 1910, S. 336.

²⁾ Vgl. auch E. Naumann, Die Erscheinungen des Erdmagnetismus in ihrer Abhängigkeit vom Bau der Erdrinde. Stuttgart 1887. Die Parallelität beider Störungsarten ist auch schon in anderen Gegenden gefunden worden, so im Harz. in Japan usw.

auch noch dadurch als geotektonisch gestört gekennzeichnet, daß es das Maximum der Seismizität der Schweiz aufweist.

Aus diesen Ergebnissen der wenigen Stationen geht schon hervor, daß eine magnetische Vermessung im Alpengebiete von genügender Ausdehnung und mit genügend engmaschigem Stationsnetz ein besonderes Interesse bietet, sowohl wegen der verschiedenen Höhenlage der Stationen, als auch wegen der Beziehung der magnetischen Kraftverteilung zu den geologischen Verhältnissen des Untergrundes.

Die Ergebnisse der Vertikalintensitätsmessungen möchte ich nur mit Vorbehalt wiedergeben. Es ist schon darauf hingewiesen worden, daß die Messungsvorrichtung mit den vertikalen Eisenstäben in letzter Stunde vor der Ausreise fertiggestellt wurde und daher nicht mehr genügend ausprobiert werden konnte. Die einfache Lotvorrichtung hat im Felde augenscheinlich nicht genügt, um die Senkrechtstellung der Stäbe mit der Genauigkeit zu sichern, die nach dem früher gesagten notwendig ist, obgleich dabei stets mit besonderer Sorgfalt vorgegangen wurde. Übrigens scheinen solchen Eisenstäben auch Änderungen schwer kontrollierbarer Art eigentümlich zu sein, wie schon Lamont fand, und wie sich z. B. auch bei Temperaturuntersuchungen in Potsdam gezeigt hat.

Ich möchte aber immerhin die gewonnenen Z-Werte kurz mitteilen, wenn auch unsicher ist, welchen Grad von Genauigkeit der einzelne besitzt.

Grindelwald	0.40795	Wetterhorn	0.40539
Kandersteg	0.40495	Blümlisalphorn	0.40370
Fiesch	0.40118	Konkordiaplatz	0.40275
Raron	0.40517	Wilerhorn	0.40311

Die vier Talstationen zeigen die gestörte Verteilung wie bei H, der raschen Zunahme von H im oberen Wallis entspricht eine ebensolche Abnahme von Z, dem H-Minimum bei Raron ein Maximum von Z.

Für die Änderung mit der Höhe folgt aus den Zahlen von Kandersteg-Blümlisalphorn rund 50γ auf 1000 m Erhebung, für das Stationspaar Grindelwald-Wetterhorn gar beinahe der doppelte Betrag. Der große Unterschied der beiden Werte ist offenbar ein Ausdruck der Unsicherheit der Meßmethode, es verbietet sich daher von selbst, weitere Schlüsse aus diesen Zahlen zu ziehen. Es mag nur, da beide Werte, auch der erste, sehr hoch sind, darauf hingewiesen werden, daß eine teilweise Durchdringung der elektrischen Strömungsschicht in der Atmosphäre sich in erster Linie durch eine abnorme Änderung der Vertikalintensität äußern würde.

Zum Schluß mögen die Ergebnisse der besprochenen Untersuchung noch einmal kurz zusammengefaßt werden.

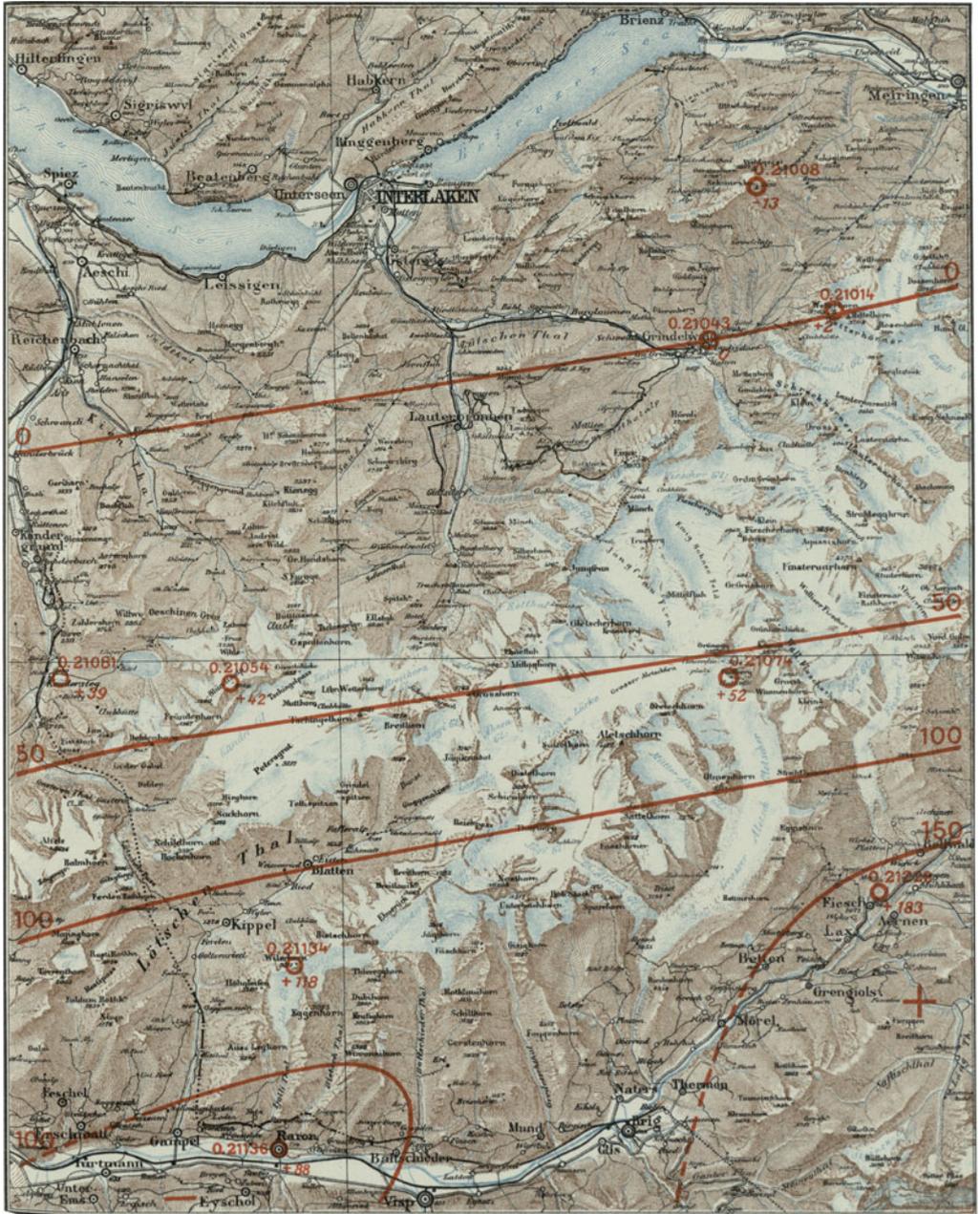
1. Die exakte Ausführung vollständiger magnetischer Feldmessungen ist im Hochgebirge trotz der besonderen Schwierigkeiten, die dort für die Beobachtung und für das Instrumentarium bestehen, bei gehöriger Beachtung aller notwendigen Vorsichtsmaßregeln, mit der gleichen Genauigkeit möglich, wie im Flachlande. Insbesondere läßt sich auch der Gang der Kon-

stanten bei genügend sorgfältigem Transport der Magnete und häufigen Messungen an einer Basisstation mit ausreichender Genauigkeit kontrollieren. In einzelnen Punkten haben sich Änderungen am Instrumentarium als notwendig erwiesen.

2. Eine systematisch angelegte magnetische Spezialvermessung in den Hochalpen vermag sowohl über die Änderung des Erdmagnetismus mit der Höhe, als auch über den Zusammenhang zwischen den tektonischen Verhältnissen und der Massenverteilung in der Erdrinde einerseits, und der Verteilung des Magnetismus andererseits wertvolle Aufschlüsse zu vermitteln. Im Besonderen haben die Messungen ergeben: eine Abnahme der Horizontalintensität um 11—13 γ auf 1000 m Erhebung, die Andeutung eines lokalen Maximums von H im Gebiet des größten Schweregradienten zwischen Oberwallis und Langensee und die eines lokalen Minimums von H im mittleren Rhonetal, südlich dessen sich eine Zone größter negativer Schwereabweichung, also eines Massendefektes befindet, die zugleich das Gebiet häufigster tektonischer Erdbeben in der Schweiz enthält. In den Messungen der Vertikalintensität kommen diese bevorzugten Gebiete in entsprechender Weise zum Ausdruck.

Abgeschlossen am 12. Mai 1913.

Linien gleicher Horizontalintensität für 1100 m Meereshöhe. Epoche 1909,5.



Maßstab 1 : 200 000

GEOPH. ARTIST. ANST. KÜMMERLY & FREY, BERN

Die Dezimalzahlen am Orte der Stationen geben in CGS die beobachteten Werte, die kursiv gesetzten und die Kurvenbezeichnung in 0.00001 CGS die Abweichungen der auf 1100 m reduzierten Werte von dem der Basisstation Grindelwald.