

**5. Bestimmung
absoluter Werte von Magnetisierungszahlen,
insbesondere für Kristalle;
von W. Voigt und S. Kinoshita.**

(Aus den Nachr. der kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen.
Math.-physik. Kl. 1907.)

Einleitung. Die Bestimmung absoluter Werte von Magnetisierungszahlen für Kristalle ist nur in wenigen Fällen überhaupt in Angriff genommen worden und die hier erhaltenen Resultate ermangeln der Sicherheit. Am zuverlässigsten erscheinen noch die Werte für Kalkspat, die sich aus den Messungen Tyndalls¹⁾ über das *Verhältnis* und denjenigen der Herren Stenger²⁾ und König³⁾ über die *Differenz* der Hauptmagnetisierungszahlen dieses Mineralen berechnen; aber die Tyndallschen Beobachtungen sind wohl mehr orientierend, als definitiv festlegend, und die sehr sorgfältigen Untersuchungen von Stenger und König weichen in ihren Endresultaten auffällig voneinander ab. So kann man auch für dies eine Mineral nur *ungefähre* absolute Werte angeben.

Bezeichnet man die Magnetisierungszahlen (Suszeptibilitäten) für die Richtungen normal und parallel zur kristallographischen Hauptachse mit k_1 und k_3 und bevorzugt die Königsche Zahl $k_3 - k_1 = -1,135 \cdot 10^{-7}$ vor der Stengerschen, so ergibt deren Kombination mit dem Resultat Tyndalls, das $k_1:k_3 = 91:100$ liefert, die Endwerte

$$k_1 = -11,1 \cdot 10^{-7}, \quad k_3 = -12,2 \cdot 10^{-7}.$$

Aus dem Stengerschen Resultat $k_3 - k_1 = -0,85 \cdot 10^{-7}$ würde dagegen folgen

$$k_1 = -8,6 \cdot 10^{-7}, \quad k_3 = -9,4 \cdot 10^{-7}.$$

1) J. Tyndall, Phil. Mag. (4) 2. p. 174. 1851; Pogg. Ann. 83. p. 397. 1851.

2) Fr. Stenger, Wied. Ann. 20. p. 304. 1883; 35. p. 331. 1888.

3) W. König, Wied. Ann. 31. p. 273. 1881.

Eine direkte Bestimmung der Größen k_1 und k_2 für Kalkspat und Wismut hat nach einer von Rowland ausgearbeiteten Methode Hr. Jacques versucht.¹⁾ Bei dieser Methode wurde das Feld zwischen den Polen eines Magneten als von rotatorischer Symmetrie dadurch nach seiner Gesetzmäßigkeit untersucht, daß die Feldstärke längs seiner Achse mit einer Induktionsspirale bestimmt und aus ihr nach den allgemeinen Gesetzen des Potentials die Feldstärke in einem größeren Bereich um die Achse berechnet wurde. In diesem nunmehr bekannten Felde brachte man dann Stäbchen aus den zu untersuchenden Kristallen zu Schwingungen um eine vertikale Achse und bestimmte deren Schwingungsdauern bei geeigneten Orientierungen.

Die Darstellung des Feldes erforderte die Bestimmung einer sehr erheblichen Zahl von Konstanten der Kugelfunktionenreihe und die Berechnung der auf die Kristallstäbchen ausgeübten Wirkung (bei der übrigens deren Querschnitt als unendlich klein behandelt ist) kann daher keine große Genauigkeit erreicht haben; aber diese Umstände erklären in keiner Weise die enormen Abweichungen, welche die von Jacques nach der Rowlandschen Methode für Kalkspat erhaltenen Zahlen

$$k_1 = -40 \cdot 10^{-9}, \quad k_3 = -37 \cdot 10^{-9}$$

von den oben angegebenen unterscheiden. In der Tat hat Rowland später²⁾ die erhaltenen Resultate als durch einen Fehler entstellt preisgegeben. Hr. König³⁾ hält für denkbar, daß der Fehler das Verhältnis beider Parameter nicht entstellt, muß aber dann, um die Zahlen benutzen zu können, noch die weitere Annahme machen, daß die Zahlwerte k_1 und k_3 vertauscht sind, um ein Resultat zu erhalten, das mit seinen und Tyndalls Zahlen einigermaßen vereinbar ist.

Dieser unbefriedigende Zustand unserer Kenntnisse über absolute Werte der Magnetisierungszahlen der Kristalle (wie auch anderer schwach para- oder diamagnetischer Körper)

1) H. A. Rowland, Amer. Journ. of Science (3) 18. p. 360. 1879; Phys. Papers p. 184.

2) A. v. Ettinghausen, Wied. Ann. 17. p. 274 Anm. 1882.

3) W. König, l. c. p. 300.

legte den Versuch nahe, die Lücke auszufüllen. Im nachstehenden ist über eine erste Beobachtungsreihe berichtet, die unter Benutzung einer der Tyndallschen einigermaßen verwandten Anordnung (die indessen die Ableitung nicht nur von relativen, sondern von absoluten Werten gestattete) von uns durchgeführt ist. Es wurden dabei außer einigen Jenenser Gläsern mehrere gerade verfügbare Kristalle verschiedener Systeme beobachtet. Die Messungen sind fast alle von Kinoshita ausgeführt. Da die von uns benutzte Methode außerordentlich wenig Material erfordert und sich dabei als recht genau erwiesen hat, so soll sie demnächst auf eine größere Reihe von Körpern angewendet werden. Ein vorläufiger Abschluß gebot sich dadurch, daß Kinoshita demnächst Göttingen verläßt.

Der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften hier sind wir für die Unterstützung unserer Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

Theorie der Beobachtungsmethode. Legen wir die Koordinatenrichtungen in die Hauptmagnetisierungsachsen des Kristalles und bezeichnen die Feldkomponenten mit A, B, C , die Magnetisierungszahl der Luft mit k_0 , während wir k_1, k_2, k_3 für die Hauptmagnetisierungszahlen des Kristalles beibehalten, so ergibt sich für die Energie des Kristallpräparates im Magnetfelde bekanntlich der Ausdruck

$$(1) \quad E = -\frac{1}{2} \int ((k_1 - k_0) A^2 + (k_2 - k_0) B^2 + (k_3 - k_0) C^2) dv,$$

das Integral über das Volumen v des Präparates erstreckt. Wird der Mittelwert von A^2, \dots innerhalb des Kristalles durch \bar{A}^2, \dots bezeichnet, so haben wir auch

$$(2) \quad E = -\frac{v}{2} [(k_1 - k_0) \bar{A}^2 + (k_2 - k_0) \bar{B}^2 + (k_3 - k_0) \bar{C}^2].$$

Die Kraft S , die das Präparat sich selbst parallel in irgend einer Richtung s zu verschieben sucht, ist durch

$$(3) \quad S = -\frac{dE}{ds}$$

gegeben; ihr entgegengesetzt gleich ist die Kraft, welche erforderlich ist, um das Präparat an seiner Stelle zu halten.

Diese Kräfte bestimmen sich durch die lokalen Änderungen von A^2 , B^2 , C^2 , und es wird offenbar auf die Genauigkeit der Resultate günstig einwirken, wenn man die *Methode der Feldbestimmung* so einrichtet, daß sie direkt A^2 , ... für diejenigen Räume liefert, die nachher von dem im Gleichgewicht gehaltenen Kristallpräparat eingenommen werden.

Hierzu ist die von Rowland angewendete Induktionsspirale nicht geeignet, auch wenn man ihre Form vollständig mit derjenigen der Präparate in Übereinstimmung setzen wollte, denn sie ergibt A , B , C , d. h. die Mittelwerte der Feldkomponenten *selbst*, aus denen die gewünschten A^2 , B^2 , C^2 als Funktionen des Ortes nur umständlich und ungenau folgen. Dagegen leistet die Widerstandsänderung einer Wismutspirale vollständig das Gewünschte; denn diese Änderung ist nach den Symmetrieverhältnissen notwendig eine Funktion des Quadrates der Feldstärke, wenn auch die bekannten Eichungskurven der im Handel erhältlichen Wismutspiralen auf dem größten Teil ihres Verlaufes von Geraden nur wenig abweichen.

Diese Überlegungen leiten zu der folgenden Anordnung der Messungen, die sich auf das beste bewährt hat. Die Äquatorialebene \overline{aa} des Feldes eines Elektromagneten wird von den Kraftlinien normal geschnitten. Das Gesetz, dem der Mittelwert des Quadrates der Feldstärke \bar{R}^2 für eine kleine Kreisfläche der Äquatorialebene längs eines Radiusvektors s der Äquatorialebene des Magnetfeldes folgt, läßt sich mit einer Wismutspirale bestimmen. Ist dies geschehen, so wird in irgend eine Position der Spirale eine kreisförmige Kristallplatte von mit der Spirale nahe übereinstimmender Größe gebracht; dieselbe erleidet im Felde eine translatorische Kraft parallel $\pm s$, und Gegenstand der Messung ist die Kraft, die erforderlich ist, um die Kristallplatte bei Erregung des Feldes in ihrer Position zu erhalten. In den drei Hauptfällen, daß die Platte normal zur ersten, zweiten, dritten Hauptmagnetisierungsachse des Kristalles geschliffen ist, ergeben sich für die nötigen Kräfte die Werte

$$(4) \quad S_h = \frac{v}{2} (k_h - k_0) \frac{d \bar{R}^2}{d s}, \quad h = 1, 2, 3.$$

Die eigentümliche Anordnung, die auf den Kristall ausgeübte Kraft *normal* zu den Kraftlinien des Feldes in Aktion

treten zu lassen, ist zum Teil durch die Eigenschaft der Wismutspirale bedingt, in der Position normal zu den Kraftlinien die kleinste magnetische Selbstinfluenz zu besitzen und demgemäß die sichersten Beobachtungen zu gestatten. Daß dabei die magnetischen Qualitäten in der Richtung der geäußerten Kraft, d. h. parallel zu s , gar nicht ins Spiel treten, wurde durch eine besondere Beobachtung gezeigt. Eine Platte Kalkspat, parallel der Hauptachse geschliffen, wurde einmal mit der Hauptachse, sodann mit dem dazu normalen Durchmesser in die Richtung von s gebracht; sie erfuhr in diesen beiden Positionen seitens des Feldes genau die gleiche Kraft.

Die Messungen zerfallen nach dem Gesagten in zwei Teile: die Auswertung von R^2 längs eines Radius s der Äquatorebene des Feldes und die Messung der von dem Felde auf die Kristallplatte ausgeübten Kraft.

Die Bestimmung des Gesetzes von R^2 . Die benutzte Wismutspirale war von Hartmann & Braun in Frankfurt a. M. geliefert und hatte einen Durchmesser von 5 mm. Die ihr beigegebene Graduierungskurve gestattet bei kleinen Feldstärken überhaupt keine sehr genauen Ablesungen, und da zudem der Gesamtwiderstand der Spirale (vielleicht infolge einer zeitlichen Änderung des Materiales) merklich von dem von der Fabrik angegebenen Werte abwich, so war es nötig, die Spirale für kleine Feldstärken zu eichen.

Diese Eichung geschah durch Ausmessung verschiedener Magnetfelder mittels der Spiralen und Auswertung derselben Felder durch die Drehung der Polarisationssebene des Lichtes in einer hineingebrachten Quarzplatte. Das Quarzpräparat war in bekannter Weise aus einer rechts und einer links drehenden Platte, normal zur Hauptachse geschliffen, zusammengesetzt und maß rund 11,5 mm Dicke. Die beiden Platten waren durch eine nur etwa 0,01 mm dicke Schicht von Kanadabalsam verbunden, deren Wirkung auf die magnetische Drehung nicht besonders in Rechnung gesetzt zu werden brauchte. Der Einfluß der Reflexion an den beiden Endflächen auf die Drehung wurde in Rechnung gezogen.

Nach Ausführung der optischen Messungen wurde das Quarzpräparat beseitigt und die Widerstandsänderung der Wismutspirale an dem Orte der Mittelfläche und der beiden

Endflächen des Quarzes bestimmt. Die Beobachtungen wurden durch eine parabolische Kurve verbunden, woraus sich dann die mittlere Widerstandsänderung innerhalb des benutzten Feldteiles bestimmen ließ. Die Kombination dieses Resultates mit der Größe der mittleren Feldstärke, welche die optischen Beobachtungen lieferten, ergab die gesuchte Graduierung.

Allerdings dient hier ein in der Feldstärke *lineäres* Phänomen (die magnetische Drehung) zur Graduierung der Wismutspirale, und das würde die auf p. 495 hervorgehobenen Vorzüge der Beobachtungsmethode einigermaßen aufheben, wenn es sich bei der Graduierung wirklich um erhebliche Änderungen der Stärke des Feldes innerhalb der Spirale zwischen ihren verschiedenen Positionen handelte. Dies ist aber nicht der Fall. Da die Feldstärke in der Achse des Feldes ein Maximum oder Minimum hat, so sind ihre Variationen innerhalb des Bereiches der (senkrecht zur Achse gestellten) Spirale als von zweiter Ordnung zu betrachten, und auch längs der Achse variierte bei den für die Graduierung benutzten Umständen die Feldstärke nur um einige Prozente. Demgemäß darf innerhalb der (bei den Beobachtungen im Maximum zu erhoffenden) Genauigkeit von etwa 0,5 Proz. die Methode der Graduierung als unbedenklich betrachtet werden.

Das Resultat der Graduierung war, daß der Zusammenhang zwischen dem Widerstand W_0 außerhalb, W_1 innerhalb des Feldes (in Ohm) und der Feldstärke R (in Gauß) innerhalb des Bereiches von 1500—3500 Gauß bis auf etwa $\frac{1}{2}$ Proz. durch die Formel

$$(5) \quad 1000(W_1 - W_0) = a + b R^2$$

dargestellt werden kann, wobei

$$a = 69,0, \quad b = 0,0000464.$$

$W_1 - W_0$ liegt bei den angegebenen Grenzen von R zwischen 0,2 und 0,6.

Mit der so graduierten Wismutspirale wurde nun gemäß dem p. 495 Gesagten das Feld des benutzten Elektromagneten längs eines Radius s der Äquatorebene abgesucht. Der Magnet, älteres Modell von Kaiser und Schmidt war uns für die Beobachtungen seitens des Hrn. Dr. Hauswaldt-Magdeburg, der auch in anderer Hinsicht die Arbeiten des Institutes freigebig

unterstützt, zur Verfügung gestellt worden. Die Form des Magneten ist die Plückersche mit hohen vertikalen Schenkeln auf kurzer Grundplatte; die Polschuhe tragen verschiebbare zylindrische Einsätze von ca. 3 cm Durchmesser die bei den Beobachtungen einander bis auf etwa 2 cm genähert waren. Das Feld hatte unter diesen Umständen natürlich nicht streng die Symmetrie eines Rotationskörpers um die Achse der Polschuhe; aber die Abweichung kommt bei der benutzten Beobachtungsmethode in keiner Weise störend zur Geltung. Da nur die in horizontaler radialer Richtung auf die Kristallpräparate ausgeübte Kraft gemessen werden sollte, war auch nichts anderes, als nur der Verlauf von R^2 in dieser Richtung zu bestimmen.

Hierzu war auf dem Tisch, über den die Polschuhe des Magneten emporragten, in der Höhe der Achse der Polschuhe

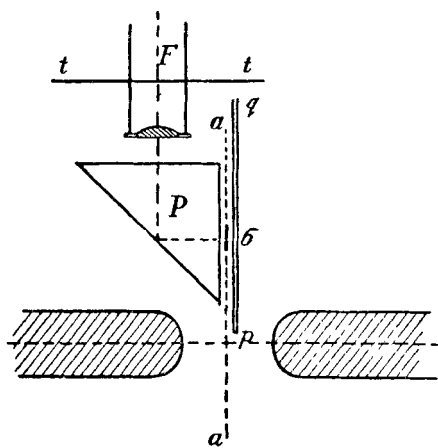


Fig. 1.

und etwa 2 mm von dem zu untersuchenden Radius $\overline{aa'}$ entfernt, eine auf einem dünnen Milchglasstreifen aufgezeichnete Skala $p\ q$ (von einem Thermometer herrührend) angebracht, die Striche vertikal gestellt; die Ablesungen an der Skala wurden durch ein Prisma P und durch ein in der Richtung \overline{tt} parallel mit sich verschiebbares Fernröhrchen F ermöglicht, deren von oben gesehene Anordnung aus der Fig. 1 zu erkennen ist.

Über diesem System war ein Paar horizontaler Schienen angebracht, längs deren sich der Halter der Wismutspirale derart verschieben ließ, daß die Spirale σ längs des Radius \overline{aa} hinwanderte. Ihre Stellung wurde dann mit Hilfe des Fernrohres bestimmt und die Änderung ihres Widerstandes bei dem stets in derselben Weise auf 14,3—14,4 Amp. gehaltenen Strom gemessen. Nachdem dies für eine Reihe (von beiläufig 10) Punkten geschehen war, wurde die Spirale um 180° um die Vertikale gedreht und die Messung wiederholt. Das Mittel aus beiden Bestimmungsreihen, die übrigens nur wenig differierten, ist frei von der natürlichen Asymmetrie der Spirale. Aus dem Mittelwert folgt \bar{R}^2 nach Formel (5), und seine Abhängigkeit vom Radiusvektor wurde nun innerhalb eines Bereiches von ca. 5 mm durch eine Interpolationsformel

$$(6) \quad \bar{R}^2 = a + b(s - s_0) + c(s - s_0)^2 + d(s - s_0)^3 + e(s - s_0)^4$$

dargestellt, wobei $s - s_0$ den radial gemessenen Abstand von einem Punkt in der ungefähren Mitte des Beobachtungsbereiches bezeichnet und

$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} a = 7,53_4 \cdot 10^6, \\ b = -6,18_5 \cdot 10^6, \\ c = +1,59_4 \cdot 10^6, \\ d = +1,44_1 \cdot 10^6, \\ e = -4,36_9 \cdot 10^6. \end{array} \right.$$

Die ausgezogene Kurve in Fig. 2 gibt eine Vorstellung von dem Verlauf von \bar{R}^2 , wenn man die *nicht eingeklammerten* Ordinatenzahlen benutzt. Die Abszissen sind Zentimeter mit (willkürlichem) Anfangspunkt $s = s_0$ in der Mitte.

Bei allen diesen Messungen mit der Wismutspirale war es nötig, die Änderungen der Temperatur in Rechnung zu setzen, die den Widerstand bekanntlich stark beeinflusst; das Gesetz dieser Wirkung war durch eine eigene Beobachtungsreihe, bei der die Zimmertemperatur absichtlich stark geändert, der Strom im Elektromagneten aber konstant gehalten wurde, zuvor aufgeklärt.

Aus der gewonnenen Formel (6) ließ sich schließlich der

für die Wirkung auf den Kristall maßgebende Ausdruck $\partial \bar{R}^2 / \partial s$ berechnen. Die punktierte Kurve in Fig. 2 gibt eine Anschauung von dem Verhalten dieser Größe, wobei die *eingeklammerten* Ordinatenzahlen maßgebend sind.

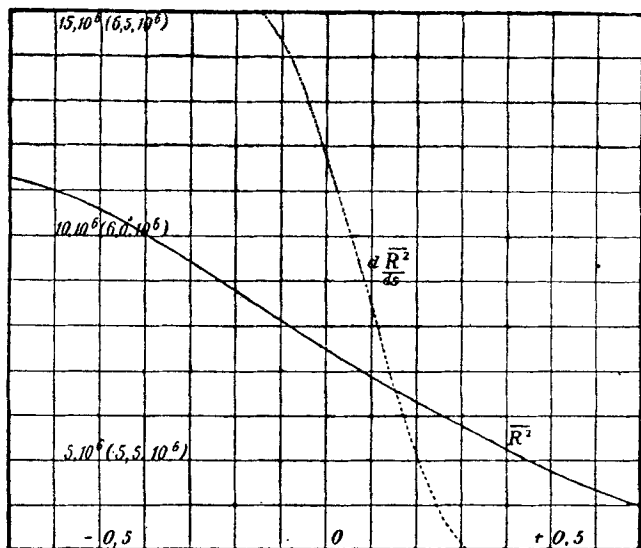


Fig. 2.

Die Messung der auf die Präparate seitens des Magnetfeldes ausgeübten Kraft. Die untersuchten Kristall- und Glasplatten besaßen 5,2—5,5 mm Durchmesser bei 1—1,5 mm Dicke. Sie sind von der Firma Voigt & Hochgesang hier angefertigt worden und es war der Arbeiter angewiesen, die Präparate mit Eisen nicht in Berührung zu bringen, sie auch nicht etwa (mit Pariser Rot!) zu polieren, sondern nur auf einem Quarzit- oder Smirgelschleifstein abzuschleifen.

Trotzdem wurde jedes gelieferte Präparat einer gründlichen Reinigung unterzogen; die in Wasser löslichen wurden gewaschen, um die ganze Oberflächenschicht zu beseitigen; die anderen wurden mit verdünnter Salzsäure und dann mit destilliertem Wasser gekocht und abgespült. Die zwischen Filtrierpapier getrockneten Präparate wurden dann weiterhin nur mit einer Pinzette mit Elfenbeinspitzen berührt.

Um die Kraft zu messen, die die Präparate in dem Magnetfelde erfahren, wurden sie an einer kleinen Drehwaage aufgehängt, deren oberer Befestigungspunkt in einem Torsionskopf lag; es waren Minuten ablesbar. Den an einem Quarzfaden aufgehängten *Balken* der Drehwaage bildete ein Glasfaden von der in Fig. 3 angegebenen Gestalt; die Kristallplatte π war mit einer Spur von Wachskitt an eine Schleife aus *dünnstem* Kokonfaden befestigt und konnte so leicht in die Haken des Balkens eingehängt werden. ν ist ein kleines gläsernes Gegengewicht, gleichfalls an einem Seidenfaden aufgehängt und auf dem Balken verschiebbar. Die Beobachtungen wurden in zwei um 180° um die Vertikale gegeneinander verdrehten Positionen der Platten π gemacht.

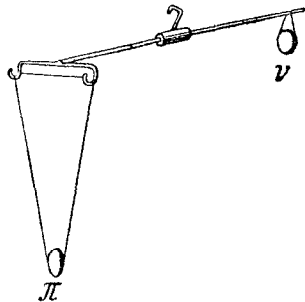


Fig. 3.

Kontrollbeobachtungen gaben die Gewähr, daß der Wachskitt keine Störungen ausübte, die 1—2' überstiegen, und daß keine direkte Einwirkung des Magneten auf den Balken der Drehwaage stattfand.

Das spezifische Drehungsmoment D des Quarzfadens wurde nach dem Gaußschen Verfahren der Schwingungsdauern bestimmt, wobei zwei leichte Aluminiumgewichte m sukzessive in zwei verschiedenen Abständen l_1 und l_2 von der Drehachse auf den Balken der Drehachse gehängt waren. Die Gewichte betrugen 0,3828 g, die Abstände 2,64 und 5,31 cm, die dabei beobachteten Perioden τ_1 und τ_2 waren 33,89 und 49,43 sec; hieraus findet sich gemäß der Formel

$$D = 8 \pi^2 m \frac{l_1^2 - l_2^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2}$$

für D der Wert

$$D = 0,495_6 \text{ cm g sec.}$$

Der Hebelarm h , an dem die Feldwirkung die Kristallplatte angriff, war wegen der etwas gerundeten Form der Aufhängungshäkchen (Fig. 3) nicht völlig konstant und wurde bei jeder Messung direkt bestimmt. Er betrug rund 6,1 cm.

Die Beobachtungen fanden in dem Glaskasten statt, der bei den Plückerschen Magneten die Polschuhe einschließt. Die erhebliche Größe dieses Raumes gab zu Luftströmungen Veranlassung, die anfänglich die Beobachtungen sehr störten, sich aber durch eine teilweise Ausfüllung des Raumes durch geeignete Papierschirme ziemlich unschädlich machen ließen.

Immerhin dürften die stattfindenden Abweichungen zwischen den Beobachtungen derselben Reihe in der Hauptsache noch auf der Wirkung dieser Störungen beruhen.

Der Glaskasten war oben durch eine nur aufgelegte Spiegelglasscheibe verschlossen, in der das Glasrohr befestigt war, welches den Torsionskopf trug; die ganze Drehwage war in dieser Weise horizontal verschiebbar und es gelang so ohne Schwierigkeit, in jedem einzelnen Falle die untersuchte Kristallplatte in die Äquatorialebene des Feldes und an eine bestimmte Stelle des Radiusvektor zu bringen. Wegen des Maximum- bzw. Minimumcharakters dieser Ebene und der benutzten Orientierungen der Kristallplatten haben übrigens kleine Fehler in der Lage der Platten, soweit nur der Radiusvektor s genau den richtigen Wert hat, sehr geringen Einfluß; die Größe von s ließ sich aber auf die p. 498 beschriebene Weise zuverlässig bestimmen, zumal durch Umkehren der Aufhängung nach p. 501 auch eine etwaige Umsymmetrie der Form oder Massenverteilung eliminiert wurde.

Da die Wirkung des Feldes auf den Kristall vom *Quadrat* der Feldstärke abhängt, so war das nach einfacher Unterbrechung des magnetisierenden Stromes zurückbleibende schwache Feld von kaum merklicher Wirkung. Immerhin wurde auch diese noch reduziert, indem die Entmagnetisierung durch wiederholtes Umkehren des Stromes bei allmählich abgeschwächter Intensität bewirkt wurde.

Die Ordnung der Beobachtungen war schließlich diese. Bei nicht erregtem Magneten wurde die Kristall- oder Glasplatte an eine bestimmte (von Fall zu Fall wesentlich konstante) Stelle der Äquatorebene des Feldes gebracht und die dieser Lage entsprechende Stellung des Torsionskopfes notiert; darauf wurde das Feld erregt und die Platte durch Drehung des Torsionskopfes an die alte Stelle zurückgeführt. Bei stark paramagnetischen Objekten gelang dies nur dadurch, daß das

Feld *allmählich* von Null auf die gewünschte Höhe gebracht und die Platte dabei andauernd in der Nähe der Ruhelage gehalten wurde. Es beruhte dies offenbar darauf, daß das Gleichgewicht dieser Körper an der betreffenden Stelle nur sehr geringe Stabilität hatte und die Platten bei merklichen Elongationen sich nach einer anderen Gleichgewichtslage zu bewegen suchten. War die Gleichgewichtslage ganz oder nahezu erreicht, so wurde durch wiederholtes Kommutieren des Magnetstromes festgestellt, daß eine Remanenzwirkung von merklicher Stärke im Kristall nicht auftrat.

Nach Ablesung des Torsionskopfes fand allmähliche Entmagnetisierung statt und daran anschließend erneute Einstellung des Präparates in der alten Position mit Ablesung am Torsionskopf. Diese Folge von Beobachtungen wurde bei jeder Substanz zwei- oder dreimal wiederholt, darauf die Platte um 180° um die Vertikale gedreht und wie zuvor verfahren.

Im folgenden ist bei jeder Substanz angegeben: die Masse m des Präparates, seine Dichte¹⁾ δ , sein Radius r , ferner die Abweichung $s - s_0$ des Mittelpunktes von der Stellung, auf die als Anfangspunkt sich die Interpolationsformel (6) bezog. Dann folgen unter α und β die Drehungen am Torsionskopf bei Erregung und Aufhebung des Feldes je mit dem entsprechenden Hebelarm h der Drehwage.

Für die Verwertung dieser Messungen ist Formel (4) heranzuziehen, in der S_h durch $D \varphi_h / h$ zu ersetzen ist. Ferner kürzen wir die Magnetisierungszahlen $k_h - k_0$ relativ zur umgebenden Luft in κ_h ab und haben dann

$$D \varphi_h / h = \frac{1}{2} v \kappa_h \frac{d R^2}{d s}, \quad \text{wobei } v \delta = m.$$

$\kappa_h / \delta = \kappa'_h$ stellt die auf die *Masseneinheit*, wie κ_h die auf die *Volumeneinheit* bezogene Magnetisierungszahl dar; positive Werte bezeichnen Para-, negative Diamagnetismus.

1) Diese Dichten sind nicht extra beobachtet, sondern Tabellen zumeist den Landolt-Börnsteinschen) entnommen. Für die Anwendungen dürfte eine etwaige Ungenauigkeit von δ eine wesentliche Schwierigkeit nicht bieten.

Einige Jenenser Gläser und Opal.

Schweres Bariumsilikatkrön O 211.

(Enthält neben rund 50 Proz. SiO_2 viel BaO , weniger ZnO und K_2O .)

$$m = 0,0456_5, \quad \delta = 3,21, \quad r = 0,274, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha)$ 37° 24'	$\beta)$ 37° 12'
37 22	37 17
$h = 6,12$ 37 25	$h = 6,13$ 37 31
37 19	37 36
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 37^\circ 22'$	$\varphi_\beta = 37^\circ 24'$
$\kappa' = -3,74_1 \cdot 10^{-7}$	$\kappa = -12,0 \cdot 10^{-7}$

Krön mit hoher Dispersion O 381.

(Enthält neben rund 66 Proz. SiO_2 viel Na_2O und BaO .)

$$m = 0,0411_5, \quad \delta = 2,70, \quad r = 0,274, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha)$ 35° 3'	$\beta)$ 35° 32'
35 6	34 45
$h = 6,12$ 35 2	$h = 6,12$ 34 49
35 4	35 16
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 35^\circ 4'$	$\varphi_\beta = 35^\circ 5'$
$\kappa' = -3,86_4 \cdot 10^{-7}$	$\kappa = -10,4 \cdot 10^{-7}$

Baryt-Leichtflint O 543.

(Enthält bei rund 50 Proz. SiO_2 unter sich nahe gleiche Mengen von K_2O , ZnO , PbO , aber mehr BaO .)

$$m = 0,0367_5, \quad \delta = 3,11, \quad r = 0,274, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha)$ 32° 46'	$\beta)$ 32° 35'
32 29	32 17
$h = 6,13$ 32 27	$h = 6,13$ 32 27
32 15	32 24
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 32^\circ 29'$	$\varphi_\beta = 32^\circ 26'$
$\kappa' = -4,02_3 \cdot 10^{-7}$	$\kappa = -12,5 \cdot 10^{-7}$

Schwerstes Barytkrön O 2071.

(Der Gehalt an BaO überwiegt erheblich den an SiO_2 , der rund 33 Proz. beträgt.)

$$m = 0,0497_5, \quad \delta = 3,54, \quad r = 0,274, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha)$ 39° 46'	$\beta)$ 40° 2'
39 39	39 5
$h = 6,15$ 39 46	$h = 6,15$ 40 9
39 44	39 39
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 39^\circ 44'$	40 8
	39 20
	<hr/>
	$\varphi_\beta = 39^\circ 44'$
$\kappa' = -3,65_1 \cdot 10^{-7}$	$\kappa = -12,9 \cdot 10^{-7}$

Schweres Flintglas O 198.

(Enthält nahezu dreimal soviel PbO als SiO₂.)

$$m = 0,0600, \quad \delta = 4,99, \quad r = 0,274, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha)$ 30° 29' 30 32 $h = 6,12$ 30 34 30 31 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 30^\circ 32'$ $\kappa' = -2,32 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -11,6 \cdot 10^{-7}.$	$\beta)$ 30° 37' 30 27 $h = 6,12$ 30 23 30 31 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 30^\circ 30'$
--	--

Borsilikat-Kron O 144.

(Enthält neben rund 70 Proz. SiO₂ viel K₂O, weniger B₂O₃ und Na₂O.)

$$m = 0,0684, \quad \delta = 2,47, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha)$ 55° 50' 55 42 $h = 6,13$ 55 42 55 30 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 55^\circ 41'$ $\kappa' = -3,71 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -9,16 \cdot 10^{-7}.$	$\beta)$ 55° 45' 55 7 $h = 6,13$ 55 39 55 24 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 55^\circ 29'$
--	---

Obwohl nach Zusammensetzung sehr verschieden, haben die beobachteten Glassorten doch einander sehr naheliegende Magnetisierungszahlen κ .

Opal.

$$m = 0,0429, \quad \delta = 2,1, \quad r = 0,264, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha)$ 46° 10' 46 15 $h = 6,13$ 46 15 45 22 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 46^\circ 16'$ $\kappa' = -4,87 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -10,23 \cdot 10^{-7}.$	$\beta)$ 45° 58' 45 42 $h = 6,12$ 45 51 45 39 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 45^\circ 48'$
---	--

Reguläre Kristalle.

Steinsalz.

$$m = 0,0626, \quad \delta = 2,167, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha)$ 51° 52' $h = 6,13$ 51 51 51 49 51 39 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 51^\circ 48'$ $\kappa' = -3,76 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -8,16 \cdot 10^{-7}.$	$\beta)$ 51° 30' $h = 6,13$ 51 38 <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 51^\circ 34'$
--	--

Alaun.

$$m = 0,0371, \quad \delta = 1,75, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 47^\circ 23'$ $\quad \quad 47 \quad 18$ $h = 6,14 \quad 47 \quad 13$ $\quad \quad 47 \quad 0$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 47^\circ 14'$	$\beta) \quad 47^\circ 32'$ $\quad \quad 47 \quad 0$ $h = 6,14 \quad 47 \quad 20$ $\quad \quad 47 \quad 10$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 47^\circ 16'$
$\kappa' = -5,79 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -10,1_4 \cdot 10^{-7}.$	

Bleinitrat.

$$m = 0,1055, \quad \delta = 4,4, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 57^\circ 32'$ $\quad \quad 57 \quad 35$ $h = 6,12 \quad 57 \quad 38$ $\quad \quad 57 \quad 31$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 57^\circ 34'$	$\beta) \quad 59^\circ 0'$ $\quad \quad 56 \quad 30$ $h = 6,12 \quad 57 \quad 15$ $\quad \quad 57 \quad 4$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 56^\circ 57'$
$\kappa' = -2,48 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -10,9_3 \cdot 10^{-7}.$	

Flußspat (farblos, vom Brienzer See).

$$m = 0,0453, \quad \delta = 3,18, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 62^\circ 11'$ $\quad \quad 62 \quad 21$ $h = 6,11 \quad 62 \quad 3$ $\quad \quad 62 \quad 6$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 62^\circ 10'$	$\beta) \quad 62^\circ 9'$ $\quad \quad 61 \quad 58$ $h = 6,10 \quad 61 \quad 59$ $\quad \quad 61 \quad 44$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 61^\circ 59'$
$\kappa' = -6,27 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -20,0 \cdot 10^{-7}.$	

Bleiglanz.

$$m = 0,1963, \quad \delta = 7,50, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 150^\circ 43'$ $h = 6,12 \quad 150 \quad 31$ $\quad \quad 150 \quad 23$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 150^\circ 30'$	$\beta) \quad 150^\circ 40'$ $h = 6,11 \quad 150 \quad 28$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 150^\circ 34'$
$\kappa' = -3,50 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = -26,3 \cdot 10^{-7}.$	

Pyrit (aus Cornwallis).

$$m = 0,1078, \quad \delta = 5,05, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha)$ 159° 0'	$\beta)$ 156° 17'
159 2	156 17
$h = 6,13$ 158 27	$h = 6,13$ 156 17
158 25	156 33
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 158^\circ 44'$	$\varphi_\beta = 156^\circ 21'$
$\kappa' = + 6,66 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = 33,6_5 \cdot 10^{-7}.$	

Zinkblende (von Santander, ganz hellgelb gefärbt).

$$m = 0,0735, \quad \delta = 4,0, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha)$ 42° 22'	$\beta)$ 42° 24'
41 53	41 46
$h = 6,13$ 42 33	$h = 6,13$ 42 9
42 8	41 52
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 42^\circ 14'$	$\varphi_\beta = 42^\circ 3'$
$\kappa' = - 2,61 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa = - 10,4_6 \cdot 10^{-7}.$	

Magnetisch-einachsige Kristalle.

Die Hauptachse ist durch den Index 3 charakterisiert.

Kalkspat.

$R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,0623_6, \quad \delta = 2,714, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha)$ 55° 30'	$\beta)$ 55° 29'
55 25	55 27
$h = 6,13$ 55 24	$h = 6,13$ 55 27
55 31	55 28
55 35	55 28
55 22	55 32
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 55^\circ 28'$	$\varphi_\beta = 55^\circ 28,5'$
$\kappa'_3 = - 4,05_6 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = - 11,01 \cdot 10^{-7}.$	

$R \perp$ der Achse.

$$m = 0,0677_4, \quad \delta = 2,714, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha)$ 54° 6'	$\beta)$ 54° 0'
53 41	53 54
$h = 6,12$ 53 58	$h = 6,12$ 54 3
53 46	54 2
54 0	53 55
53 52	54 0
<hr/>	<hr/>
$\varphi_\alpha = 53^\circ 54'$	$\varphi_\beta = 53^\circ 59'$
$\kappa'_1 = - 3,63_7 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = - 9,87 \cdot 10^{-7}.$	

Hieraus

$$\alpha_3 - \alpha_1 = -1,14 \cdot 10^{-7}, \quad \alpha_1 : \alpha_3 = 0,89,$$

erstere Zahl (zufällig) in vollständiger Übereinstimmung mit dem Resultate Königs, letztere ziemlich nahe demjenigen Tyndalls.

Dolomit (farblos, von Traversella).

$R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,0550, \quad \delta = 2,90, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003$$

$\alpha) \quad 145^\circ 30'$ $\quad \quad 145 \quad 30$ $h = 6,11 \quad 145 \quad 20$ $\quad \quad 145 \quad 50$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 145^\circ 32,5'$ $\alpha_3' = +12,0_8 \cdot 10^{-7}, \quad \alpha_3 = +34,9_7 \cdot 10^{-7}.$	$\beta) \quad 144^\circ 13'$ $\quad \quad 144 \quad 23$ $h = 6,11 \quad 144 \quad 32$ $\quad \quad 144 \quad 45$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 144^\circ 28,5'$
--	--

$R \perp$ der Achse.

$$m = 0,0583, \quad \delta = 2,90, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003$$

$\alpha) \quad 100^\circ 2'$ $\quad \quad 100 \quad 10$ $h = 6,11 \quad 99 \quad 46$ $\quad \quad 99 \quad 30$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 99^\circ 52'$	$\beta) \quad 98^\circ 50'$ $\quad \quad 98 \quad 0$ $h = 6,11 \quad 99 \quad 0$ $\quad \quad 98 \quad 5$ $\quad \quad 98 \quad 42$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 98^\circ 31'$
--	---

$$\alpha_1' = +7,87_7 \cdot 10^{-7}, \quad \alpha_1 = +22,5_8 \cdot 10^{-7}.$$

Hieraus

$$\alpha_3 - \alpha_1 = +12,3_9 \cdot 10^{-7}, \quad \alpha_1 : \alpha_3 = 0,64_5.$$

Der starke Paramagnetismus des Dolomit steht in einem auffallenden Gegensatz zu dem Diamagnetismus des Kalkspat und kann vielleicht als bequemes Unterscheidungsmerkmal dienen.

Quarz.

$R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,0746, \quad \delta = 2,65, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003$$

$\alpha) \quad 76^\circ 37'$ $\quad \quad 76 \quad 28$ $h = 6,15 \quad 76 \quad 28$ $\quad \quad 76 \quad 29$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 76^\circ 30,5'$ $\alpha_3' = -4,66 \cdot 10^{-7}, \quad \alpha_3 = -12,3_5 \cdot 10^{-7}.$	$\beta) \quad 76^\circ 34'$ $\quad \quad 76 \quad 21$ $h = 6,15 \quad 76 \quad 20$ $\quad \quad 76 \quad 24$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 76^\circ 25'$
---	---

$R \perp$ der Achse.

$$m = 0,0717, \quad \delta = 2,65, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003$$

$\alpha)$	$72^\circ 27'$	$\beta)$	$72^\circ 34'$
	72 35		72 20
$h = 6,13$	72 33	$h = 6,12$	72 26
	72 36		72 16
<hr/>		<hr/>	
	$\varphi_\alpha = 72^\circ 33'$		$\varphi_\beta = 72^\circ 24'$
$\kappa_1' = -4,61_4 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = -12,2_3 \cdot 10^{-7}$			

Hieraus

$$\kappa_3 - \kappa_1 = -0,12 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 / \kappa_3 = 0,990.$$

Der gefundene Unterschied zwischen κ_1 und κ_3 ist so klein, daß er durch die benutzte Methode nur unsicher bestimmbar ist.

Beryll (hellgrün vom Ural) ¹⁾. $R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,0653, \quad \delta = 2,7, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha)$	$56^\circ 0'$	$\beta)$	$55^\circ 5'$	$\alpha)$	$54^\circ 28'$
	56 47		55 32		54 30
$h = 6,14$	55 59	$h = 6,13$	55 0	$h = 6,13$	54 45
	56 52		55 23		54 18
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
	$\varphi_\alpha = 56^\circ 24,5'$		$\varphi_\beta = 55^\circ 15'$		53 48
					54 0
				<hr/>	
				$\varphi_\alpha = 54^\circ 18'$	
$\kappa_3' = +3,86 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = +10,4_3 \cdot 10^{-7}$					

 $R \perp$ der Achse.

$$m = 0,0642, \quad \delta = 2,7, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha)$	$116^\circ 55'$	$\beta)$	$116^\circ 19'$	$\alpha)$	$115^\circ 25'$
	117 5		116 45		115 55
$h = 6,13$	116 15	$h = 6,13$	116 15		
	116 25		116 40		$\varphi_\alpha = 115^\circ 40'$
<hr/>		<hr/>			
	$\varphi_\alpha = 116^\circ 40'$		$\varphi_\beta = 116^\circ 30'$		

$$\kappa_1' = +8,26_5 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = +22,3 \cdot 10^{-7}.$$

Hieraus

$$\kappa_1 - \kappa_3 = 11,8_9 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 / \kappa_1 = 0,468.$$

Der große Unterschied zwischen den magnetischen Erregbarkeiten parallel und normal zur Achse ist sehr bemerkenswert.

1) Derselbe, der zu den Elastizitätsbeobachtungen von Voigt gedient hatte; vgl. Wied. Ann. 31. p. 485. 1887.

Rutil.

 $R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,1014, \quad \delta = 4,24, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,008$$

$\alpha) \quad 466^\circ 17'$ $\quad \quad 466 \quad 25$ $h = 6,13 \quad 464 \quad 25$ $\quad \quad 464 \quad 30$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 465^\circ 30'$	$\beta) \quad 464^\circ 20'$ $\quad \quad 465 \quad 10$ $h = 6,12 \quad 463 \quad 10$ $\quad \quad 463 \quad 30$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 464^\circ 25'$
--	--

$$\kappa_3' = +20,9 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = +88,9 \cdot 10^{-7}.$$

 $R \perp$ der Achse.

$$m = 0,1020, \quad \delta = 4,25, \quad r = 0,275, \quad s = s_0 = -0,008$$

$\alpha) \quad 439^\circ 10'$ $\quad \quad 438 \quad 50$ $h = 6,13 \quad 439 \quad 40$ $\quad \quad 439 \quad 25$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 439^\circ 16'$	$\beta) \quad 437^\circ 25'$ $\quad \quad 437 \quad 50$ $h = 6,12 \quad 437 \quad 5$ $\quad \quad 437 \quad 9$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 437^\circ 22'$
--	--

$$\kappa_1' = +19,6 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = +83,3 \cdot 10^{-7}.$$

Hieraus

$$\kappa_3 - \kappa_1 = +5,6 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 / \kappa_3 = 0,937.$$

Die absoluten Werte der Magnetisierungszahlen sind bei diesem Material außerordentlich groß.

Turmalin (ganz leicht grünlich gefärbt, aus Brasilien).

 $R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,0809, \quad \delta = 3,10, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha) \quad 132^\circ 58'$ $h = 6,13 \quad 132 \quad 30$ $\quad \quad 132 \quad 50$ $\quad \quad 133 \quad 3$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 132^\circ 50'$	$\beta) \quad 132^\circ 30'$ $h = 6,13 \quad 132 \quad 18$ $\quad \quad 132 \quad 50$ $\quad \quad 133 \quad 3$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 132^\circ 24'$
---	---

$$\kappa_3' = +7,48 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = +23,2 \cdot 10^{-7}.$$

 $R \perp$ der Achse.

$$m = 0,0793, \quad \delta = 3,10, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha) \quad 193^\circ 23'$ $\quad \quad 194 \quad 50$ $h = 6,12 \quad 194 \quad 47$ $\quad \quad 195 \quad 45$ $\quad \quad 194 \quad 35$ $\quad \quad 194 \quad 15$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 194^\circ 34'$	$\beta) \quad 193^\circ 55'$ $\quad \quad 193 \quad 55$ $h = 6,12 \quad 193 \quad 8$ $\quad \quad 193 \quad 8$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 193^\circ 34'$
--	--

$$\kappa_1' = +11,18 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = +34,7 \cdot 10^{-7}.$$

Hieraus

$$\kappa_1 - \kappa_3 = 11,5 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 / \kappa_1 = 0,92_8.$$

Die Präparate \parallel und \perp zur Achse zeigten, obwohl denselben Kristall entnommen, einen etwas verschiedenen Farbenton; ersteres war mehr rötlich, letzteres mehr bläulich gefärbt.

Apatit (farblos, aus Tirol).

$R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,0656, \quad \delta = 3,20, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha) \quad 38^\circ 7'$ $37 \quad 50$ $h = 6,13 \quad 37 \quad 51$ $37 \quad 49$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 37^\circ 54'$ $\kappa_3' = -2,64 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = -8,45 \cdot 10^{-7}.$	$\beta) \quad 38^\circ 4'$ $37 \quad 57$ $h = 6,13 \quad 38 \quad 1$ $38 \quad 7$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 38^\circ 22'$
--	--

$R \perp$ der Achse.

$$m = 0,0748, \quad \delta = 3,20, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002$$

$\alpha) \quad 43^\circ 36'$ $43 \quad 16$ $h = 6,13 \quad 43 \quad 28$ $43 \quad 22$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\alpha = 43^\circ 26'$ $\kappa_1' = -2,64 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = -8,45 \cdot 10^{-7}.$	$\beta) \quad 43^\circ 13'$ $43 \quad 10$ $h = 6,13 \quad 43 \quad 20$ $43 \quad 15$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\varphi_\beta = 43^\circ 15'$
---	---

Eine magnetische Verschiedenheit der Richtungen parallel und normal zur Hauptachse ist also bei Apatit innerhalb der erreichbaren Genauigkeit der Methode nicht nachweisbar.

Zirkon.

(Der braunrot gefärbte Kristall zeigte zahlreiche Sprünge, innerhalb deren vielleicht fremde Substanz eingeschlossen war; wenigstens entwickelten sich beim Kochen der Präparate mit Salzsäure aus den Spalten zahlreiche Gasblasen. Die benutzten Präparate, besonders das zweite, zeigten unter mehreren angefertigten diese Erscheinung noch am wenigsten und sind deshalb vielleicht am reinsten, immerhin sind die Resultate verdächtig. Die unreineren Präparate verhielten sich kräftig paramagnetisch. Die Zahlen sind wenig sicher).

$R \parallel$ der Achse.

$$m = 0,1095, \quad \delta = 4,6, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha) \quad 176^\circ 10'$ $\quad \quad 176 \quad 20$ $h = 6,13 \quad 176 \quad 20$ $\quad \quad 176 \quad 39$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 176^\circ 22'$	$\beta) \quad 175^\circ 3'$ $\quad \quad 175 \quad 30$ $h = 6,13 \quad 175 \quad 5$ $\quad \quad 176 \quad 6$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 175^\circ 26'$
---	--

$$\kappa_3' = +7,32 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = +33,7 \cdot 10^{-7}.$$

 $R \perp$ der Achse.

$$m = 0,1179, \quad \delta = 4,6, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha) \quad 44^\circ 7'$ $\quad \quad 43 \quad 46$ $h = 6,12 \quad 44 \quad 1$ $\quad \quad 44 \quad 0$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 43^\circ 59'$

$$\kappa_1' = -1,70 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = -7,84 \cdot 10^{-7}.$$

Kristalle mit drei magnetischen Achsen.

Topas (farblos, aus Japan).

 $R \parallel$ der α -Achse.

$$m = 0,0952, \quad \delta = 3,5, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 85^\circ 45'$ $\quad \quad 85 \quad 26$ $h = 6,10 \quad 85 \quad 53$ $\quad \quad 85 \quad 40$ $\quad \quad 85 \quad 34$ $\quad \quad 85 \quad 31$ $\quad \quad 85 \quad 32$ $\quad \quad 85 \quad 25$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 85^\circ 38'$	$\beta) \quad 85^\circ 30'$ $\quad \quad 85 \quad 7$ $h = 6,11 \quad 85 \quad 16$ $\quad \quad 84 \quad 49$ $\quad \quad 85 \quad 16$ $\quad \quad 85 \quad 12$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 85^\circ 12'$	$\alpha) \quad 85^\circ 40'$ $\quad \quad 85 \quad 12$ $h = 6,11 \quad 85 \quad 34$ $\quad \quad 85 \quad 20$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 85^\circ 26'$
--	---	--

$$\kappa_1' = -4,10 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_2 = -14,38 \cdot 10^{-7}.$$

 $R \parallel$ der b -Achse.

$$m = 0,0905, \quad \delta = 3,5, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 83^\circ 16'$ $\quad \quad 83 \quad 4$ $h = 6,10 \quad 82 \quad 46$ $\quad \quad 82 \quad 49$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 82^\circ 59'$	$\beta) \quad 83^\circ 0'$ $\quad \quad 82 \quad 48$ $h = 6,11 \quad 82 \quad 45$ $\quad \quad 82 \quad 44$ $\quad \quad 82 \quad 45$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 82^\circ 48'$	$\alpha) \quad 83^\circ 33'$ $\quad \quad 83 \quad 26$ $h = 6,11 \quad 83 \quad 25$ $\quad \quad 83 \quad 22$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\alpha = 83^\circ 27'$	$\beta) \quad 82^\circ 59$ $\quad \quad 83 \quad 1$ $h = 6,11 \quad 82 \quad 43$ $\quad \quad 82 \quad 35$ $\quad \quad 82 \quad 53$ $\quad \quad 82 \quad 48$ <hr style="width: 100%;"/> $\varphi_\beta = 82^\circ 50$
---	--	--	---

$$\kappa_2' = -4,20 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_2 = -14,71 \cdot 10^{-7}.$$

$R \parallel$ der c -Achse.

$$m = 0,0871, \quad \delta = 3,5, \quad r = 0,275 \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 80^\circ 20'$	$\beta) \quad 80^\circ 40'$	$\alpha) \quad 79^\circ 42'$
80 4	80 7	79 43
$h = 6,10 \quad 80 \quad 5$	$h = 6,11 \quad 80 \quad 28$	$h = 6,11 \quad 79 \quad 50$
<u>80 3</u>	<u>80 8</u>	<u>79 3</u>
$\varphi_\alpha = 80^\circ 8'$	$\varphi_\beta = 80^\circ 21'$	$\varphi_\alpha = 79^\circ 44'$
$\kappa_3' = -4,20 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = -14,7_0 \cdot 10^{-7}.$		

Die Unterschiede der drei κ_h sind kaum merklich.

Coelestin (fast farblos).

 $R \parallel$ der a -Achse.

$$m = 0,0991, \quad \delta = 3,96, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -3,002.$$

$\alpha) \quad 74^\circ 10'$	$\beta) \quad 74^\circ 40'$	
74 17	74 25	
$h = 6,14 \quad 74 \quad 15$	$h = 6,14 \quad 74 \quad 23$	
<u>74 18</u>	<u>74 22</u>	
$\varphi_\alpha = 74^\circ 15'$	$\varphi_\beta = 74^\circ 30'$	
$\kappa_3' = -3,42 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = -13,5_3 \cdot 10^{-7}.$		

 $R \parallel$ der b -Achse.

$$m = 0,0997, \quad \delta = 3,96, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 68^\circ 46'$	$\beta) \quad 68^\circ 59'$	
68 43	69 2	
$h = 6,15 \quad 68 \quad 45$	$h = 6,15 \quad 68 \quad 54$	
<u>69 2</u>	<u>69 11</u>	
$\varphi_\alpha = 68^\circ 49'$	$\varphi_\beta = 69^\circ 1'$	
$\kappa_2' = -3,14 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_2 = -12,4_5 \cdot 10^{-7}.$		

 $R \parallel$ der c -Achse.

$$m = 0,1035, \quad \delta = 3,96, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,002.$$

$\alpha) \quad 81^\circ 5'$	$\beta) \quad 81^\circ 21'$	
81 9	81 21	
$h = 6,13 \quad 81 \quad 9$	$h = 6,13 \quad 81 \quad 28$	
<u>81 21</u>	<u>81 27</u>	
$\varphi_\alpha = 81^\circ 11'$	$\varphi_\beta = 81^\circ 24'$	
$\kappa_3' = -3,59 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = -14,2_1 \cdot 10^{-7}.$		

Auch hier sind die Unterschiede zwischen den drei Hauptmagnetisierungszahlen ziemlich klein.

Aragonit (aus Böhmen, ganz hellgelb).

 $R \parallel$ der a -Achse.

$$m = 0,0807, \quad \delta = 2,936, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha) \quad 69^\circ 36'$ $\quad \quad 69 \quad 0$ $h = 6,13 \quad 69 \quad 21$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\quad \quad 69 \quad 9$ $\varphi_\alpha = 69^\circ 17'$	$\beta) \quad 69^\circ 20'$ $\quad \quad 69 \quad 20$ $h = 6,13 \quad 69 \quad 20$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\quad \quad 69 \quad 21$ $\varphi_\beta = 69^\circ 20'$
$\kappa_1' = -3,92 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_1 = -11,5_0 \cdot 10^{-7}.$	

 $R \parallel$ der b -Achse.

$$m = 0,0788, \quad \delta = 2,936, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha) \quad 67^\circ 0'$ $\quad \quad 67 \quad 3$ $h = 6,14 \quad 67 \quad 20$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\quad \quad 66 \quad 52$ $\varphi_\alpha = 67^\circ 4'$	$\beta) \quad 67^\circ 15'$ $\quad \quad 66 \quad 59$ $h = 6,16 \quad 67 \quad 32$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\quad \quad 66 \quad 43$ $\varphi_\beta = 67^\circ 7'$
$\kappa_2' = -3,87 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_2 = -11,3_8 \cdot 10^{-7}.$	

 $R \parallel$ der c -Achse.

$$m = 0,0537, \quad \delta = 2,96, \quad r = 0,275, \quad s - s_0 = -0,003.$$

$\alpha) \quad 52^\circ 13'$ $\quad \quad 52 \quad 16$ $h = 6,12 \quad 52 \quad 21$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\quad \quad 52 \quad 5$ $\varphi_\alpha = 52^\circ 14'$	$\beta) \quad 52^\circ 12'$ $\quad \quad 52 \quad 7$ $h = 6,12 \quad 52 \quad 10$ <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> $\quad \quad 52 \quad 3$ $\varphi_\beta = 52^\circ 8'$
$\kappa_3' = -4,44 \cdot 10^{-7}, \quad \kappa_3 = -13,0_4 \cdot 10^{-7}.$	

Der dritte Wert κ weicht von den beiden vorhergehenden sehr merklich ab.

Göttingen, im März 1907.

(Eingegangen 30. September 1907.)