

Zur Messung der Doppelbrechung hauptsächlich mit Hilfe des Polarisationsmikroskops.

Von M. Berek in Wetzlar.

Mit 7 Textfiguren.

(Fortsetzung.)

3. Beschreibung des Kompensators und seines Gebrauches.

Die mechanische Konstruktion des drehbaren Kalkspatkompensators ist sehr einfach (Fig. 1). Die senkrecht zur optischen Achse geschnittene Kalkspatplatte von ca. 0,1 mm Dicke sitzt an einer drehbaren Achse, in einem der üblichen Gips- und Glimmerfassung ähnlichen Messingschieber. Durch eine seitliche Feder wird der Schieber fest gegen die Wände des Tubusschlitzes über dem Mikroskopobjektiv angedrückt. Um die Ablesegenauigkeit zu erhöhen wird die Drehung des Kompensatorblättchens mit Hilfe einer Übersetzung auf eine Trommel übertragen, mit welcher der Drehknopf

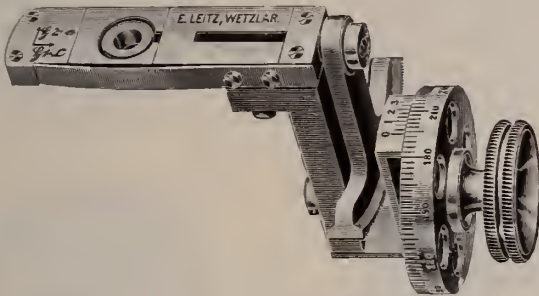


Fig. 1. Drehbarer Kalkspatkompensator.

fest verbunden ist. Für das Übersetzungsverhältnis wurde genau 1:10 gewählt. Toter Gang ist nicht bemerkbar. Die Trommel ist von 3 zu 3⁰ geteilt; mit Hilfe eines neunteiligen Nonius sind 20' ablesbar, so daß die Neigung der Kompensatorplatte bis auf 2' bestimmt werden kann.

Bei der gewählten Dicke des Kompensatorblättchens beträgt der Meßbereich nach jeder Seite von der Null-Stellung aus ca. 4 Ordnungen. Das Blättchen ist leicht answechselbar; denn es sitzt in einer besonderen Metallfassung, die in den an der Drehachse des Instruments befestigten Ring eingesteckt werden kann.

Die Drehachse des Kompensators muß diagonal zu den Polarisationsrichtungen der Nicols liegen. Wenn diese von Süd nach Nord bzw. von Westen nach Osten verlaufen, so muß also der Tubusschlitz, wie es bei den neueren Stativen von E. LEITZ in Wetzlar durchgängig ausgeführt wird, eine nordwest-

südöstliche Orientierung besitzen. Andernfalls sind die Nicols um 45° zu drehen. Fig. 2¹ zeigt das Gesichtsfeld des Mikroskops bei eingeschaltetem Kompensator und richtiger Tubusschlitzlage in der Null-Stellung. Die geringe Aufhellung des Gesichtsfeldes durch die schwachgrauen Interferenztöne der ersten Ordnung stört so wenig, daß man zumeist auch die gewöhnliche Durchmusterung des Dünnschliffs bei stets eingeschaltetem Kompensator ausführen kann.



Fig. 2. Gesichtsfeld des Mikroskops bei eingeschaltetem Kompensator in der Null-Stellung.

Für den Kompensator liegt die Polarisationssebene \mathfrak{H}_1 der schnelleren Welle oder nach der anderen üblichen Bezeichnungsweise die Schwingungsrichtung der Lichtbewegung mit kleinster Geschwindigkeit $\gamma = c = k$ parallel der Kompensatorachse. Der Kristall, dessen Doppelbrechung bestimmt werden soll, liegt mithin in der Subtraktions-Lage in bezug auf den Kompensator, wenn die Polarisationssebene \mathfrak{H}_2 der langsameren Welle bzw. die Schwingungsrichtung der Lichtbewegung mit größter Geschwindigkeit

bestimmt werden soll, liegt mithin in der Subtraktions-Lage in bezug auf den Kompensator, wenn die Polarisationssebene \mathfrak{H}_2 der langsameren Welle bzw. die Schwingungsrichtung der Lichtbewegung mit größter Geschwindigkeit

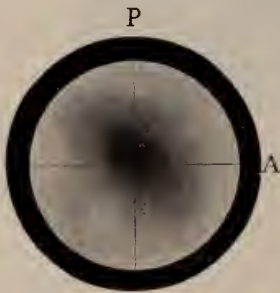


Fig. 3.

Einstellung auf Kompensation bei einem Gangunterschied von ca. $\frac{\lambda^2}{4}$.

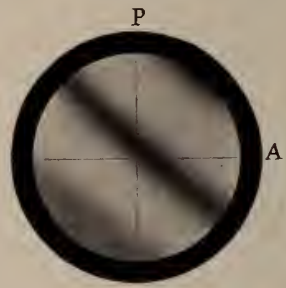


Fig. 4.

Einstellung auf Kompensation bei einem Gangunterschied von ca. 2λ .

keit $\alpha = a = g$ in dem zu untersuchenden Kristallblättchen parallel zum Tubusschlitz orientiert ist. Das ist also in zwei der vier möglichen Diagonalstellungen. Dann tritt beim Drehen des Kompensators nach beiden Seiten hin Kompensation ein. Daß im Gegensatz

¹ Die Fig. 2—6 sind sämtlich verkleinert und im weißen Licht photographiert.

² Die Kristallplatte (Glimmerblättchen) ist in den Fig. 3—6 nicht sichtbar, weil sie das Gesichtsfeld ausfüllt und strukturlos ist.

zu den Keil-Kompensatoren die Punkte gleichen Gangunterschiedes nicht auf einer Geraden, sondern auf einer Kurve liegen, ist belanglos, da für die Einstellung nur das Zusammenfallen eines Punktes des Kompensationsstreifens mit dem Schnittpunkt der Okularfäden des Mikroskops maßgebend ist (Fig. 3 und 4). Weil die Polarisationsrichtungen in allen Punkten eines Kompensationsstreifens nicht parallel zueinander, sondern radial bzw. tangential angeordnet sind, so besitzen die Kompensationsstreifen dann nicht zur Mitte des Gesichtsfeldes symmetrische Intensität, sobald die zu untersuchende Kristallplatte nicht genau in der Diagonalstellung sich befindet (Fig. 5 und 6). Bei kleineren Gangunterschieden wandert dann der Kompensationspunkt nicht

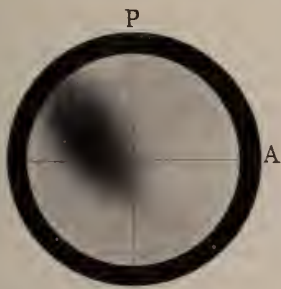


Fig. 5.

Die Kristallplatte steht nicht genau in der Diagonalstellung.
Gangunterschied ca. $\frac{1}{4} \lambda$.

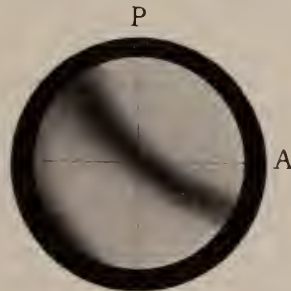


Fig. 6.

Die Stellung der Kristallplatte ist noch nicht ganz fehlerfrei.
Gangunterschied ca. 1λ .

genau durch den Schnittpunkt der Fäden. Daher kann die Anwendung des Kompensators selbst als empfindliches Hilfsmittel dienen, die Kristallplatte genau diagonal in der Subtraktionslage zu orientieren. Beim Kompensator nach BABINET ist dagegen eine ungenaue Lage der Platte nicht so leicht erkennbar, vielmehr bewirkt sie eine parallele Verschiebung des Kompensationsstreifens nach längeren oder kleineren Gangunterschieden, so daß das Messungsergebnis dadurch beeinträchtigt wird (vergl. p. 388).

Treten schon bei leerem Apparat die Farbringe nicht ganz symmetrisch ins Gesichtsfeld ein, so ist das Kompensatorblättchen in seiner Ringfassung selbst etwas zu drehen.

Starke Lichtintensität und entsprechend geringe Beleuchtungs-Apertur sind die besten Bedingungen für genaue Einstellung der Kompensationsstreifen. Da die kompensierenden Streifen durch große Beweglichkeit ausgezeichnet sind, so stellt man wie beim LANDOLT'schen Streifen am besten während der Bewegung des Streifens ein. Die Empfindlichkeit der

Einstellung des Kompensationsstreifens in bezug auf den Schnittpunkt der Okularfäden ist innerhalb des gesamten Meßbereichs nahezu die gleiche. Aus einer großen Anzahl von Einstellungen bei verschiedenen Gangunterschieden ergab sich im einfarbigen Licht im Mittel für den mittleren Fehler einer Trommeleinstellung $48'$, so daß also bei einer Einstellung die Lage der Kompensatorplatte mit einem mittleren Fehler von $4,8'$ bestimmbar ist.

Die Ermittlung des Neigungswinkels i erfolgt am besten, wie p. 393 erwähnt, durch Einstellung bei Links- und Rechtsdrehung des Kompensators auf beide Streifen. Ist die hierbei abgelesene Trommeldrehung w , so ist die gesuchte Neigung des Kompensatorblättchens

$$i = \frac{w}{20} \quad (20)$$

Dieser Winkel i kommt dann für die Berechnung von $f(i)$ nach 16 und des Gangunterschiedes nach 13 in Betracht. Um jedoch dem Arbeitenden auch diese Berechnung noch zu ersparen, wird von den optischen Werken E. LEITZ in Wetzlar dem Kompensator eine logarithmische Tafel beigegeben. Diese enthält gleich $\log. f(i)$ für jede Trommeldrehung w zwischen 0° und 600° in Intervallen von $20'$ zu $20'$, unter Berücksichtigung aller Glieder in 15 berechnet. Auch die Kompensatorkonstante $f(J)$ wird bereits im Werk bestimmt. Der dem zugehörigen Kompensator eigentümliche $\log \frac{1}{f(J)}$ ist für verschiedene einfarbige Lichtarten, sowie für den konventionellen optischen Schwerpunkt weißen Lichts am Kopf der Tabelle angegeben, so daß nur beide Logarithmen addiert zu werden brauchen. Der Numerus davon, im zweiten Teil der Tafel aufgeschlagen, gibt dann den gesuchten Wert x in der Gleichung $\Gamma = x \lambda$.

Folgendes Beispiel erläutert die Bestimmung eines Gangunterschiedes: Für eine gemessene Trommeldrehung $w = 62^\circ 40'$ entnimmt man direkt der Tabelle den Wert

$$\log F(w) = 7,4756 \quad (= \log f(i))$$

$$\log \frac{1}{f(J)} = 1,1752 \quad (\text{steht am Kopf der Tab.})$$

$$\log x = 8,6508$$

$$\Gamma = 0,045 \lambda$$

$$\text{oder für } \lambda = 589 \mu\mu : \Gamma = 26 \mu\mu.$$

Bei intensiver Beleuchtung im weißen Licht führen schon geringe Gangunterschiede von $3 \mu\mu$ eine deutlich erkennbare und meßbare Anflösung des Kreuzes herbei.

In der Null-Lage ist der Kompensator ferner als empfindliches Stauroskop zur Bestimmung der Auslöschungsrichtungen benutzbar. Er ist hierbei ein zuverlässigeres Hilfsmittel als die vielfach

verwandten Platten nach M. LAURENT, L. CALDERON, H. TRAUBE, A. BRAVAIS u. a. Die Empfindlichkeit der Drehquarz-Halbschattenvorrichtungen im einfarbigen Licht erreicht er jedoch nicht. Doch wird eine so große Empfindlichkeit in vielen Fällen nicht begehrt und ist reell auch nur unter ganz besonderen Vorsichtsmaßregeln zu erreichen¹, die zu treffen es dem arbeitenden Petrographen meist an Zeit fehlen dürfte.

Der Kompensator ist ferner ohne weiteres zur Bestimmung des optischen Charakters benutzbar und ersetzt sowohl Gips- wie auch Glimmerblättchen. δ_1 bzw. $\gamma = c = k$ im Kompensator liegt parallel zur Schlitzrichtung, δ_2 bzw. $\alpha = a = g$ also senkrecht zur Drehachse.

Bei der Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung im konvergenten Licht geht man von der Null-Lage des Kompensators aus, während sich die Kristallplatte in der Normalstellung befindet. Durch beiderseitiges Drehen der Trommel kann man die Änderungen im betrachteten Achsenbild des Minerals bis zum Auftreten der schwarzen Punkte in zwei Quadranten allmählich bewirken und somit die Verringerung bzw. Vergrößerung der Gangunterschiede besser erkennen. Infolge des negativen Charakters des Kalkspats gilt dieselbe Merkgregel für + und - wie beim Viertelundulations-Glimmerblättchen, wenn man die Verbindungslinie der auftretenden schwarzen Punkte mit der Richtung der Kompensatordrehachse (Tubusschlit) vergleicht.

Bei der Ermittlung des Charakters der Schwingungsrichtungen im parallelen Licht geht man von der Auslöschungsstellung der zu untersuchenden Kristallplatte aus. Dann dreht man den Kompensator, bis die empfindliche Farbe im Schnittpunkt der Okularfäden erscheint und beobachtet den Sinn, in welchem sich diese Interferenzfarbe beim Drehen der Kristallplatte ändert. Da man in der Lage ist, das Steigen oder Fallen der Interferenzfarbe während der Drehung des untersuchten Minerals auch an einer beliebigen anderen Stelle der Farbenskala zu prüfen, so ist diese Methode, auf der auch schon das drehbare Quarzblättchen von BIOT beruht, sicherer als viele der üblichen Verfahren.

4. Prüfung der Zuverlässigkeit des Kompensators durch Vergleichsmessungen.

Es wurde der Gangunterschied eines fein gespaltenen Glimmerblättchens und der 16 Stufen einer Glimmertreppe nach E. v. FEDOROW sowohl mit Hilfe eines Kompensators nach BABINET, als auch mit Hilfe des drehbaren Kalkspatkompensators für

¹ M. BERK, N. Jahrb. f. Min. etc. Beil.-B. XXXIII, p. 586. 1912.

das Licht der D-Linie bestimmt. Als Lichtquelle diente der neue speziell für mikroskopische Zwecke bestimmte kleine Monochromator der Firma E. LEITZ in Wetzlar¹ in Verbindung mit einer Liliput-Bogenlampe. Um auch ganz geringe Gangunterschiede auf ihre Meßbarkeit hin zu prüfen, benützte ich noch eine $\frac{1}{2}$ cm dicke, in einen kleinen Schraubstock gespannte Glasplatte, in der ich durch geringes Anziehen der Stockschraube Spannungsdoppelbrechung in verschiedener Größe erzeugte. Um diese äußerst geringen Gangunterschiede gut meßbar zu machen, wandte ich das unzerlegte weiße Licht der Liliput-Bogenlampe und geringe Beleuchtungs-Apertur an. Bei so kleinen Gangunterschieden kommt es auch auf die genaue Definition der Wellenlänge gar nicht mehr an.

Für den Kompensator nach BABINET ergab sich als mittlerer Fehler einer Einstellung eines beliebigen Kom-

Tabelle 2.

Vergleichsmessungen verschiedener Gangunterschiede mit den Kompensatoren nach BABINET und BERK.

Gegenstand	Kompensator nach				Trommel- drehung w	
	BABINET		BERK			
	Γ°	mf ₁	Γ	mf ₁		
Gepreßte Glasplatte .	nicht meßbar		$\mu\mu$ 3,9	$\pm 0,5$	24° 20'	
desgl.	nicht meßbar		5,3	$\pm 0,6$	28 20	
desgl.	18,1 $\mu\mu$	$\pm 3,9$	16,8	$\pm 1,1$	49 40	
Spaltungsplatte von Glimmer	25,3	$\pm 4,0 \mu\mu$	26,3	1,2	62 40	
Glimmertreppe nach E. v. FEDOROW	Stufe 1.	134,3	4,3	135,0	3,0	141 40
	" 2.	266,2	4,5	265,5	4,1	199 20
	" 3.	402,5	—	399,4	—	244 40
	" 4.	533	—	530	—	282 0
	" 5.	670	5,4	663	7,7	315 40
	" 6.	799	—	796	—	346 20
	" 7.	937	—	931	—	375 0
	" 8.	1066	—	1064	—	401 20
	" 9.	1202	—	1195	—	426 0
	" 10.	1338	7,3	1335	9,0	450 40
	" 11.	1466	—	1461	—	472 0
	" 12.	1610	—	1604	—	494 0
	" 13.	1746	8,8	1734	11,2	515 20
	" 14.	—	—	1868	—	535 40
	" 15.	—	—	2004	—	555 20
	" 16.	—	—	2145	12,4	575 20

¹ Die Beschreibung dieses Monochromators erfolgt in Zeitschr. f. Instr. 1913.

pensationsstreifens, in Trommelteilen gemessen, $\delta n = \pm 3,9$. Die Kompensatorkonstante war im Mittel $N = 578,9$. Aus $\Gamma = x \lambda = \frac{n}{N} \lambda$ folgt für den mittleren Fehler einer Bestimmung von x :

$$\delta x = x \delta n \left\{ \frac{1}{n} + \frac{1}{m N} \right\}, \quad (21)$$

worin N mit Hilfe der beiden Streifen als ermittelt gedacht ist, für die $\Gamma = m \lambda$ ist. Um den Einfluß dieses Fehlers möglichst klein zu machen, wurde in der Fehlerrechnung der größtmögliche Wert $m = 3$ eingesetzt.

Die gemessenen Gangunterschiede und die berechneten Fehler sind in Tab. 2 zusammengestellt. Jede Zahl ist der Mittelwert aus 10 Einstellungen. Der Fehler der Mittelwerte ist also angenähert gleich dem 3. Teil des angegebenen Fehlers einer Einstellung. Den Fehler in der Kenntnis von λ ließ ich unberücksichtigt, da es sich nur um Vergleichsmessungen handelt; ich setzte $\lambda = 589 \mu\mu$. Daher gelten 21 und 23 auch unmittelbar, wenn man darin x durch Γ ersetzt.

Für den drehbaren Kalkspatkompensator wurde zunächst ebenfalls die Kompensatorkonstante $f(J)$ bestimmt. Um einen Anhalt für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieser Bestimmung zu erhalten, ermittelte ich $f(J)$ für alle auftretenden Streifen bei parallelen wie gekreuzten Nicols zugleich mit und ohne Berücksichtigung der Korrektionsglieder. Tab. 3

Tabelle 3.

Bestimmung der Kompensatorkonstante $f(J)$ für das Licht der D-Linie mit Hilfe sämtlicher zwischen parallelen und gekreuzten Polarisationsprismen auftretenden Interferenzstreifen.

Γ	Trommeldrehung $w = 20i$	$f(J)$ berechnet nach 15 bezw. 18		
		ohne	mit einem	mit zwei
		Korrektionsgliedern		
$\frac{1}{2} \lambda$	209° 40'	0,0662	0,0667	0,0667
1	296 20	54	63	63
$1\frac{1}{2}$	365 40	56	69	70
2	422 40	50	67	68
$2\frac{1}{2}$	474 0	46	68	69
3	519 40	40	65	67
$3\frac{1}{2}$	563 40	37	66	69
4	605 40	36	69	72
$4\frac{1}{2}$	643 40	30	67	71
Mittel		0,0646	0,0667	0,0668

$$\log \frac{1}{f(J)} = 1,1752.$$

enthält das Resultat dieser Bestimmungen. Da der mittlere Fehler einer Bestimmung von i nach p. 430 48' und mit großer Annäherung $\delta f(J) = \sin 2i \cdot \delta i$ ist, so folgt für $\Gamma = 1 \lambda$ für den mittleren Fehler von $f(J)$ bei einer Bestimmung $m f_1 = \pm 0,0007$ und für den Mittelwert aus 10 Einstellungen $m f_{10} = \pm 0,0002$. Wir sehen in Tab. 3, daß bereits bei Benutzung nur des ersten Korrektionsgliedes (also der Gleichung 16), die Werte für $f(J)$ schon innerhalb der Fehlergrenzen übereinstimmen. Die Einführung des zweiten Korrektionsgliedes führt praktisch eine Verbesserung des Resultates nicht mehr herbei.

Für die Fehlerrechnung der gemessenen Gangunterschiede folgt aus 13):

$$\delta x = x \left(\frac{\delta f(i)}{f(i)} + \frac{\delta f(J)}{f(J)} \right) \quad 22)$$

worin wir, um einen direkten Vergleich mit dem Kompensator nach BABINET zu erzielen, $m = 3$ setzen. In erster Annäherung erhalten wir, da $\delta i = \delta J$ ist:

$$\delta x = 2x \left\{ \cotg i + \frac{1}{m} \cotg J \right\} \delta i \quad 23)$$

worin nach p. 393 wieder x durch Γ ersetzt werden kann. Nach Tab. 3 und p. 430 ist

$$J = \frac{296^\circ 30'}{20} = 14^\circ 17'; \delta i = 4,8'.$$

Die mit den beiden Kompensatoren ermittelten Werte der Tab. 2 stimmen innerhalb der berechneten Fehlergrenzen vollkommen überein.

Der drehbare Kalkspatkompensator ist mithin ein mindestens ebenso zuverlässiges Meßinstrument wie der Kompensator nach BABINET. Für kleine Gangunterschiede ist die erreichbare Genauigkeit erheblich größer, für hohe Gangunterschiede nur wenig kleiner als die des Kompensators nach BABINET.

Es ist von Interesse, die Genauigkeit unseres Kompensators mit derjenigen zu vergleichen, die H. SCHULZ bei seinen Untersuchungen über die Doppelbrechung gekühlter Gläser mit seinem Apparat erzielt hat. Aus der Mitteilung von H. SCHULZ¹, daß der mittlere Fehler bei drei Einstellungen $\pm 0,009$ mm Keilverschiebung beträgt, folgern wir für eine Einstellung $\pm 0,0156$ mm, oder da die Kompensatorkonstante für die angewandte Lichtart 6,727 mm war, $m f_1 = \pm 0,0023 \lambda$. Die Kompensatorkonstante selbst war außerdem mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,005$ behaftet. Wir führen mit Hilfe dieser Werte die Fehlerrechnung für einige Daten des Glases O 118 von SCHOTT u. Gen. durch, das in der von H. SCHULZ

¹ H. SCHULZ, Phys. Zeitschr. 13. p. 1023. 1912.

angegebenen Tabelle¹ den geringsten bestimmten Doppelbrechungsbetrag aufweist. Es ergeben sich so folgende Werte:

Versuchsstück	Γ	mf_1
67	5,3 $\mu\mu$	$\pm 1,3 \mu\mu$
66	12,9	1,3
31	32	1,3
30	85	1,4
29 a	323	1,6
28	584	1,7.

Der Vergleich mit Tab. 2 ergibt, daß der drehbare Kalkspatkompensator für ganz kleine Gangunterschiede bei Anwendung intensiver Beleuchtung denselben Genauigkeitsgrad besitzt wie der BABINET'sche Kompensator mit den LUMMER'schen Doppelringen. An die Empfindlichkeit des Glimmerokulars nach J. KÖNIGSBERGER² dagegen reicht der Kalkspatkompensator in der Erkennbarkeit geringster Spuren von Doppelbrechung nicht heran. Doch dürfte die Feststellung von so geringen Gangunterschieden (in der Größenordnung von $10^{-4} \lambda$) meistens nicht mehr das Ziel der Petrographen sein, da oft Objektträger und Kittschicht höhere Werte an Spannungsdoppelbrechung aufweisen. (Schluß folgt.)

Zur Benennung der alpinen Ueberschiebungsdecken.

Von Otto Wilckens in Jena..

Durch den oft etwas willkürlichen Gebrauch der Bezeichnungen herrscht eine gewisse Verwirrung in der Benennung der alpinen Überschiebungsdecken. Bei den lepontinischen ist die Mannigfaltigkeit der Namen am größten, viel geringer bei den ostalpinen und vollends bei den helvetischen.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die Grenzbestimmung für das zwischen dem helvetischen und ostalpinen gelegene lepontinische Deckensystem Schwierigkeiten macht³. Die nördlich des Rhonetales wurzelnde Decke der inneren Voralpen ist z. B. als Übergang zu den helvetischen Decken aufgefaßt, die Stellung der Radstätter Decke war strittig. TERMIER⁴ hat als Begrenzung die Glanzschieferdecke als tiefste lepontinische, die der Silvretta als tiefste ostalpine angegeben. Er erkennt selbst an, daß diese Grenzbestimmung auf tektonischer Basis sich praktisch noch schwer

¹ H. SCHULZ, Phys. Zeitschr. 13. p. 1025. 1912.

² J. KÖNIGSBERGER, dies. Centralbl. 1908. p. 729; 1909. p. 249, 746.

³ E. SUESS, der die drei genannten „Decken 1. Ordnung“ ausgedehnt hat („Das Inntal bei Nauders“, Sitzber. Ak. d. Wiss. Wien, Math.-nat. Kl. 114. Abt. I. p. 703–709), gibt keine genauen Grenzen an.

⁴ Geologische Rundschau. 4. p. 43–44.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: [1913](#)

Autor(en)/Author(s): Berek M.

Artikel/Article: [Zur Messung der Doppelbrechung hauptsächlich mit Hilfe des Polarisationsmikroskops. \(Fortsetzung.\) 427-435](#)