

I. Zur Optik des Arsenkieses im sichtbaren Spektrum.

Vergleichende Messungen mit dem Spaltnikrophotometer nach
BEREK und einer neuen Doppelphotozellenmethode.

Von

David Malmqvist.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite.
Einleitung	I
Untersuchungsmaterial	2
Untersuchungsmethodik	3
a. Messungen mit dem Spaltnikrophotometer	4
b. Beschreibung der Doppelphotozellenmethode	4
c. Messgenauigkeit. Vergleich zwischen den beiden Messverfahren	9
d. Verwendete Eichbasen	10
Reflexionsvermögen von Arsenkies in Luft und Öl	14
Brechungsindizes, Absorptionsindizes und komplexe Indikatrix von Arsenkies	16
Fehlerberechnungen	21
Zusammenfassung	25
Literaturverzeichnis	25

Einleitung.

Nachdem die Grundlagen der quantitativen Reflexionsbestimmungen im Mikroskop dank der grundlegenden Untersuchungen von M. BEREK (1, 2) jetzt in ihren Hauptzügen ziemlich klar sind, hat man mit ihrer Hilfe hauptsächlich die Reflexionen der wichtigsten Erzminerale bestimmt. Man wollte so überhaupt einen Begriff von den Grössenordnungen ihrer Reflexionswerte erhalten. Ein Hauptziel dabei ist zu untersuchen, ob die Differenzierung der Reflexionen gross genug ist, um überhaupt die Reflexion als ein diagnostisches Hilfsmittel bei der Unterscheidung der Erze verwenden zu können.

Es muss aber weiterhin auch der Wunsch entstehen, für die anisotropen Erzminerale die Grössenordnung der Reflexionsanisotropie näher zu

erkennen. Hierbei kommt wohl vorläufig nicht so sehr die diagnostische Verwendbarkeit in Frage, als vielmehr die physikalisch-optischen Konstanten an sich, obwohl diese natürlich viel dazu beitragen können, viele Erscheinungen, denen man bei der Erzmikroskopie begegnet, in einer sicheren Weise zu erklären.

Während unter den einachsigen Opakmineralen die vollständige Optik innerhalb des sichtbaren Spektrums schon bei einigen relativ bekannt ist (Eisenglanz, Rotnickelkies und auch Molybdänglanz, Kupferindig und Rutil aus den Arbeiten von C. FÖRSTERLING (8), J. KÖNIGSBERGER (11), W. FABER (7), P. RAMDOHR und H. EHRENBERG (13)), kennen wir bis jetzt nur ein zweiachsiges Mineral, nämlich den Antimonglanz, dessen Optik in eindeutiger, vollständiger Weise durch die Messungen von E. C. MÜLLER (12) und besonders von A. CISSARZ (4, 5) bestimmt worden ist. Als es vor kurzem M. BERÉK (3) gelang, die Lösung der Optik von beliebig stark absorbierenden Kristallen rhombischer Symmetrie zu finden, lagen schon die theoretischen Grundlagen vor, aus den Reflexionsmessungen die Optik solcher Minerale bestimmen zu können, obwohl noch solche Berechnungen aus den Messdaten, wie wir unten sehen werden, an einer gewissen Unsicherheit leiden.

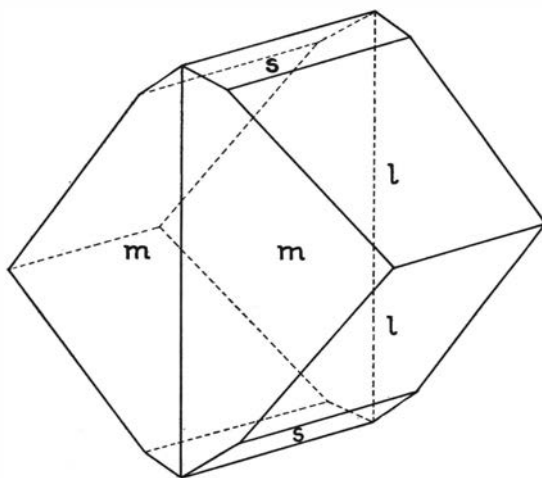
Während der Antimonglanz ein relativ schwach lichtabsorbierendes Mineral darstellt, habe ich versucht, die Optik des bedeutend stärker absorbierenden Arsenkieses zu bestimmen. Ich beabsichtige, die Untersuchungen von mehreren Mineralen der Markasitgruppe fortzusetzen.

Bei meiner Arbeit hat mich mein Lehrer, Herr Prof. H. G. BACKLUND in Uppsala, in jeder Weise unterstützt. Auch hatte ich den grossen Vorteil, in dem Institut von Herrn Prof. H. SCHNEIDERHÖHN, Freiburg i. Br., arbeiten zu dürfen; er hat mir grosses Entgegenkommen gezeigt. Mit Herrn Prof. A. CISSARZ, Freiburg i. Br., habe ich über viele von den in Frage kommenden Problemen diskutiert und viele Anregungen dabei erhalten. Ich nehme die Gelegenheit hiermit wahr, den genannten Herren, die meine Arbeit gefördert haben, herzlichst zu danken.

Untersuchungsmaterial.

Der Arsenkies, dessen Reflexion bestimmt wurde, stammt von der Grube V. Silfberg in Dalecarlien, Schweden. Die schönen Kristalle dieses Fundortes sind von M. WEIBULL (14) näher beschrieben worden. Die Kristalle, die dem Mineralogisch-geologischen Institut in Uppsala mit der Sammlungsnummer 72/4 angehören, haben die Flächen m (110), l (011) und s (012) entwickelt und zeigen einen Habitus auf, der aus der Figur 1 hervorgeht. Oft fehlt die Fläche s (012). Ein Kristall wurde senkrecht zu den a -, b - und c -Axen geschliffen und poliert. Nach einer Kontrollmessung

auf dem Goniometer konnte festgestellt werden, dass die geschliffenen Flächen mit weniger als 1° von den gewünschten Richtungen abwichen.



Figur 1.
Kristallform des Arsenkieses von V. Silfberg.

Untersuchungsmethodik.

Die Bestimmungen der Reflexion sind nach zwei Methoden ausgeführt worden: Erstens mit dem Spaltnikrophotometer nach M. BEREK (1), auf dessen Beschreibung in der Originalarbeit ich hinweise. Zweitens mit einer Anordnung, die ich hiernach als die Doppelphotozellenmethode bezeichnen werde.

Bei den beiden Methoden wurden die mittleren Reflexionen R_h^{1-2} in dem Polarisationsazimut $\chi = \frac{\pi}{4}$ auf jeder der drei geschliffenen Flächen bestimmt. Die Bestimmungen der drei Hauptbireflexionen $\mathcal{A}R_h$ erfolgten nach dem Verfahren von BEREK mit den Polarisationsazimuten $\chi = 0$ und $\chi = \frac{\pi}{2}$, und in jeder Polarisatorlage wurden die Messungen in den Objektazimuten $\delta = 0, \frac{\pi}{2}, 2 \frac{\pi}{2}$ und $3 \frac{\pi}{2}$ durchgeführt.

Die Bestimmung der optischen Konstanten erfordert die Messungen von R_h^{1-2} und $\mathcal{A}R_h$ auf wenigstens zwei Flächen parallel zu zwei einander senkrecht gelegenen Hauptschnittebenen. Der Kontrolle wegen wurden aber auch die Messungen in der dritten Hauptschnittebene ausgeführt.

a. Messungen mit dem Spaltnikrophotometer.

Um hinreichende Genauigkeit zu erzielen, war es notwendig, bei den Messungen mit dem Spaltnikrophotometer in jeder Objektazimutlage wenigstens 20 Einstellungen zu machen. Das heisst, um $\mathcal{A}R_h$ auf einer Fläche zu bestimmen, müssen 80 Einstellungen in jeder der Polarisatorlagen $\chi=0$ und $\chi=\frac{\pi}{2}$ oder zusammen 160 Einstellungen gemacht werden. Die Bestimmung von $\mathcal{A}R_h$ auf den drei Flächen erfordert 480 Einstellungen nur für eine Farbe. Die Bestimmung von $\mathcal{A}R_h$ in drei Teilen des Spektrums auf den drei Flächen in Luft und in Öl erfordert folglich nicht weniger als 2880 Einstellungen. Daneben müssen in ähnlicher Weise für die Bestimmung von R_h^{1-2} 480 Einstellungen gemacht werden.

Die vollständige Ausmessung des Kristalls ist deswegen nach dieser Methode sehr zeitraubend; eine solche Messerie beansprucht wenigstens acht Arbeitstage, da es wegen der grösseren Unsicherheit bei Ermüdungserscheinungen des Auges nicht ratsam ist, mehr als 400 Einstellungen an einem Tag zu machen.

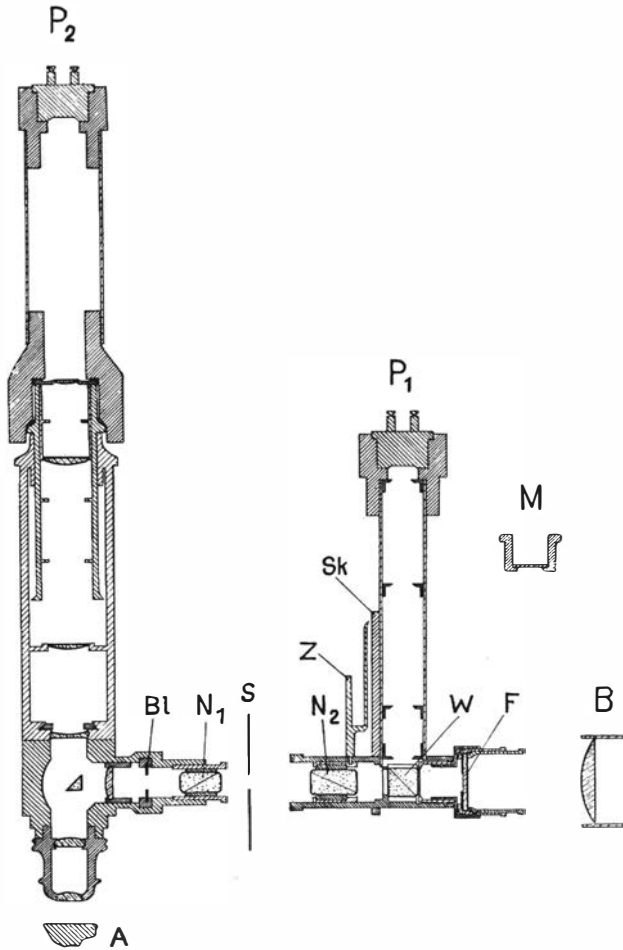
b. Beschreibung der Doppelphotozellenmethode.

Die sehr zeitraubende Ausmessung ist ein grosser Nachteil bei der Arbeit mit dem Spaltnikrophotometer. Es wurde deswegen versucht, eine andere Methodik zu finden, die für diesen Zweck schneller arbeiten könnte. Ich habe hierfür eine Anordnung mit zwei Sperrschichtphotozellen (Silberselenidzellen) gewählt. Obwohl die Apparatur vorerst noch recht provisorisch gebaut ist (besonders soll sowohl der optische Teil, als auch die Lichtquelle geändert werden), kann man mit ihr sehr gut arbeiten.

Figur 2 zeigt den optischen Teil der Messanordnung. Das Licht von einer LEITZ'schen Monlampe, die mit Akkumulatorenstrom gespeist wurde, geht ein wenig konvergent von der Beleuchtungslinse B durch den Lichtfilter F und wird durch den Teilwürfel W geteilt. Das eine Lichtbündel fällt auf die Photozelle P_1 , während das andere durch die Nicols N_2-N_1 und den Spalt S in das Auflichtmikroskop hineinfällt. Das Lichtbündel wird von dem Prisma und dem Präparat A reflektiert und fällt nach Durchgang durch den Mikroskoptubus auf die Photozelle P_2 . Wie bei der Messung mit dem Spaltnikrophotometer wird die Irisblende im Opakilluminator mittels der Kollimatorlinse und des Mikroskopobjektivs sowohl auf der Anschlifffläche, als auch auf der lichtempfindlichen Schicht der Sperrschichtzelle abgebildet. Diese Einstellung wird so durchgeführt, dass die Photozelle P_2 durch eine Hülse M , deren äussere Begrenzung der der Photozelle entspricht, ausgetauscht wird. Die Hülse ist mit einer Mattscheibe versehen,

die sich genau in derselben Höhenlage wie die lichtempfindliche Schicht befindet. Durch Heben und Senken des Mikroskoptubus kann das Bild der Irisblende auf der Mattscheibe eingestellt werden.

Die elektrische Schaltung der beiden Photozellen geht aus der Figur 3 hervor. Der Stromkreis mit der Photozelle P_1 ist über einen Widerstand



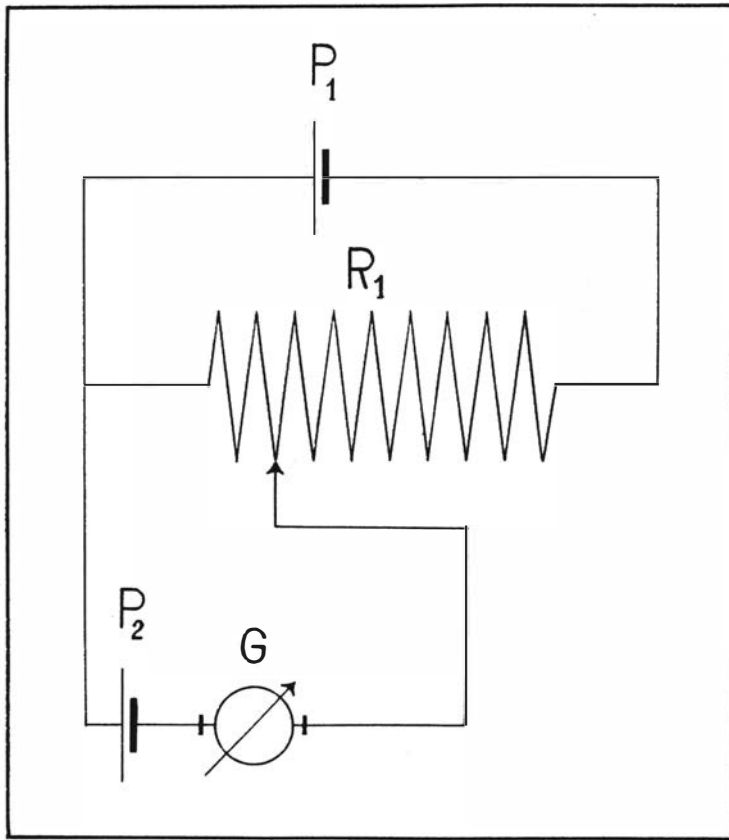
Figur 2.

Optischer Teil der Messanordnung der Doppelphotozellenmethode.

R eines Potentiometers von ungefähr 5000Ω geschaltet. Die Photozelle P_2 des Mikroskops ist zu dem regulierbaren Teil des Potentiometers über ein Galvanometer G geschaltet. Das benutzte Galvanometer von SIEMENS u. HALSKE hat einen inneren Widerstand von ca 370Ω und eine Empfindlichkeit von $0,9 \times 10^{-9}$ Amp. pro Skalenteil.

Bei der Messung wird die Eichbasis zuerst auf den Objektisch gelegt und diese auf das Präparat eingestellt. Das Potentiometer wird jetzt so

geregelt, dass das Galvanometer keinen Ausschlag mehr gibt und auf der Nullage steht. Danach wird das Präparat des zu bestimmenden Minerals unter das Mikroskop gelegt und dieses wird richtig eingestellt. Wenn das Mineral ein anderes Reflexionsvermögen hat, schlägt das Galvanometer von der Nullage aus und die Intensität des in das Mikroskop eintretenden Lichtes wird durch Drehen des Nicols N_2 so geregelt, dass das Galvano-



Figur 3.

Elektrische Schaltung der Kompensationsvorrichtung bei der Doppelphotozellenmethode.

meter wieder auf der Nullage stehen bleibt. Der Drehwinkel des Nicols wird auf der Skala S_k abgelesen. Das Verhältnis zwischen dem auf die beiden Photozellen einfallenden Lichtintensitäten ist nach dieser letzten Einstellung auf die Nullage genau dasselbe wie bei der früheren Einstellung mit der Eichbasis. Die beiden Reflexionsvermögen sind umgekehrt proportional zu den in das Mikroskop eintretenden Lichtintensitäten, die andererseits umgekehrt proportional zu $\sin^2 \alpha$ sind, wobei $\alpha =$ dem Winkel der Nicoldrehung von der Nullage bei gekreuzten Nicols ist. Man hat also:

$$(1) \quad R = R_0 \cdot \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha_0}$$

wobei R = Reflexionsvermögen des zu bestimmenden Minerals

R_0 = » der Eichbasis.

α_0 = Winkel zwischen Nulllage (gekreuzter Nicols) und Nicolstellung bei der Einstellung auf die Eichbasis; sie wird im allgemeinen in der Nähe von 90° gewählt, da die Eichbasis das kleinste Reflexionsvermögen hat.

α = Winkel zwischen Nulllage und Nicolstellung bei der Einstellung auf das zu bestimmende Mineral.

Die Bedingung für die Stromlosigkeit des Galvanometers geht aus dem nachstehenden, leicht herzuleitenden Ausdruck hervor:

$$(2) \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{R + \rho_1}{a}$$

wobei E_1 = der Photospannung von P_1

E_2 = » » » P_2

ρ_1 = dem Widerstand von P_1

a = dem inneren Widerstand des zu dem Galvanometerkreis gehörenden Teils des Potentiometers.

Verändert sich die Intensität der Lichtquelle, werden selbstverständlich sich die Intensitäten der beiden geteilten Lichtstrahlen im selben Verhältnis verändern. Jetzt ist aber, wie B. LANGE (10) gezeigt hat, die Photospannung als eine gerade Funktion der Lichtintensität in die linke Seite des Ausdrucks (2) zu setzen¹, also

$$\frac{k \cdot E_1}{k \cdot E_2} = \frac{R + \rho_1}{a}$$

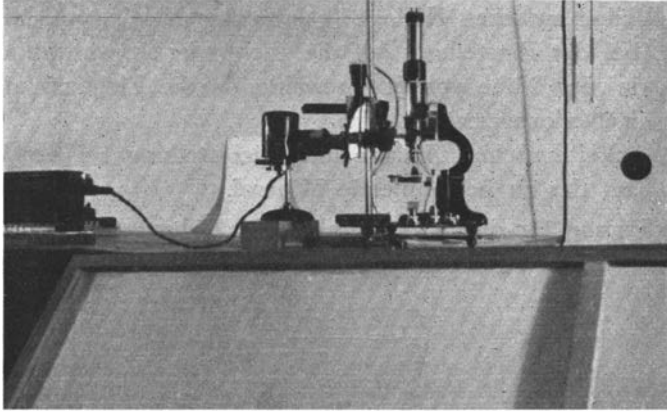
wobei k eine von der Intensitätsveränderung abhängige Konstante ist. Dies bedeutet, dass

die Nulleinstellung des Galvanometers von der Lichtstärke der Lichtquelle unabhängig ist.

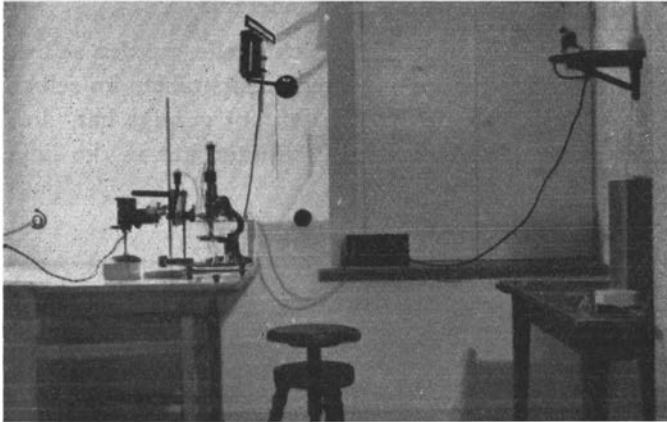
Prinzipiell ähnelt die Methodik derjenigen, die schon mit Alkalizellen von V. HALBAN und K. SIEDENTOPF (9) und anderen versucht worden ist, um von den Einflüssen der Veränderungen der Lichtquelle unabhängig zu werden.

¹ Eine Bedingung dieser Annahme ist natürlich noch, dass das Verhältnis Photospannung/Lichtintensität für die beiden Photozellen gleich gross ist, wovon man sich aber durch eine durchgreifende Veränderung der Lichtstärke der Lichtquelle bei einer Nulleinstellung überzeugen kann.

Gegenüber der Versuchsanordnung von RAMDOHR und EHRENBURG bietet deshalb die Methodik den Vorteil, dass die Unregelmässigkeit der Lichtquelle, die gerade bei jener Anordnung die grösste Fehlerquelle zu sein scheint, bei dieser keinen Einfluss hat. Aber auch andere Fehler-



Figur 4.
Apparatenaufstellung bei der Messung mit Doppelphotozellen. Optischer Teil.
Beide Photozellen aufgesetzt.



Figur 5.
Apparatenaufstellung bei der Messung mit Doppelphotozellen. Optischer Teil.
Eingebaute Kompensationsvorrichtung, Widerstand zur Regulierung der Empfindlichkeit des Galvanometers, Galvanometer nebst Skala.

quellen, wie das Auftreten von thermoelektrischen Spannungen und Kriechströmen innerhalb der Kompensationsvorrichtung, spielen bei dieser Schaltung keine grössere Rolle, wenn die Grössenordnung dieser Störungen während der Messung gleich gross ist.

Wegen des ein wenig polarisierten Zustandes des Lichtes beim Eintritt in Nicol N_2 ist der Ausdruck (1) nicht genau gültig. Es ist aber leicht eine

Korrektur hierfür einzuführen, was in einer anderen Arbeit über das Handhaben des Instrumentes näher erörtert werden soll.

c. Messgenauigkeit. Vergleich zwischen den beiden Messverfahren.

Bei der Beurteilung der Messgenauigkeit muss man scharf zwischen den zufälligen und den systematischen Fehlern unterscheiden. Die mittleren zufälligen Fehler, d.h., solche, die nach einer Einstellung auf das Präparat bei der Messung als eine Streuung der Werte sich zeigen, können bei den Messungen mit dem Spaltnikrophotometer nach 20 Einstellungen sehr wohl unter 0,2 % gebracht werden. Im grünen Licht können sie innerhalb einer solchen Messerie noch kleiner sein. Bei der Doppelphotozellenmethode liegen sogar meistens die Einzelmessungen innerhalb der angegebenen Grenze und es genügen deswegen 2 oder 3 Messungen bei einer Einstellung des Präparates.

Die systematischen Fehler dagegen sind bei den Versuchsanordnungen weit schwieriger zu überblicken. Sie geben sich unter anderem darin kund, dass die Messresultate bei zwei nacheinanderfolgenden Einstellungen von einander abweichen. Diese Abweichungen sind bedeutend grösser als die zufälligen Fehler und liegen manchmal zwischen 0,5—1 %. Sie waren tatsächlich ein wenig kleiner bei den Spaltnikrophotometermessungen, was wohl darauf beruhen dürfte, dass ich dabei eine bedeutend engere Spaltöffnung benützte. Weiter kann es ja darauf beruhen, dass die Messresultate von den Schliffkratzern, die ja in kleinerem Ausmasse immer vorkommen, bei den Messungen mit den Doppelphotozellen ein wenig beeinflusst worden sind.

In diesem Zusammenhang möchte ich die Einflüsse von Unregelmässigkeiten auf der Polierfläche etwas näher besprechen. Gegenüber den Photozellenmethoden, die das Reflexionsvermögen über ein verhältnismässig grosses Flächenstück integriert, hat die Spaltnikrophotometermethode den Vorzug, dass man die Messung auch auf einer sehr kleinen Fläche des Anschliffes ausführen kann. Handelt es sich um kleine Verwachsungen und Verdrängungen, oder sind auf dem zur Verfügung stehenden monomineralischen Flächenanteil nahegelegene Spaltausbrüche vorhanden, kann es wohl manchmal eintreffen, dass die Vermessung mit den Photozellenmethoden nicht durchführbar ist. Die letzten Methoden aber erfordern eigentlich keine besonders grössere, monomineralische Flächen, die auch bei den kleinsten Aperturen höchstens einige mm² betragen. Treten Schliffkratzer auf, ist man vielleicht geneigt, deren Einflüsse ein wenig zu überschätzen, weil sie bei Beobachtung ganz dunkel aussehen. Sie beeinträchtigen aber nur wenig die Reflexion. Das Reflexionsvermögen einer gemessenen Fläche, die 1 % Schliffkratzer enthält, wird dadurch nicht mit diesem Betrag, son-

dern mit einem weit geringeren heruntergesetzt.¹ Bei der Messung der Bireflexion, wobei an der Verstellung des Anschliffes in vier verschiedenen Objektazimutlagen immer dieselben Schliffkratzer auf der beleuchteten Fläche auftreten, spielen die Kratzer kaum eine Rolle. In meiner Erfahrung habe ich die Einflüsse von Schliffkratzern sehr geringfügig gefunden.

Die Doppelphotozellenmethode erfordert eine recht starke monochromatische Beleuchtung, da man mit nur halbgeöffnetem Spalt und einer sehr kleinen Öffnung der Irisblende arbeiten muss, um irgendeine wohldefinierte senkrechte Bestrahlung des Objektes zu bekommen. Die Belichtungsstärke der Monlampe war nicht gross genug, um mit dem Grünfilter eine hinreichende Genauigkeit zu erreichen. Die Genauigkeit ist nämlich eine Funktion der Belichtungsstärke. Mit einer anderen Beleuchtungsanordnung, z. B. mit einer Quecksilberlampe mit Filter, wird es aber gelingen, auch in anderen Teilen des Spektrums als im Rot und Gelb arbeiten zu können. Zu einer Erhöhung der Empfindlichkeit des Galvanometers, um diesen Nachteil zu überwinden, ist nicht zu raten, weil man dabei die elektrischen Störungen (thermoelektrische Spannungen und Kriechströme) mit in Rechnung nehmen muss.

d. Verwendete Eichbasen.

Als ich nach der Doppelphotozellenmethode in Uppsala arbeitete, bin ich von einem gut geschliffenen Diamant (Nr. 1/18 der Sammlung des Instituts, Fundort unbekannt) als Eichbasis ausgegangen. Von diesem aus habe ich wie EHRENBERG und RAMDOHR das Reflexionsvermögen einer Basisfläche eines Eisenglanzkrystalles von Malmberget (Nr. 152/575 der Sammlung) bestimmt und mit diesen Werten weiter gearbeitet. In Freiburg bin ich dagegen von der von A. CISSARZ (6) empfohlenen Spaltfläche der gelben Zinkblende von Santander ausgegangen. Die beiden Eichbasen sind für Messungen sowohl in Luft wie in Öl verwendet worden, obwohl die Extrapolationen bei den Messungen in Öl recht gross werden. Die Ausgangswerte sind in Tabelle I zusammengestellt.

Ich hatte nicht Gelegenheit, die beiden Eichbasen direkt zu vergleichen, konnte aber durch Messung desselben Eisenglanzkrystalles konstatieren, dass man ungefähr dieselben Werte bekommt, wenn man von Zinkblende oder von Diamant ausgeht. Die Übereinstimmungen sind in Luft ausgezeichnet, in Öl weniger gut. Die Werte scheinen besonders im gelben Teil des Spektrums ein wenig niedriger zu sein als diejenigen, die sich von den Brechungs- und Absorptionsindizes nach FÖRSTERLING (8) berech-

¹ Hierbei ist mehr an ziemlich grosse Kratzer gedacht. Die äusserst feinen Kratzer, die z. B. beim Verschleifen von Metallen entstehen können, nehmen manchmal einen grossen Anteil der Polierfläche ein und können das Reflexionsvermögen beträchtlich beeinflussen.

Tabelle I.
Ausgangswerte der Eichbasen.

	Diamant			Zinkblende von Santander, n. CISSARZ	
	n nach WÜLFING	R Luft	R' Öl	R Luft	R' Öl
<i>C</i>	2,4103	17,10	5,24	16,15	4,65
<i>D</i>	2,4175	17,20	5,26	16,49	4,82
<i>E</i>	2,4269	17,34	5,29	16,97	5,06

nen lassen (vgl. Tabelle II). Sie beziehen sich auf Eisenglanz verschiedener Fundorte. Im Gelb ist das Reflexionsvermögen aber auch niedriger als bei dem von EHRENBERG und RAMDOHR nur beiläufig erwähnten Wert¹ $R_{Na} = 27,8 \%$ von Eisenglanz desselben Fundortes.

Tabelle II.
Reflexionsvermögen von Eisenglanz.

	Eisenglanz von Kragerö. Geschl. Fläche. Berechn. nach d. Werten v. FÖRSTERLING (8)		Eisenglanz von Elba. Geschl. Fläche. Bestmt. von J. KÖNIGSBERGER (11)	Eisenglanz von Malmberget. Nat. Basisfläche. Best. mit dem Spaltnikrophotometer		Eisenglanz von Malmberget. Bestmt. mit der Doppelphotzellenmethode	
	R	R'	R	R	R'	R	R'
<i>Rot</i> , Opt. Schwerpunkt ca. die <i>C</i> -Linie 656 m μ				25,03	11,64	25,12	11,28
646 m μ			25,71				
631—640 m μ	25,94	11,62					
588—596 »	27,12	12,61					
<i>Orange</i> , Optische Schwerpunkt ca. <i>D</i> -Linie 589 m μ				26,15	12,89	26,25	12,59
563—569 m μ	28,32	13,63					
<i>Grün</i> , Opt. Schwerpunkt ca. <i>E</i> -Linie 527 m μ				28,70	15,34		
496 m μ	30,18	15,59					

¹ Trotzdem die erwähnten Verfasser scheinbar den Eisenglanz von Malmberget zum grössten Teil als Eichbasis verwendet haben, finde ich es sehr merkwürdig, dass sie nur diesen Ausgangswert angegeben haben.

Tabelle

Mittlere Reflexionen, Bireflexionen und uniradiale

	Rotes Licht Optischer Schwerpunkt ung. die C-Linie							Gelbes Optischer Schwerpunkt			
	Kristallographische Fläche	R_h^{1-2} u. ΔR_h mit dem Spaltmikrophoto- meter gemessen	R_h^{1-2} u. ΔR_h mit den Doppelphotzellen gemessen	Mittel	Ber. wahrscheinlichste Werte	Wahrscheinlichste Fehler	Fehlerquadrate	Kristallographische Fläche	R_h^{1-2} u. ΔR_h Spaltmikrophotometer	R_h^{1-2} u. ΔR_h Doppelphotzellen	
	Messungen										
$R_{\gamma-\beta}$	$c(001)$	50,27	50,79	50,53	50,39	-0,14	0,020	$a(100)$	51,45	51,13	
$R_{\gamma-\alpha}$	$a(100)$	50,21	50,49	50,35	50,31	-0,04	0,002	$c(001)$	50,95	51,22	
$R_{\beta-\alpha}$	$b(010)$	49,90	49,63	49,77	49,96	+0,19	0,036	$b(010)$	50,70	50,84	
$\Delta R_{\gamma-\beta}$	$c(001)$	0,69	0,80	0,74	0,70	+0,04	0,002	$a(100)$	0,65	0,29	
$\Delta R_{\gamma-\alpha}$	$a(100)$	0,86	0,78	0,82	0,86	-0,04	0,002	$c(001)$	1,07	1,00	
$\Delta R_{\beta-\alpha}$	$b(010)$	0,14	0,24	0,19	0,15	+0,04	0,002	$b(010)$	0,66	0,80	
R				50,22			Σ 0,064				
						Wahrsch. Fehler der Best.	0,11				
		$R_{\gamma} (\parallel b\text{-Axe}) = 50,74$ $R_{\beta} (\parallel a) = 50,04$ $R_{\alpha} (\parallel c) = 49,88$								$R_{\gamma} (\parallel b) = 51,55$ $R_{\beta} (\parallel c) =$	
Messungen											
$R_{\gamma-\beta}$	$c(001)$	38,61	38,46	38,53	38,25	-0,28	0,078	$a(100)$	39,69	39,58	
$R_{\gamma-\alpha}$	$a(100)$	38,24	37,89	37,90	38,00	+0,10	0,010	$c(001)$	39,56	39,79	
$R_{\beta-\alpha}$	$b(010)$	37,83	37,17	37,44	37,62	+0,18	0,032	$b(010)$	39,12	38,97	
$\Delta R_{\gamma-\beta}$	$c(001)$	0,75	0,79	0,77	0,76	+0,01	—	$a(100)$	0,11	0,23	
$\Delta R_{\gamma-\alpha}$	$a(100)$	1,31	1,18	1,25	1,26	-0,01	—	$c(001)$	0,74	1,04	
$\Delta R_{\beta-\alpha}$	$b(010)$	0,44	0,58	0,51	0,50	-0,01	—	$b(010)$	0,88	0,73	
R				37,96			Σ 0,120				
						Wahrsch. Fehler	0,16				
		$R_{\gamma} (\parallel b) = 38,63$ $R_{\beta} (\parallel a) = 37,87$ $R_{\alpha} (\parallel c) = 37,37$								$R_{\gamma} (\parallel b) = 39,80$ $R_{\alpha} (\parallel a) =$	

III.

Reflexionen in Luft und Öl von Arsenkies.

Licht ung. die D-Linie				Grünes Licht Optischer Schwerpunkt ung. die E-Linie					Weisses Licht				
Mittel	Wahrscheinlichste Werte	Wahrscheinlichste Fehler	Fehlerquadrate	Kristallographische Fläche	$R_{\frac{1}{h}}^{-2}$ u. $\Delta R_{\frac{1}{h}}$ Spaltmikrophotometer	Wahrscheinlichste Werte	Wahrscheinlichste Fehler	Fehlerquadrate	Kristallographische Fläche	$\Delta R_{\frac{1}{h}}$ Doppelzellen	Wahrscheinlichste Werte	Wahrscheinlichste Fehler	Fehlerquadrate

in Luft

51,29	51,35	+0,06	0,004	$a(100)$	49,41	49,47	+0,06	0,004					
51,08	51,01	-0,07	0,005	$b(010)$	48,95	49,01	+0,06	0,004					
50,77	50,80	+0,03	0,001	$c(001)$	47,61	47,48	-0,13	0,017					
0,47	0,41	-0,06	0,004	$a(100)$	3,28	3,06	-0,22	0,048	$a(100)$	0,90	0,84	-0,06	0,004
1,03	1,09	+0,06	0,004	$b(010)$	3,76	3,98	+0,22	0,048	$b(010)$	1,16	1,22	+0,06	0,004
0,73	0,68	-0,06	0,004	$c(001)$	1,14	0,92	-0,22	0,048	$c(001)$	0,45	0,39	-0,06	0,004
51,05			$\Sigma 0,022$		48,65			$\Sigma 0,169$					$\Sigma 0,012$
	Wahrsch. Fehler der Best.		0,07			Wahrsch. Fehler der Best.		0,19		Wahrsch. Fehler der Best.			0,08
= 51,15 $R_{\alpha}(\parallel a) = 50,47$				$R_{\gamma}(\parallel c) = 51,00$ $R_{\beta}(\parallel b) = 47,94$ $R_{\alpha}(\parallel a) = 47,02$									

in Öl

39,63	39,73	+0,10	0,010	$a(100)$	38,41	38,57	+0,16	0,026					
39,67	39,35	-0,32	0,102	$b(010)$	38,18	38,30	+0,12	0,015					
39,04	39,27	+0,23	0,053	$c(001)$	36,72	36,44	-0,28	0,078					
0,17	0,15	-0,02	0,001	$a(100)$	3,62	3,75	+0,13	0,017	$a(100)$	1,33	1,25	-0,08	0,006
0,89	0,92	+0,03	0,001	$b(010)$	4,40	4,27	-0,13	0,017	$b(010)$	1,77	1,85	+0,08	0,006
0,80	0,73	-0,03	0,001	$c(001)$	0,40	0,53	+0,13	0,017	$c(001)$	0,68	0,60	-0,08	0,006
39,45			$\Sigma 0,168$		37,77			$\Sigma 0,170$					$\Sigma 0,018$
	Wahrsch. Fehler		0,19			Wahrsch. Fehler		0,19		Wahrsch. Fehler			0,10
$R_{\beta}(\parallel c) = 39,65$ = 38,89				$R_{\gamma}(\parallel c) = 40,44$ $R_{\beta}(\parallel b) = 36,70$ $R_{\alpha}(\parallel a) = 36,17$									

Reflexionsvermögen von Arsenkies in Luft und Öl.

Die Tabelle III zeigt die erhaltenen Messresultate. Im Rot und Gelb oder Orange sind die Messungen in Luft und Öl nach den beiden angegebenen Methoden ausgeführt worden, im Grün nur mit dem Spaltnikrophotometer. Daneben sind noch die Bireflexionen im weissen Licht nach der Doppelphotozellenmethode gemessen worden.

Die erste Kolonne in jeder Farbe gibt die kristallographische Fläche an, auf der R_h^{1-2} und $\mathcal{A}R_h$ gemessen worden sind. In den beiden nächsten Kolonnen sind die erhaltenen Werte für R_h^{1-2} und $\mathcal{A}R_h$ angegeben. Sämtliche sechs Messparameter sind eigentlich von einander unabhängig.¹

Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind die nach den beiden Methoden bestimmten Werte einander ganz ähnlich, und die Werte der einen Methode zeigen keine ausgesprochenen Tendenzen, irgendwie höher oder niedriger zu sein. Es scheint deswegen recht berechtigt zu sein, das Mittel von den beiden Werten für die weiteren Berechnungen zu nehmen.

Bei der Berechnung der uniradialen Reflexionen R_h muss man ganz planmässig vorschreiten, um alle die sechs bestimmten Messparameter in gleicher Weise auszunutzen.

Wenn auf jeder Fläche nach der Formel BEREKS:

$$(3) \quad R_h = R_h^{1-2} \pm \frac{1}{2} \mathcal{A}R_h$$

und daneben die Bedingung:

$$(4) \quad \mathcal{A}R_{h \max} = \mathcal{A}R_{h \text{ mit}} + \mathcal{A}R_{h \min}$$

oder:

$$\mathcal{A}R_{(\gamma-\alpha)} = \mathcal{A}R_{(\gamma-\beta)} + \mathcal{A}R_{(\beta-\alpha)} \text{ giltig ist,}$$

lässt es sich zeigen, dass die wahrscheinlichsten Werte

$$i. \text{ der mittleren Reflexionen} = \begin{cases} R_{(\gamma-\beta)} + \partial_1 \\ R_{(\gamma-\alpha)} + \partial_2 \\ R_{(\beta-\alpha)} + \partial_3 \end{cases}$$

und

¹ Streng genommen ist $\mathcal{A}R_h$ in einem gewissen Grade von R_h^{1-2} abhängig, da es nach dem BEREK'schen Ausdruck:

$$\mathcal{A}R_h = 2 \cdot \frac{(g_0 - 1)(g_{\pi/2} - 1)}{g_0 \cdot g_{\pi/2} - 1} \cdot R_h^{1-2}$$
 berechnet ist. Ein Fehler in R_h^{1-2} wirkt aber auf $\mathcal{A}R_h$ sehr wenig ein.

2. der Bireflexionen

$$= \begin{cases} \Delta R_{(\gamma-\beta)} + \varepsilon \\ \Delta R_{(\gamma-\alpha)} - \varepsilon \\ \Delta R_{(\beta-\alpha)} + \varepsilon \end{cases}$$

wobei

$$(5) \quad \partial_1 = [R - R_{(\gamma-\beta)}] + \frac{\Delta R_{(\gamma-\alpha)} + \Delta R_{(\beta-\alpha)}}{6}$$

$$\partial_2 = [R - R_{(\gamma-\alpha)}] + \frac{\Delta R_{(\gamma-\beta)} - \Delta R_{(\beta-\alpha)}}{6}$$

$$\partial_3 = [R - R_{(\beta-\alpha)}] - \frac{\Delta R_{(\gamma-\alpha)} + \Delta R_{(\gamma-\beta)}}{6}$$

$$R = \frac{R_{(\gamma-\beta)} + R_{(\gamma-\alpha)} + R_{(\beta-\alpha)}}{3}$$

und:

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{(\gamma-\alpha)} - [\Delta R_{(\gamma-\beta)} + \Delta R_{(\beta-\alpha)}]}{3},$$

denn dabei wird

$$\Sigma \partial^2 + \Sigma \varepsilon^2 \text{ ein Minimum.}$$

Diese nach den Formeln (5) und (6) korrigierten mittleren Reflexionen und Bireflexionen sind demnach zur Berechnung der uniradiellen Reflexionen verwendet worden. In der Tabelle III sind sowohl die wahrscheinlichsten Fehler, als auch die Fehlerquadrate angegeben, aus deren Summe die wahrscheinlichsten Fehler der Einzelbestimmungen sich berechnen lassen.

Tabelle IV.

Uniradielle Reflexionen von Arsenkies nach den kristallographischen Axen.

Kristall. Axe	Rotes Licht			Gelbes Licht			Grünes Licht		
		R	R'		R	R'		R	R'
a	R _β	50,04	37,87	R _α	50,47	38,89	R _α	47,02	36,17
b	R _γ	50,74	38,63	R _γ	51,55	39,80	R _β	47,94	36,70
c	R _α	49,88	37,37	R _β	51,15	39,65	R _γ	51,00	40,44

Wie aus den Tabellen III und IV zu ersehen ist, zeigen die Reflexionen einen sehr launenhaften Verlauf innerhalb der verschiedenen Teile des Spektrums. Dies ist besonders bemerkbar in der Richtung der c-Axe, die im Rot R_α, im Gelb R_β und im Grün R_γ ist. Meistens sind die uniradiellen Reflexionen im Gelb ein wenig grösser als im Rot und Grün.

<i>c</i>	<i>c</i>	<i>a</i>																								
R_α (C)	R_α (C)	R_β (C)																								
R_β (D)	R_β (D)	R_α (D)																								
R_γ (E)	R_γ (E)	R_α (E)																								
<table style="border: 1px solid black; display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 5px;">a (100)</td> <td style="padding: 5px;">R_γ (C)</td> <td style="padding: 5px;">R_γ (D)</td> <td style="padding: 5px;">b</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 5px;">R_β (E)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	a (100)	R_γ (C)	R_γ (D)	b		R_β (E)			<table style="border: 1px solid black; display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 5px;">b (010)</td> <td style="padding: 5px;">R_β (C)</td> <td style="padding: 5px;">R_α (D)</td> <td style="padding: 5px;">a</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 5px;">R_α (E)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	b (010)	R_β (C)	R_α (D)	a		R_α (E)			<table style="border: 1px solid black; display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 5px;">c (001)</td> <td style="padding: 5px;">R_γ (C)</td> <td style="padding: 5px;">R_γ (D)</td> <td style="padding: 5px;">b</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="padding: 5px;">R_β (E)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	c (001)	R_γ (C)	R_γ (D)	b		R_β (E)		
a (100)	R_γ (C)	R_γ (D)	b																							
	R_β (E)																									
b (010)	R_β (C)	R_α (D)	a																							
	R_α (E)																									
c (001)	R_γ (C)	R_γ (D)	b																							
	R_β (E)																									

Figur 6.

Uniradiale Reflexionen in den beiden senkrechten Hauptschwingungsrichtungen auf den *a*-, *b*- und *c*-Flächen von Arsenkies.

Die Bireflexion im Grün ist eigentlich recht hoch (ca. 4,0) und man wird erstaunt sein, dass sie bei der Mikroskopierung im gewöhnlichen Licht nicht deutlicher hervortritt. Dieses Verhältnis kann sich aber dadurch erklären lassen, dass die Reflexionen in den verschiedenen Teilen des Spektrums einander in der Weise entgegenwirken, dass der Gesamteindruck der Bireflexion erniedrigt wird. Nur auf der *c*-Fläche (vgl. Fig. 6), wo wir gerade die kleinsten Bireflexionen im Grün haben, wirken die uniradialen Reflexionen für die drei Farben einsinnig in den zwei senkrechten Schwingungsrichtungen. Auf den zwei übrigen Flächen dagegen kann man zwar eine kleine Verschiebung des Farbeindrucks in den beiden Schwingungsrichtungen erwarten, aber die Gesamtintensität des reflektierten weissen Lichtes verändert sich nicht viel in den beiden besprochenen Richtungen. Dies wird ja auch durch die Messungen der Bireflexion im weissen Licht bestätigt.

Wird der Verlauf der Reflexionskurve als eine Ellipse in den Hauptschnittebenen [siehe CISSARZ (4, 5)] angenommen, lassen sich folgende Lagen der Reflexionsisotropie $\mathcal{A}R_h=0$ berechnen:

Im Rot	$c/ \mathcal{A}R_h=0$	ca. $\pm 64^\circ$	in der Ebene	(b, c)
» Gelb	$a/ \mathcal{A}R_h=0$	ca. $\pm 37^\circ$	» » »	(a, b)
» Grün	$c/ \mathcal{A}R_h=0$	ca. $\pm 26^\circ$	» » »	(a, c)

Brechungsindizes, Absorptionsindizes und komplexe Indikatrix von Arsenkies.

Die Brechungsindizes n und die Absorptionsindizes κ der Tabelle V sind nach den Formeln KÖNIGSBERGERS (11) berechnet worden:

$$(6) \quad n = \frac{1}{2} \cdot \frac{n'^2 - 1}{n' \frac{1 + R'}{1 - R'} - \frac{1 + R}{1 - R}}$$

$$(7) \quad \chi = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{R(n+1)^2 - (n-1)^2}{1-R}}$$

wobei n' = Brechungsindex des Zedernholzöls.

In der Tabelle V sind weiter die für das Polarisations- und Absorptionselellipsoid bestimmenden Grössen a_v bzw. b_v angegeben, die aus den Quadraten der drei komplexen Hauptlichtgeschwindigkeiten $q'^2 = a_v + b_v \cdot i$ hergeleitet werden. Sie lassen sich aus den zwei Gleichungen (8) und (9) berechnen:

Tabelle V.

Brechungs- und Absorptionsindizes, Absorptionskoeffizienten,
 a_v und b_v von Arsenkies.
 Rotes Licht. $n' = 1,5123$.

Kristallograph. Axenrichtung	Reflexion in Luft und Öl	Ber. Brechungsindex n	Ber. Absorptionsindex χ	$n \cdot \chi$	a_v	b_v
// a	$R = 50,04$ $R' = 37,87$	1,847	1,400	2,59	-0,0321	0,0937
// b	$R = 50,74$ $R' = 38,63$	1,830	1,430	2,62	-0,0337	0,0921
// c	$R = 49,88$ $R' = 37,37$	1,994	1,322	2,64	-0,0249	0,0880
Gelbes Licht $n' = 1,5152$						
// a	$R = 50,47$ $R' = 38,89$	1,597	1,553	2,48	-0,0476	0,1046
// b	$R = 51,55$ $R' = 39,86$	1,660	1,551	2,58	-0,0440	0,0970
// c	$R = 51,15$ $R' = 39,65$	1,573	1,590	2,50	-0,0496	0,1032
Grünes Licht $n' = 1,5190$						
// a	$R = 47,02$ $R' = 36,17$	1,404	1,564	2,20	-0,0618	0,1356
// b	$R = 47,94$ $R' = 36,70$	1,490	1,537	2,29	-0,0543	0,1222
// c	$R = 51,00$ $R' = 40,44$	1,307	1,769	2,31	-0,0731	0,1214

$$(8) \quad a_v = \frac{1 - \kappa_v^2}{n_v^2 (1 + \kappa_v^2)^2}$$

$$(9) \quad b_v = \frac{2 \kappa_v}{n_v^2 (1 + \kappa_v^2)^2}$$

Die Axenaustritte der Polarisationsachsen A_1, A_2 sind nach der Formel berechnet:

$$(10) \quad \sin \frac{1}{2} (A_1, A_2) = \sqrt{\frac{a_{\max} - a_{\text{mit}}}{a_{\max} - a_{\min}}}$$

und die der Absorptionsachsen B_1, B_2 nach der Formel:

$$(11) \quad \sin \frac{1}{2} (B_1, B_2) = \sqrt{\frac{b_{\max} - b_{\text{mit}}}{b_{\max} - b_{\min}}}$$

Für die Berechnung der Lagen der Windungsachsen konnte keine Näherungsformel verwendet werden, da $n \cdot \kappa$ gegen n in keiner Weise vernachlässigt werden kann. Sie wurden deswegen nach dem allgemeinen Ausdruck nach BEREK ermittelt:

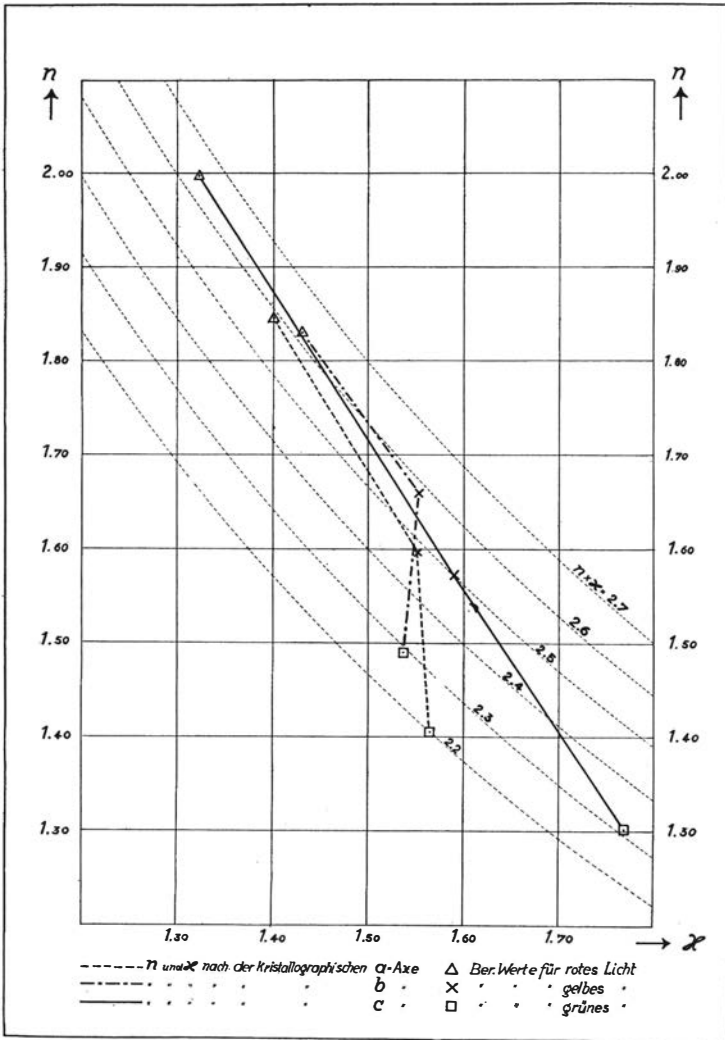
$$(12) \quad \{q_x(p_y - p_x) + q_z(p_x - p_y)\} \cos^2 \sigma + 2p_y \cdot \frac{\sin \sigma}{1 + \sin^2 \sigma} \\ \sqrt{\{p_x - p_y + (p_y - p_z) \sin^2 \sigma\} \{(p_y - p_z) + (p_x - p_y) \sin^2 \sigma\}} = 0$$

und

$$(13) \quad \sin^2 \mu = \frac{p_y - p_z + (p_x - p_y) \sin^2 \sigma}{(p_x - p_z) (1 + \sin^2 \sigma)}$$

Für den Fall des Arsenkieses bedeutet μ in diesen Gleichungen der Winkelabstand zwischen der (a, c) Ebene und den durch die Windungsachsen gehenden Ebenen, die in der stereographischen Projektion der Figur 9 gestrichelt bezeichnet sind. σ ist der Winkelabstand zu den Windungsachsen in diesen Ebenen, von der Äquatorialebene (b, c) aus gerechnet. Bezüglich der Bedeutung der übrigen Konstanten, die alle von a_v, b_v abhängig sind, verweise ich auf die Originalarbeit von BEREK (3).

Die Größenordnungen der Brechungs- und der Absorptionsindizes sind denen einiger Metalle ähnlich, besonders denen des Platins und der Metalle der Eisengruppe (Eisen, Nickel und Kobalt). Wie bei den erwähnten Metallen steigen bei dem Arsenkies sowohl die Brechungsindizes als auch die Absorptionskoeffizienten $n \cdot \kappa$ (vgl. die Diagramme der Fig. 7 und 8) mit ansteigenden Wellenlängen. Innerhalb desselben Gebietes des Spektrums steigen aber meistens bei den besprochenen Metallen die Absorptionsindizes ein wenig mit zunehmenden Wellenlängen, während bei dem Arsenkies die



Figur 7.

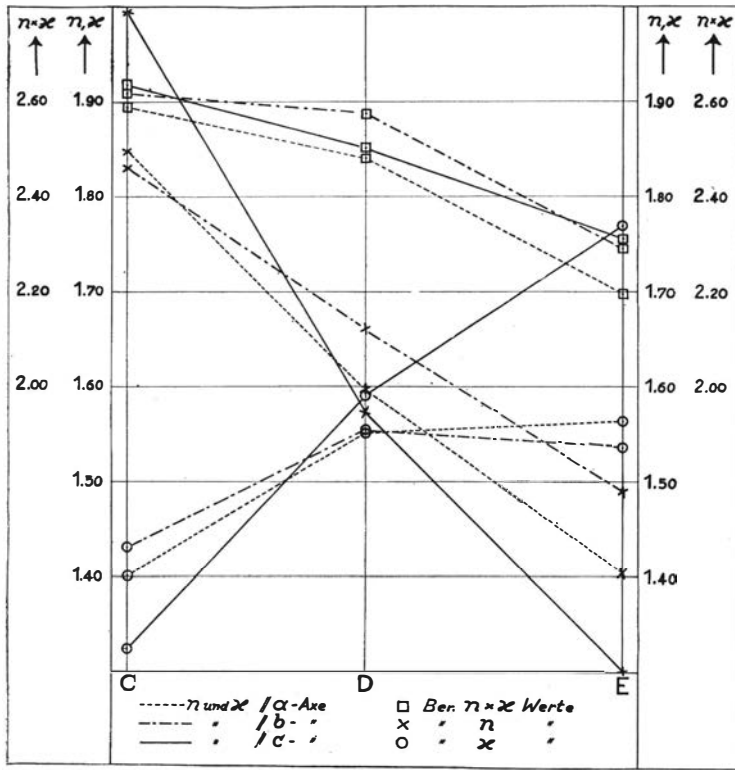
Brechungsindizes, Absorptionsindizes und Absorptionskoeffizienten von Arsenkies.

Verhältnisse entgegengesetzt sind, da die λ -Werte mit den Wellenlängen sinken.

Die Dispersionen der Brechungsindizes sowie der Absorptionsindizes sind am größten nach der kristallographischen c -Axe. Folgende Koordinaten der optischen Axen wurden nach den Formeln (10)–(12) berechnet:

1. *Polarisationsachsen.*

Spektralgebiet		Opt. Charakter d. Polarisat.-Ellipsoids
C	$(c, A_k) = \pm 25^\circ$ in d. Ebene (b, c)	Opt. —
D	» $= \pm 53^\circ$ » » »	» —
E	» $= \pm 39^\circ$ » » »	» +



Figur 8.

Variation der Brechungsindizes, der Absorptionsindizes und der Absorptionskoeffizienten mit der Wellenlänge.

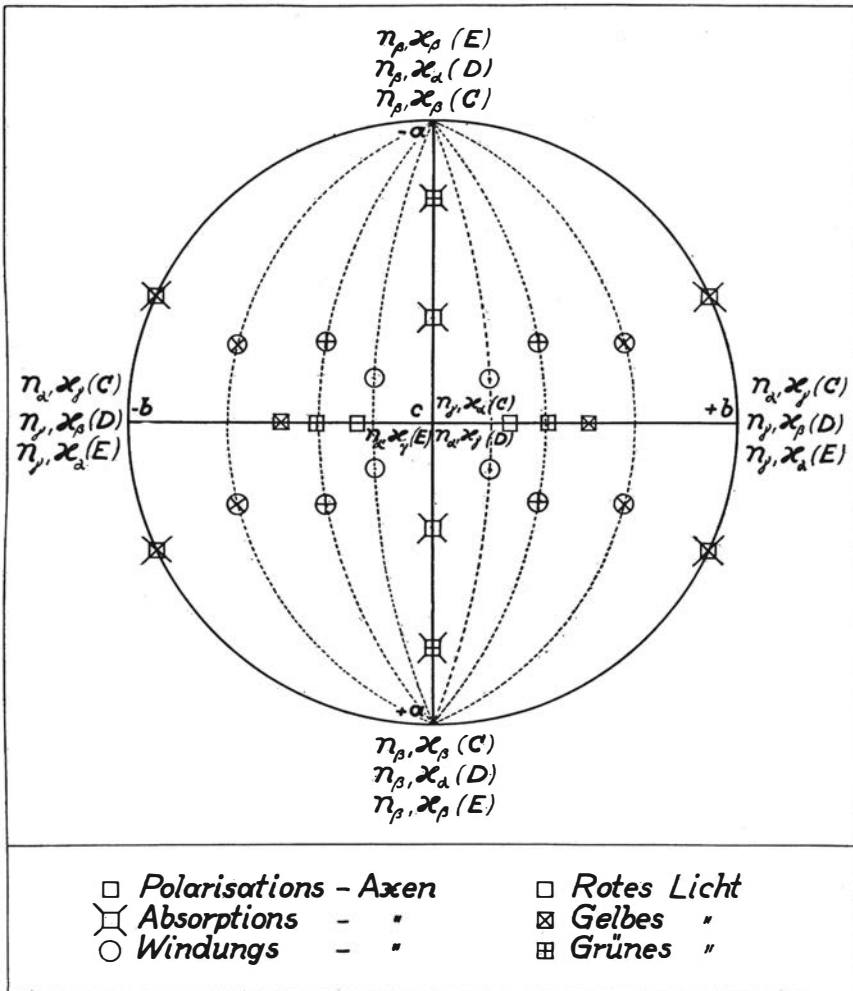
2. Absorptionsachsen.

Spektralgebiet	Opt. Charakter d. Absorpt.-Ellipsoids
C $(c, B_h) = \pm 32^\circ$ in d. Ebene (a, c)	Opt. +
D $(b, B_h) = \pm 25^\circ$ » » (a, b)	» +
E $(c, B_h) = \pm 76^\circ$ » » (a, c)	» -

3. Windungsachsen.

C	$\left\{ \begin{array}{l} \mu = \pm 22^\circ \text{ um } c \text{ in der Ebene } (b, c) \\ \sigma = \pm 17^\circ \text{ gegen die Ebene } (b, c) \end{array} \right.$
D	$\left\{ \begin{array}{l} \mu = \pm 68^\circ \text{ um } c \text{ in der Ebene } (b, c) \\ \sigma = \pm 21^\circ \text{ gegen die Ebene } (b, c) \end{array} \right.$
E	$\left\{ \begin{array}{l} \mu = \pm 40^\circ \text{ um } c \text{ in der Ebene } (b, c) \\ \sigma = \pm 28^\circ \text{ gegen die Ebene } (b, c) \end{array} \right.$

Im Gegensatz zu den unregelmässigen Verhältnissen, die bei der Behandlung der Reflexionseigenschaften herauskommen, zeigen die Lagen der Polarisations-, Absorptions- und Windungsachsen einen recht einheitlichen



Figur 9.

Axenaustritte der Polarisationsachsen, der Absorptionsachsen und der Windungachsen.

Charakter (vgl. Fig. 9). Die Axenaustritte der Polarisationsachsen liegen für die drei Farben in der Ebene (c, b) und scheinen der c -Achse für Rot am nächsten, für Gelb am weitesten von ihr zu liegen. Im Rot und Grün liegen die Axen des Absorptionsellipsoids in der Ebene (c, a) , im Gelb dagegen in der Ebene (a, b) . Wegen des im allgemeinen recht flachen Charakters dieser Ellipsoide sind inzwischen die genauen Lagen dieser Axen etwas unsicher (siehe unten).

Fehlerberechnungen.

Um die bei den Berechnungen entstandenen Fehler beurteilen zu können, wenden wir die untenstehenden vier Fehlerberechnungsgleichungen an:

$$(13) \quad \frac{dn}{n} = - \frac{4n}{n'^2 - 1} \left[\frac{R^2}{(1-R)^2} \cdot \frac{dR}{R} - \frac{n' R'^2}{(1-R')^2} \cdot \frac{dR'}{R'} \right]$$

$$(14) \quad \frac{dx}{x} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R}{1-R} \left[\frac{(n+1)^2}{n^2 x^2} + 1 \right] \frac{dR}{R} - \frac{1}{x^2} \left[(1+x^2) - \frac{1+R}{n(1-R)} \right] \frac{dn}{n}$$

$$(15) \quad \frac{da_v}{a_v} = - \frac{2x^2(3-x^2)}{1-x^4} \cdot \frac{dx}{x} - 2 \frac{dn}{n}$$

$$(16) \quad \frac{db_v}{b_v} = \frac{1-3x^2}{1+x^2} \cdot \frac{dx}{x} - 2 \frac{dn}{n}$$

In Anbetracht der vielen Ausgleichsrechnungen, die wir gebraucht haben, dürften wir annehmen können, dass die Reflexionen innerhalb 0,1 % liegen. (Die wahrscheinlichsten Fehler der Einzelbestimmungen liegen meistens zwischen 0,1–0,3 %, wie es aus der Tabelle III hervorgeht. Die Fehler der uniradialen Reflexionen dürften aber viel kleiner sein, da sie aus 4 solchen Einzelbestimmungen ermittelt sind). Wir setzen $\frac{dR}{R}$ und $\frac{dR'}{R'} = 0,001$, $R = 0,50$ und $R' = 0,40$, x lassen wir zwischen 1,30–1,75 und n zwischen 1,30–2,00 variieren.

Wir bekommen aus der Beziehung (13) im günstigsten Fall, d.h., wenn dR und dR' dasselbe Vorzeichen haben, $\frac{dn}{n} = 0,0013 - 0,0021$, und im ungünstigsten Fall (dR und dR' von verschiedenen Vorzeichen) $\frac{dn}{n} = 0,007 - 0,010$, oder im absoluten Betrag $dn = \pm(0,002 - 0,004)$ bzw. $\pm(0,009 - 0,021)$.

Wir rechnen in den übrigen Gleichungen (14)–(16) mit einem günstigsten Fall $\frac{dn}{n} = 0,0017$ und einem ungünstigsten Fall $\frac{dn}{n} = 0,0085$, — bezüglich der Zeichen der beiden rechtsstehenden Ausdrücke der Gleichungen aber immer mit den ungünstigsten Fällen (Summe der absoluten Beträge der beiden Ausdrücke). Hierbei bekommen wir:

	Im günstigsten Fall	Im ungünstigsten Fall
$\frac{dx}{x}$	0,0021–0,0024	0,0069–0,0083
$\frac{dx}{x}$	$\pm(0,003 - 0,004)$	$\pm(0,009 - 0,015)$
$\frac{da_v}{a_v}$	0,0035–0,0084	0,016–0,036
da_v	{im Rot $\pm(0,0001 - 0,0003)$ im Grün $\pm(0,0002 - 0,0006)$	$\pm(0,0004 - 0,0011)$ $\pm(0,0009 - 0,0027)$
$\frac{db_v}{b_v}$	0,0066–0,0082	0,031–0,034
db_v	{im Rot $\pm(0,0005 - 0,0007)$ im Grün $\pm(0,0007 - 0,0010)$	$\pm(0,0027 - 0,0032)$ $\pm(0,0038 - 0,0046)$

Bezüglich der Fehler der Lagen der Axenaustritte kann man ersehen, dass sie unsicher sind, denn es lässt sich schon aus den Fehlern da_v und db_v in den günstigsten Fällen die folgenden Grenzen berechnen:

1. *Polarisationsachsen:*

$$\begin{aligned} \text{Im Rot } (c, A_h) &= 25^\circ \pm 3^\circ,5 \\ \text{» Gelb } (c, A_h) &= 53^\circ \pm 6^\circ,5 \\ \text{» Grün } (c, A_h) &= 39^\circ \pm 2^\circ,5 \end{aligned}$$

2. *Absorptionsachsen:*

$$\begin{aligned} \text{Im Rot } (c, B_h) &= 32^\circ \pm 15^\circ \\ \text{» Gelb } (b, B_h) &= 25^\circ \pm 15^\circ \\ \text{» Grün } (c, B_h) &= 76^\circ \pm 15^\circ \end{aligned}$$

In den ungünstigsten Fällen sind die Fehler der Polarisationsachsen: Im Rot etwa $\pm 15^\circ$, im Gelb $\pm 30^\circ$ und im Grün etwa $\pm 10^\circ$; die der Absorptionsachsen dagegen sind noch unsicherer und die Axen können sich sogar in andere Ebenen verschieben. Wir können vermuten, dass die besprochenen Fehler wohl grösser als die der günstigsten Fälle sein können, sie dürften aber meistens weit geringerer als die ungünstigsten sein, denn diese letzteren setzen ein Zusammentreffen voraus von mehreren ungünstigen Bedingungen. Irgend etwas sicheres über die Dispersion der Axen auszusagen ist schwierig. Bezüglich der Lagen der Windungsachsen dürften sie ungefähr mit gleich grossen Fehlern wie die übrigen Axen behaftet sein.

Tabelle VI.

Prozentische Erniedrigung des Reflexionsvermögens bei dem Verschleifen.
Nach Messungen von A. CISSARZ berechnet.

		Grün	Gelb	Rot	Härte
Antimonglanz	R	- 8,5 %	- 12,3 %	- 11,5 %	2
	R	- 8,8	- 6,5	- 9,9	
	R'	- 15,5	- 18,4	- 16,3	
	R'	- 9,6	- 12,6	- 12,9	
Bleiglanz	R	- 4,0	- 3,7	- 4,5	$2 \frac{1}{2}$ -3
	R'	- 4,6	- 2,9	- 5,8	
Zinkblende	R	- 2,8	- 3,2	- 3,5	$3 \frac{1}{2}$ -4
	R'	- 1,2	- 0,4	- 1,1	
Arsenkies	R	- 1,3	+ 1,2	+ 0,8	$5 \frac{1}{2}$ -6

Zuletzt sei es betont, dass die Messungen auf geschliffenen und polierten Flächen ausgeführt sind. Bei den Messungen von A. CISSARZ (6) ist es deutlich, dass die natürlichen Spaltflächen höhere Reflexionswerte geben als polierte Flächen. In der Tabelle VI ist die prozentische Erniedrigung des Reflexionsvermögens bei dem Verschleifen nach den Angaben CISSARZ's (6) zusammengestellt worden. Bei Antimonglanz sind die Abweichungen sehr bedeutend (oft mehr als 10 %), bei Bleiglanz sind sie schon unter 5 % gesunken und bei Zinkblende noch mehr. Es scheint aber daher zu kommen, dass die Abweichungen mit der Härte¹ beträchtlich abnehmen. Ich mass die Reflexionsvermögen auf einer blanken natürlichen Kristallfläche (012) eines Arsenkieses von Ilijärvi, Finnland (Pr.L.K. 1254 d. mineral. Abt. des Riksmuseums in Stockholm) und fand die untenstehenden Werte im Gegensatz zu denen, die in derselben Richtung von dem Arsenkies von V. Silfberg berechnet werden können.

Gefunden, Arsenkies von Ilijärvi:	im Rot	$R_h^{1-2} = 49,82$
	im Gelb	= 50,71
	im Grün	= 48,85
Berechnet, » von Silfberg:	im Rot	= 50,26
	im Gelb	= 51,30
	im Grün	= 48,21

Im Rot und Gelb sind die erhaltenen Reflexionsvermögen sogar kleiner auf der natürlichen Fläche, was wohl unwahrscheinlich ist. Dies kann von einem gewissen Anlauf der Fläche oder von einer verschiedenen Zusammensetzung der beiden Arsenkiese abhängig sein. Die Resultate zeigen jedenfalls, dass die besprochenen Abweichungen bei dem Arsenkies recht klein sind.

Eine andere Tatsache, die aus der Tabelle VI ersichtlich ist, ist die, dass die Erniedrigung des Reflexionsvermögens in Luft und in Öl einander parallel laufen. D.h., es trifft der Fall ein, was wir bei der Fehlerberechnung aus (13) als den günstigsten Fall bezeichnet haben. Eine Erniedrigung des Reflexionsvermögens in den beiden Medien beeinflusst deswegen den berechneten Brechungsindex nicht so viel. Die Gleichung (14) zeigt, dass $\frac{dx}{x}$ in dem ersten rechtseitigen Ausdruck zwar von dem Betrag $\frac{dR}{R}$ oder der Erniedrigung des Reflexionsvermögens abhängig ist. Die Beeinflussung des Absorptionsindex ist aber kaum grösser als die relative Erniedrigung, da der Koeffizient von $\frac{dR}{R}$ in unserem Fall ungefähr = 1 ist.

¹ Hiermit ist es nicht gesagt, dass diese Abweichungen nur von der Härte abhängig sind. Viele andere Eigenschaften der Minerale (Translationsfähigkeit u. s. w.) wirken sicher zusammen, um diese Abhängigkeit ziemlich komplex zu machen.

Zusammenfassung.

Es wurden sowohl die mittleren Reflexionen als auch die Bireflexionen auf den zwei Pinakoidflächen und der Basis eines Arsenkieses von V. Silfberg nach dem Verfahren BEREKS bestimmt. Die Messungen wurden mit dem Spaltnikrophotometer nach BEREK und mit einer neuen Anordnung mit zwei Sperrschichtphotozellen, die näher beschrieben ist, ausgeführt.

Die uniradialen Reflexionen wurden aus den Messungen mit Rot-, Gelb- und Grünfilter und aus diesen die Brechungsindizes, die Absorptionsindizes und die Lagen der Polarisations-, der Absorptions- und der Windungsachsen der komplexen Indikatrix berechnet.

Es wurden schliesslich die bei den Berechnungen entstandenen Fehler besprochen und es wurde hierbei gefunden, dass die Brechungs- und Absorptionsindizes zwar als relativ genau betrachtet werden konnten, die genauen Lagen der optischen Axen dagegen noch recht unsicher sind.

Freiburg i. Br., März 1935.

Literaturverzeichnis.

1. BEREK, M. Das Problem der quantitativen Mikroskopie und seine Lösung. *Z. f. Krist.* 76, 77, 1931, p. 396, p. 1, Leipzig.
2. —, Die Anisotropieeffekte zwischen gekreuzten Nicols im Auflicht. *Z. f. Krist.*, 89, 1934, p. 125, Leipzig.
3. —, Die singulären optischen Richtungen (Windungsachsen) in beliebig stark absorbierenden Kristallen rhombischer Symmetrie. *Z. f. Krist.*, 80, 1931, p. 18, Leipzig.
4. CISSARZ, A. Optische Messungen an Antimonglanz. *N. Jahrb. f. Mineral. usw.*, Beil. 64, A, 1931, p. 137.
5. —, Beiträge zur Kenntnis der komplexen Indikatrix von Antimonglanz. *Z. f. Krist.* 78, 1931, p. 445.
6. —, Reflexionsmessungen an absorbierenden Kristallen usw., Mitt. III, *Z. f. Krist.* 82, 1932, p. 438.
7. FABER, W. Das Reflexionsvermögen und die Bireflexion des Rotnickelkieses. *Z. f. Krist.* 85, 1933, p. 223.
8. FÖRSTERLING, C. Die optischen Konstanten von Eisenglanz. *N. Jahrb. f. Min. usw.* Beil. 25 B, 1908, p. 344.
9. v. HALBAN und SIEDENTOPF, Über die Verwendung von photoelektrischen Zellen zur Messung der Lichtabsorption in Lösungen. *Z. f. physik. Chem.* 100, 1922, p. 208.
10. LANGE, B. und EITEL, W. Über eine Methode zur Untersuchung der Absorption mineralogisch-mikroskopischer Präparate mit Hilfe der Sperrschicht-Photozellen. *Tscherm. Min. und Petr. Mitteilung.* 41, 1931, p. 435, Wien.

11. KÖNIGSBERGER, J. Über Messungen des Reflexionsvermögens und Bestimmung der optischen Konstanten. *Ann. d. Phys.* 43, 1914, p. 1205.
12. MÜLLER, C. Optische Studien an Antimonglanz. *N. Jahrb. f. Min. usw. Beil.* 17, B, 1903, p. 187.
13. SCHNEIDERHÖHN, H. u. RAMDOHR, P. *Lehrbuch der Erzmikroskopie*, Bd. I. Erste Hälfte, p. 165: Die Messung des Reflexionsvermögens mit lichtelektrischen Zellen von H. EHRENBURG und P. RAMDOHR. Berlin 1934.
14. WEIBULL, M. Über die Kristallform und Constitution des Arsenkieses. *Z. Kryst.* 20, 1892, p. 1.
15. WÜLFING, A. E. Apparate zur optischen Untersuchungen der Mineralien und neue optische Bestimmungen am Diamant und Eisenglanz. *Tscherm. Min. und Petr. Mitt.* 15, 1896, p. 49, Wien.

Gedruckt 22/7 1935.

