

Beitrag zur Kenntnis der Kristallphasen Ti_2O_3 und Ti_3O_5

Von F. Trojer, Radenthein

(Einblick in die Optik der Phasen Ti_2O_3 und Ti_3O_5 an Hand von Reflexionsmessungen.)

(Insight in the optical characteristics of the phases Ti_2O_3 and Ti_3O_5 by means of reflexion measurements.)

(Constataions sur l'optique des phases Ti_2O_3 et Ti_3O_5 à l'aide des mesurages de réflexion.)

In Elektrostaahl-, Hochofenschlacken und Schmelzkorund sind bisweilen Ti_2O_3 und Ti_3O_5 als intensiv gefärbte Phasen anzutreffen (1). Nachdem beide opak sind, ist ihre Diagnose und die Beurteilung der Stellung in Mehrstoffsystemen außer über die Röntgenoptik nur im Anschliff möglich. Über freundliche Vermittlung des Herrn Professor Dr. H. Meixner, Hüttenberg/Leoben, stand von Herrn Dipl. Ing. H. Beyer, Köln-Stammheim, eine Probe mit synthetischem $Ti_3O_5 + Ti_2O_3$ zur Verfügung, an welcher die Auflichtoptik dieser beiden Phasen näher untersucht werden konnte.

Für die Herstellung dieser Probe diente als Ausgang ein Titanmetall der Zusammensetzung 91,6 % Ti, 0,5 % Fe, 0,06 % Cl, 4,30 % N und 3,54 % O. Diese Analyse gilt bezüglich der Gehalte an O_2 und N_2 heute noch als „rein“. Dieses Metall wurde mit TiO_2 in entsprechenden Mengen in Argon-Atmo-

Im Auflicht ergaben sich sehr eindrucksvolle und verschiedenartige Kristallformen, die im nachfolgenden zu beschreiben sind. Die Abb. 1 gibt im polarisierten Auflicht polygonal begrenzte, im Bild ver-

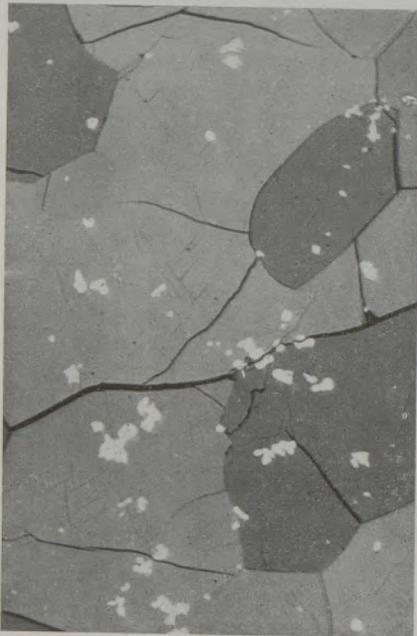


Abb. 1

360x, Ölimmersion, polarisiertes Auflicht, große, z. T. polygonale Ti_3O_5 -Kristalle mit hellen TiN-Einschlüssen und spurenweise auftretenden „ TiO_2 “-Entmischungen.

Die Bireflexion des Ti_3O_5 ist sehr deutlich.

sphäre aufgeschmolzen und erstarren gelassen. Das Schmelzprodukt wurde sodann in ein polymerisierendes Gießharz eingettet, angeschliffen und auf einer Lindenholzscheibe mit Chromoxyd poliert.

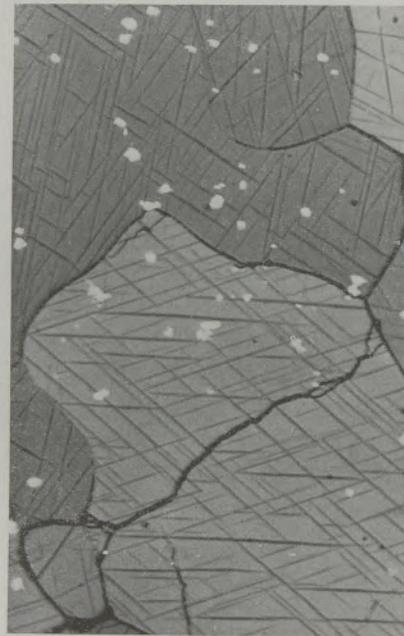


Abb. 2

460x, trocken, polarisiertes Auflicht, Bildinhalt wie bei Abb. 1, nur zahlreiche lamellare dunkle „ TiO_2 “-Entwicklungen.

chieden helle Kristalle von Ti_3O_5 wieder, in denen eine Menge heller Einschlüsse in unregelmässiger Verteilung schweben und die mit größter Wahrscheinlichkeit TiN sind. Bei genauer Betrachtung entdeckt man in den Ti_3O_5 -Kristallen noch sehr dünne, kurze, lamellare und dunkle Entmischungen aus „ TiO_2 “.

Das Ti_3O_5 reflektiert in den Farben rötlichweiß bis violettrot. In anderen Schlibfbereichen erscheinen die Ti_3O_5 -Kristalle mit den dunklen „ TiO_2 “-Lamellen überfüllt, Abb. 2.

An der regelmäßigen Verteilung der Einschlüsse in den einzelnen Kristallen erkennt man, daß es sich hierbei um Entmischungen handelt. Nachdem die Versuchsschmelze so eingestellt war, daß sie Ti_2O_3 ergeben sollte, war das Auftreten von „ TiO_2 “ sofort verständlich durch eine andere Schlibfstelle, deren Aussehen in der Abb. 3 festgehalten ist. In der rechten Bildmitte erkennt man eine ungewollte

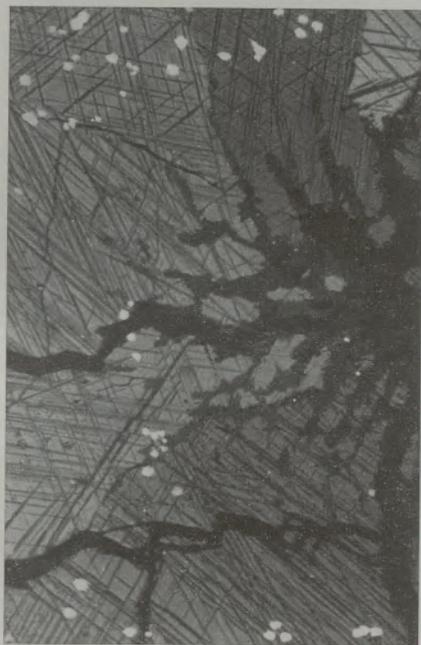


Abb. 3

360x, Ölimmersion, polarisiertes Auflicht, Bildinhalt wie bei Abb. 1. Beginnende Oxydation des Ti_3O_5 an der Bildmitte rechts; fortschreiten der Oxydation entlang von Kristallgrenzen und Sprüngen. Starke Überfüllung der Ti_3O_5 -Kristalle mit „ TiO_2 “-Entmischungen. Bireflexion des Ti_3O_5 gut erkennlich.

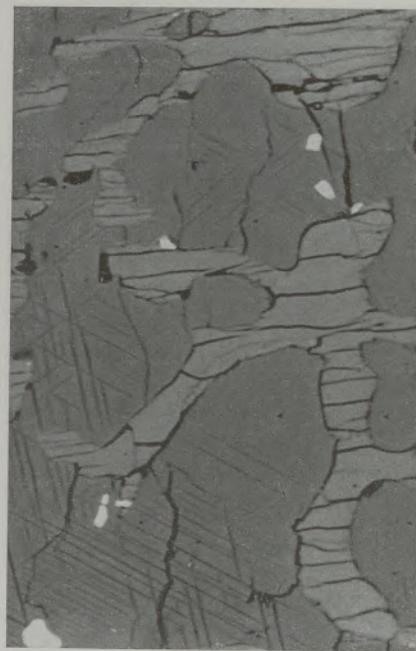


Abb. 4

420x, trocken, natürliches Auflicht. Helleres Ti_2O_3 umsäumt das schwächer reflektierende Ti_3O_5 . Das Ti_2O_3 zeigt Risse durch Phasenumwandlung, das Ti_3O_5 enthält „ TiO_2 “-Entmischungen durch nachträgliche Oxydation verursacht. Die hellen Stellen sind TiN.

Zuwanderung von O_2 unter Bildung von „ TiO_2 “ entlang aufgehender Risse und Kristallgrenzen. Diese O_2 -Zuwanderung bewirkte hier eine ganz besondere Vermehrung von „ TiO_2 “-Entmischungen.

Das Ti_2O_3 reflektiert im eigenen Kontrast in den Farben blau-weiß bis grau-oranger und stets in etwas stärkerer Helligkeit als das Ti_3O_5 . Es bot sich in demselben Schliff, der sehr inhomogen war, in zwei Formen dar, einmal als Umsäumungen der dunkleren Ti_3O_5 -Kristalle gemäß Abb. 4 mit zahlreichen Umwandlungsrissen und andererseits als Entmischung im Ti_3O_5 nach Abb. 5.

Bisweilen treten durch Oxydation des Ti_3O_5 auch „ TiO_2 “-Entmischungen in unmittelbarer Nähe der Ti_2O_3 -Entmischungen auf, obwohl sie neben Ti_2O_3 nicht beständig sind, nur als Folge mangelnder Gleichgewichtseinstellung bei zu niedriger Temperatur und zu rascher Abkühlung, Abb. 6. Schließlich zeigen die rissigen Ti_2O_3 -Umsäumungen und -Entmischungen stets eine polysynthetische Zwillingslamellierung, Abb. 6 und 7, als Folge einer Phasenumwandlung.

Die geschilderten Verhältnisse lassen sich zwanglos mit dem bekannten System Ti-O nach R. C. De Vries & Roy (4) vergleichen, Abb. 8.

Die Ti_3O_5 -Kristalle der Abb. 1 entsprechen nahezu der Zusammensetzung Ti_4O_7 . Die Ti_3O_5 -Kristalle der Abb. 2 und 3 liegen im Teil a des Mischkristallbereiches mit TiO_2 . Die Ti_3O_5 -Kristalle mit den Ti_2O_3 -Entmischungen der Abb. 5 und 6 liegen im Teil b des Mischkristallbereiches mit Ti_2O_3 . Die polysynthetische Zwillingslamellierung des Ti_2O_3

entspricht einer bei $\sim 200^\circ C$ stattgefundenen Phasenumwandlung. Eine Disproportionierung des Ti_3O_5 nach dem Diagramm bei $\sim 1200^\circ C$ fand in den

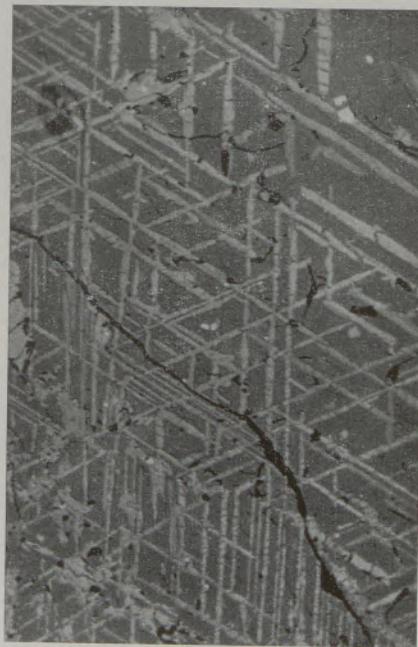


Abb. 5

360x, Ölimmersion, natürliches Auflicht. Zahlreiche lamellare, hell reflektierende Ti_2O_3 -Entmischungen in Ti_3O_5 . Die Entmischungen sind oft durch Phasenumwandlung quer gerissen.

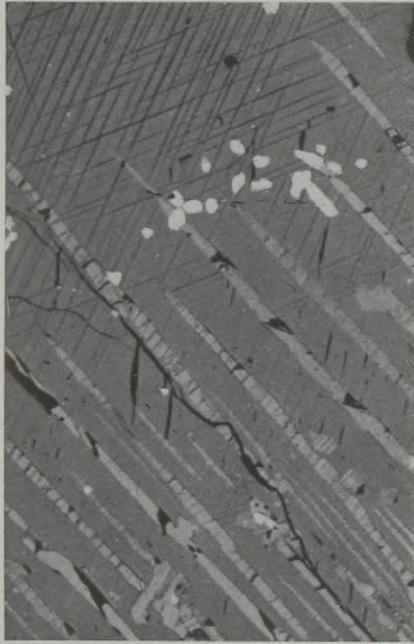


Abb. 6

360x, Ölimmersion, polarisiertes Auflicht. Dunklere „ Ti_2O_3 “- und lamellare hellere Ti_3O_5 -Entmischungen in Ti_3O_5 . Ganz hell ist TiN. Die Ti_2O_3 -Lamellen sind durch Phasenumwandlung zwillinglamelliert.



Abb. 7

1550x, Ölimmersion, polarisiertes Auflicht. Dunkel ist Ti_3O_5 . Die Polierkratzer sind darin aufgeheilt, ein Zeichen beginnenden Zerfalles in $Ti_2O_3 + TiO_2$. Hell und zwillinglamelliert ist in der Abb. Ti_2O_3 . Die Phasenumwandlung des Ti_2O_3 ist auf Grund der Risse mit einem Volumeneffekt verbunden.

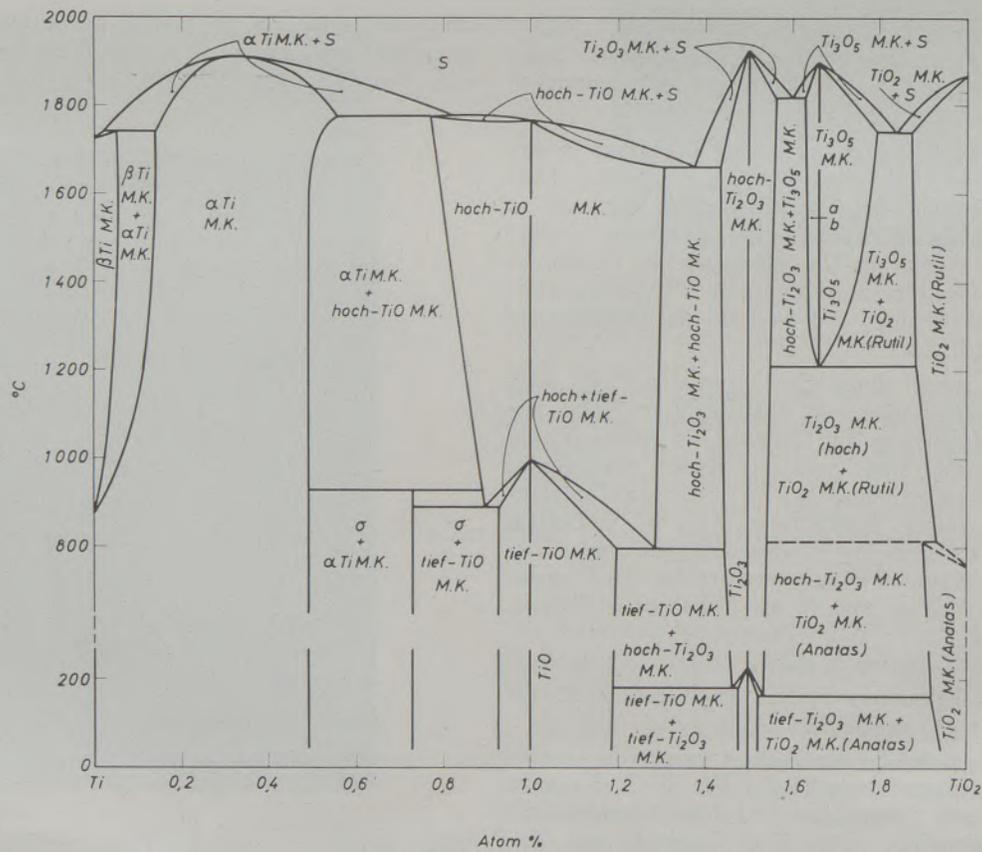


Abb. 8

Das System $Ti - TiO_2$ nach R. C. De Vries & R. Roy

Proben nicht statt. Wohl deutet dagegen Abb. 7 den Zerfall in $Ti_2O_3 + TiO_2$ an, in dem entlang von Kratzern im Ti_3O_5 eine beträchtliche Reflexionserhöhung in Richtung Ti_2O_3 eintrat, wobei aber die zweite Ausscheidung von „ TiO_2 “ noch nicht zu bemerken ist. Ein schönes Beispiel, wie Gitterstörungen durch Kratzer eine eingefrorene Disproportionierung wieder auslösen.

Ti_3O_5 , benannt Anosowit (1), kristallisiert monoklin — prismatisch, in der Raumgruppe C_{2h}^3 — $C2/m$ mit $a = 9,757$, $b = 3,802$, $c = 9,452 \text{ \AA}$, $\beta = 93^\circ 11'$ und $Z = 4$ (2).

Ti_2O_3 kristallisiert in der Tieftemperaturform ditrigonal-skalenoedrisch in der Raumgruppe D_{3d}^6 — $R 3c$ mit $a = 5,155$, $c = 13,607 \text{ \AA}$, $Z = 6$ für die hexagonale Zelle, oder $a_{rh} = 5,42 \text{ \AA}$, $\alpha = 56^\circ 50'$ und $Z = 2$ für die wahre Elementarzelle, morphologisch (4041) entsprechend (3). Beide Kristallarten sind daher anisotrop, was sich im Auflicht sehr schön erkennen läßt und auch aus den Abbildungen hervorgeht.

Die Untersuchung der Optik erfolgte mit Hilfe des neuen Wechsellichtphotometers von E. Leitz in linear polarisiertem, senkrechtem Auflicht. Die ausgeprägte Farbigkeit der beiden Phasen machte die Messungen in verschiedenem farbigem Licht erforderlich. Als Lichtfilter wurden die besten Glasfilter, z. T. kombiniert nach Eichung des Schwerpunktes, verwendet. Als Bezugsbasis diente ein Hämatit von Elba, geschliffen

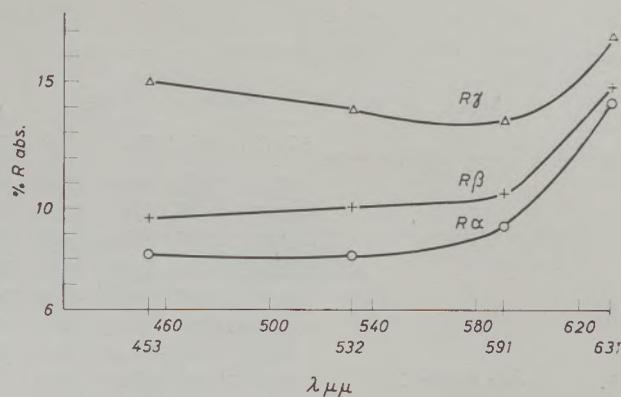


Abb. 9

Das Reflexionsvermögen des Ti_3O_5 in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes

\perp zur optischen Achse, also das $R\omega$, dessen Werte nach (5) für die natürliche Kristallfläche (0001) sind:

$\lambda \mu\mu$	453	532	571	591	631
$R\omega^{\circ}/\%$	32,2	30,1	28,6	27,5	25,8

Vergleichende Messungen zeigten, daß eine Politur der Basisfläche des Hämatits deren Reflexionsvermögen um nicht mehr als 0,3 % erniedrigt. Auf die natürlichen Werte basierend ergeben sich für Ti_3O_5 das Reflexionsvermögen in Luft und in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge an den verschiedenen Kornlagen wie folgt:

Tabelle 1

$\lambda \mu\mu$	453		532		591		631	
	$R\alpha'$	$R\gamma'$	$R\alpha'$	$R\gamma'$	$R\alpha'$	$R\gamma'$	$R\alpha'$	$R\gamma'$
R in % des $R\omega Fe_2O_3$	28,38	43,35	31,69	43,85	36,60	45,66	57,81	64,57
	27,51	43,20	30,73	45,18	37,03	49,04	56,75	63,97
	<u>25,21</u>	30,80	26,85	44,36	35,56	47,86	57,95	64,71
	28,77	42,46	28,48	44,00	36,39	47,86	55,46	55,46
	27,89	28,67	27,90	34,67	35,97	46,88	57,28	62,37
	28,28	44,72	29,68	34,79	36,14	46,72	57,61	65,54
	28,09	28,09	27,61	45,39	35,85	48,25	55,21	62,37
	29,48	45,24	28,38	36,67	36,90	47,32	56,95	64,19
	29,28	44,21	27,13	43,70	35,97	46,88	58,75	64,42
	29,79	41,98	28,38	45,81	38,59	46,19	56,23	63,53
	29,17	44,87	27,61	40,09	40,18	45,50	55,02	62,16
	28,77	44,87	27,61	44,87	35,36	39,31	57,81	62,37
	28,77	43,85	28,18	45,19	37,84	39,26	56,75	57,81
	31,26	40,55	27,61	44,36	34,04	37,58	56,23	63,53
	30,23	46,50	27,61	44,87	35,32	37,07	55,21	63,53
	Einzelwerte, keine Mittelwerte							
$R\alpha$	25,21		26,85		34,04		55,02	
$R\beta$ in % d. $R\omega Fe_2O_3$	29,67		33,18		38,63		57,10	
$R\gamma$	46,50		45,81		49,04		65,54	
$R\omega$ des Hämatit = Fe_2O_3	32,2		30,1		27,5		25,8	
$R\alpha$	8,1		8,1		9,4		14,2	
$R\beta$ abs.	9,6 ± 0,5 %		10,0 ± 0,5 %		10,6 ± 0,4 %		14,7 ± 0,5 %	
$R\gamma$	15,0		13,8		13,5		16,9	

Tabelle 2

$\lambda, \mu\mu$	453		532		571		591		Parallelmessung		631	
	Ra'	R γ '	Ra'	R γ '	Ra'	R γ '	Ra'	R γ '	591		Ra'	R γ '
									Ra'	R γ '		
R in % des $R\omega Fe_2O_3$	<u>47,15</u>	<u>58,14</u>	50,41	56,69	54,58	57,28	56,56	<u>76,76</u>	58,61	70,63	<u>72,44</u>	80,91
	46,02	56,36	48,31	56,75	52,72	62,95	57,94	67,61	55,97	67,14	66,53	68,86
	46,03	<u>51,05</u>	50,58	<u>57,94</u>	52,00	60,42	54,39	65,54	58,34	71,12	66,99	76,56
	39,35	54,83	<u>36,90</u>	54,58	51,40	63,53	55,85	67,61	59,77	71,37	<u>65,92</u>	80,35
	39,49	54,39	38,50	<u>51,88</u>	56,96	59,77	55,46	64,86	60,53	71,53	<u>67,14</u>	73,11
	38,59	53,89	38,28	57,02	48,31	59,57	56,10	62,81	55,21	60,12	66,99	82,79
	45,39	54,08	37,76	57,81	<u>57,28</u>	60,67	56,49	60,39	59,70	70,63	66,30	79,52
	45,39	52,97	50,35	52,48	57,28	62,37	55,91	67,22	<u>54,07</u>	<u>59,57</u>	69,82	86,70
	46,50	55,91	42,02	57,21	47,86	59,57	<u>52,84</u>	<u>58,21</u>	<u>61,23</u>	62,96	66,99	78,34
	38,33	52,66	48,87	52,97	55,72	<u>56,75</u>	57,41	68,23	54,83	64,71	68,08	71,12
	40,83	55,85	33,33	52,18	<u>47,86</u>	<u>61,23</u>	55,72	59,57	56,75	68,71	67,45	85,31
	34,95	57,34	39,44	57,67	48,87	58,34	57,81	70,47	55,72	62,95	67,45	<u>87,30</u>
	46,88	52,97	39,17	56,75	57,28	<u>63,97</u>	57,08	71,37	60,67	<u>71,61</u>	71,78	79,07
	<u>33,34</u>	52,28	<u>51,29</u>	54,95	52,72	60,12	<u>58,34</u>	61,80	59,16	62,52	70,63	71,95
	46,03	53,21	43,85	57,28	55,21	60,47	55,85	66,53	57,28	63,97	66,99	<u>68,71</u>
	Einzelwerte, keine Mittelwerte											
R α	33,34		36,90		47,86		52,84		54,07		65,92	
R β in % d. $R\omega Fe_2O_3$	49,10		51,58		57,01		58,27		60,40		70,57	
R γ	58,14		57,94		63,97		76,76		71,61		87,30	
$R\omega$ des Hämatit = Fe_2O_3	32,2		30,1		28,6		27,5		27,5		25,8	
R α	10,7		11,1		13,7		14,5		14,9		17,0	
R β abs.	15,8 \pm 0,6 %		15,5 \pm 0,4 %		16,3 \pm 0,2 %		16,0 \pm 0,0 %		16,6 \pm 0,3 %		18,2 \pm 0,4 %	
R γ	18,7		17,4		18,3		21,1		19,7		22,5	

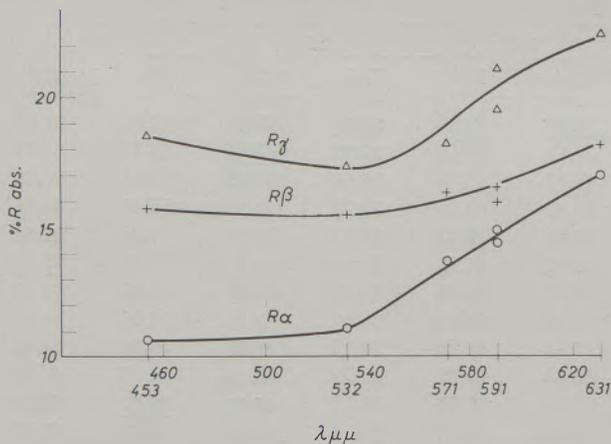


Abb. 10

Das Reflexionsvermögen des Ti_2O_3 in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes, nicht mögliche Deutung

Nachdem auf Grund der Gesetze der Kristalloptik der Wert für $R\alpha'$ nur zwischen $R\alpha$ und $R\beta$ und der Wert für $R\gamma'$ nur zwischen $R\beta$ und $R\gamma$ schwanken kann, läßt sich aus den Zahlenreihen für $R\alpha'$ jeweils der kleinste Wert für $R\alpha$ und der größte Wert für $R\beta$ und aus den Zahlenreihen für $R\gamma'$ der kleinste Wert wieder für $R\beta$ und der größte für $R\gamma$ ermitteln. Daß die beiden Werte für $R\beta$ dabei nicht gleich sind, liegt in der Genauigkeitsgrenze der Präparier- und Untersuchungsmethodik. Die so ermittelten Werte

für die Hauptreflexionen sind im unteren Teil der Zahlenreihen mit den Genauigkeitsgrenzen angegeben und in der Abb. 9 graphisch dargestellt.

Entsprechend der Kristallsymmetrie des Ti_3O_5 ist diese Kristallart nach den Reflexionswerten optisch zweiachsig positiv und zeigt darüber hinaus eine anormale Dispersion der Reflexion, die sich in den Reflexionsfarben deutlich ausdrückt. Es sind $R\gamma$ rötlichweiß, $R\beta$ und $R\alpha$ violettrot mit etwas geringerer Helligkeit. Die Reflexion ist im Blau größer als im Rot und in jeder Farbe sehr deutlich.

In derselben Art und Weise bestimmt ergeben sich für Ti_2O_3 die einzelnen Reflexionswerte in Luft in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge an den verschiedenen Kornlagen nach Tabelle 2.

Bei den Zahlenwerten ist zwar zu beachten, daß alle Ti_2O_3 -Kristalle polysynthetisch verzwillingt sind. Es mußten daher zur Vermessung die dickeren Ti_2O_3 -Lamellen herausgesucht werden. Die Messung wurde dadurch etwas erschwert und die Meßgenauigkeit etwas beeinträchtigt. Trägt man die ermittelten Hauptreflexionen wieder in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes in der gleichen Weise wie vorhin auf, ergeben sich die Verhältnisse nach Abb. 10, die sich aber in keiner Weise mit den Beobachtungen im weißen polarisierten Auflicht vertragen.

Darnach müßten alle Reflexionsfarben eine Orangefärbung haben, was nicht zutrifft. Auch tritt ein merkwürdiger Wechsel in der Farbe des $R\gamma'$ ein und ferner erschien ja hier eine trigonal kristallisierende Phase plötzlich optisch zweiachsig zu sein. Zwanglos stellen sich aber die Verhältnisse dar, wenn man nach Abb. 11 im Bereich von $\lambda = 550 \mu\mu$ eine Umkehr der Werte für $R\beta$ und $R\gamma$ annimmt. Damit wären zwei optische Hauptrichtungen im Auflicht grauorange bis rötlich und eine im Kontrast dazu bläulichweiß (absolut gesehen weiß mit Rotstich). Diese An-

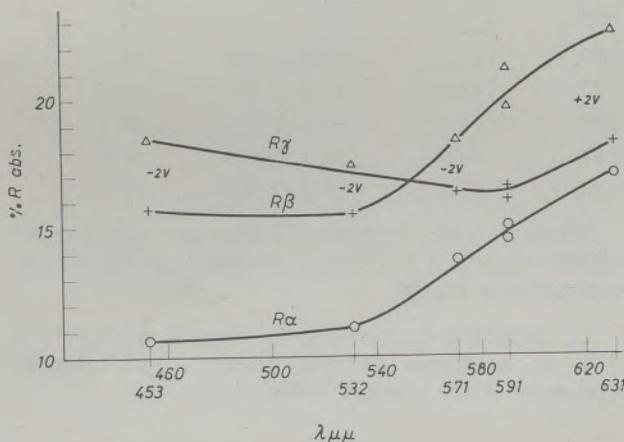


Abb. 11

Das Reflexionsvermögen des Ti_2O_3 in Abhängigkeit der Wellenlänge des Lichtes, richtige Deutung

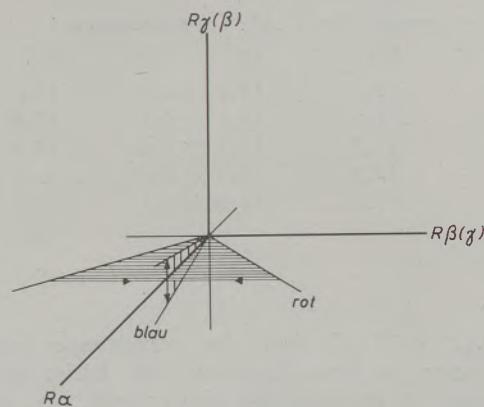


Abb. 12

Die Änderung der optischen Achsenebene bei Ti_2O_3 in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes, schematisch

nahme stimmt mit den Beobachtungen im weißen Licht sehr gut überein und so kann man nun feststellen, daß das Ti_2O_3 bei $\lambda = 550 \mu\mu$ optisch einachsig negativ und in den Bereichen darunter und darüber optisch zweiachsig ist. Der optische Charakter ist von $\lambda = 453$ bis etwa $571 \mu\mu$ negativ, darüber positiv. Die Abb. 12 gibt die Änderung des Achsenwinkels und der Achsenebenen wieder. Ein derartiger Wechsel von optisch einachsig zu zweiachsig und eine Umkehr des optischen Charakters in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge ist in der Mineralogie nicht selten, bemerkenswert ist hierbei, daß dies auch bei einer trigonalen Kristallphase möglich ist.

Zusammenfassung

Ti_3O_5 und Ti_2O_3 sind häufige Bestandteile von Elektrostahl-, Hochofenschlacken und Elektrokorund. Mit Hilfe des Wechsellichtphotometers von E. Leitz, wurde das Reflexionsvermögen von Ti_2O_3 und Ti_3O_5 im Anschliff bestimmt.

Für Ti_3O_5 ergeben sich in Prozenten:

$\lambda\mu\mu$	$R\alpha$	$R\beta$	$R\gamma$
453	8,1	$9,6 \pm 0,5$	15,0
532	8,1	$10,0 \pm 0,5$	13,8
591	9,4	$10,6 \pm 0,4$	13,5
631	14,2	$14,7 \pm 0,5$	16,9

Darnach ist Ti_3O_5 optisch zweiachsig positiv und verglichen mit Metallphasen schwach absorbierend.

Für Ti_2O_3 wurde gefunden in Prozenten:

$\lambda\mu\mu$	$R\alpha$	$R\beta$	$R\gamma$
453	10,7	$15,8 \pm 0,6$	18,7
532	11,1	$15,5 \pm 0,4$	17,4
571	13,7	$16,3 \pm 0,2$	18,3
591	14,7	$16,3 \pm 0,3$	20,4
631	17,0	$18,2 \pm 0,4$	22,5

Darnach ist Ti_2O_3 bei $\lambda = 550 \mu\mu$ optisch einachsig negativ, darüber und darunter optisch zweiachsig.

Der optische Charakter ist von $\lambda 453$ bis $571 \mu\mu$ negativ, darüber positiv. Ti_2O_3 ist ebenfalls schwach absorbierend.

Summary

Ti_3O_5 and Ti_2O_3 are frequently components of the slags of electric steel, blast furnaces and electric corundum. By means of the alternating light photometer of E. Leitz the reflecting power of Ti_2O_3 and Ti_3O_5 was determined on polished sections.

For Ti_3O_5 the following formula was differentiated in percentages:

$\lambda\mu\mu$	$R\alpha$	$R\beta$	$R\gamma$
453	8,1	$9,6 \pm 0,5$	15,0
532	8,1	$10,0 \pm 0,5$	13,8
591	9,4	$10,6 \pm 0,4$	13,5
631	14,2	$14,7 \pm 0,5$	16,9

Accordingly Ti_3O_5 is optically biaxial positive and in comparison with metal phases slightly absorptive.

The formula for Ti_2O_3 in percentages:

$\lambda \mu\mu$	R α	R β	R γ
453	10,7	15,8 \pm 0,6	18,7
532	11,1	15,5 \pm 0,4	17,4
571	13,7	16,3 \pm 0,2	18,3
591	14,7	16,3 \pm 0,3	20,4
631	17,0	18,2 \pm 0,4	22,5

Accordingly Ti_2O_3 at $\lambda = 550 \mu\mu$ is optically uniaxial negative, above or below this value optically biaxial.

Between λ 453 to 571 $\mu\mu$ the optical characteristic is negative, above these values positive. Ti_2O_3 likewise is slightly absorptive.

Résumé

Ti_3O_5 et Ti_2O_3 sont des constituants fréquents de l'acier au four électrique, du laitier du haut fourneau et du corindon électrofondu. Le pouvoir réflecteur des lames minces de Ti_2O_3 et de Ti_3O_5 fut déterminé à l'aide du photomètre à base de lumière alternante.

Pour Ti_3O_5 il résulte en pour cents:

$\lambda \mu\mu$	R α	R β	R γ
453	8,1	9,6 \pm 0,5	15,0
532	8,1	10,0 \pm 0,5	13,8
591	9,4	10,6 \pm 0,4	13,5
631	14,2	14,7 \pm 0,5	16,9

Ti_3O_5 est donc optiquement biaxial positif et comparé avec des phases de métal faiblement absorbant.

Pour Ti_2O_3 on a trouvé en pour cents:

$\lambda \mu\mu$	R α	R β	R γ
453	10,7	15,8 \pm 0,6	18,7
532	11,1	15,5 \pm 0,4	17,4
571	13,7	16,3 \pm 0,2	18,3
591	14,7	16,3 \pm 0,3	20,4
631	17,0	18,2 \pm 0,4	22,5

Suivant cette formule Ti_2O_3 est optiquement uniaxe négatif à λ 550 $\mu\mu$, au-dessus et au-dessous optiquement biaxial.

Le caractère optique est $\mu\mu$ négatif de λ 453 à 571 $\mu\mu$ au-dessus de cela positif. Ti_2O_3 absorbe également d'une manière faible.

Literaturverzeichnis

1. A. A. Rusakov & G. S. Zhdanov, Doklady Akad. Nank. S. S. R. 77 (1951) 411-14.
2. St. Åsbrink & A. Magneli, Acta chem. scand. Stockholm 11 (1957) 1606-07.
3. St. Andersson, B. Collen, G. Krunse, U. Kuylenstierna, A. Magnelo, H. Festmalis & St. Åsbrink, Acta chem. scand. Stockholm, 11 (1957) 1653-57.
4. R. C. De Vries & Roy, Bull. Am. Ceram. Soc., 33 (1954) 370-372.
5. I. Gray & A. P. Millan, Nature 23 (1960) 282-284.