

DK 553.2 : 553.461 : 552.12 : 535.822.8 : 620.178.152.341.4

DEC A 5572/D 53 - D 447

## Mineralogische Untersuchungen von Chromerzen verschiedener Lagerstätten der Erde

### 1. Teil: Bestimmung des Reflexionsvermögens, der Mikrohärtigkeit und der Gitterkonstanten

Von W. Z e d n i c e k, Radenthein

(Einleitung; Beschreibung der Fundorte; Reflexionsmessungen; Härteprüfung; Bestimmung der Gitterkonstanten.)

(Introduction; description of finding places; determination of reflectivity; testing of hardness; determination of lattice constants.)

(Introduction; description des gisements; mesures de réflexion; essais de dureté; détermination des paramètres du réseau.)

#### A) Einleitung

An die Baustoffe für die Öfen der Stahlindustrie wurden und werden in zunehmendem Maße größere Anforderungen gestellt, die vor allem in höherer Feuerfestigkeit und Beständigkeit gegen Schlacken gipfeln. Die Entwicklung bei den SM-Öfen ging dabei von ursprünglich sauren Zustellungen der Herde und Seitenwände über Naturblöcke aus Chromeisenstein, welche ab dem Jahre 1879 zum Einsatz gelangten (74), zu Magnesit und Dolomiterzeugnissen und schließlich zur Mischung von Magnesit und Chromerz, woraus Chrommagnesit- bzw. Magnesitchromsteine, hergestellt wurden, die einen weiteren Schritt zur Verbesserung des Gewölbebaustoffes brachten. In größerem Umfange gelangten letztere seit den 30er Jahren zum Einsatz und gerade Radenthein war auf diesem Gebiet bahnbrechend tätig, was in Patenten (117), (118), (119) und Veröffentlichungen u. a. von O. B ü c h l e r - H a u s c h k a (29), O. K r i f k a und A. S c h ö b e r l (96) und K. K o n o p i c k y (89), (90), (91) seinen Niederschlag fand. Nach zahlreichen Arbeiten auf diesem Gebiet u. a. (36), (37), (103), (113), (177), ist der Hauptvorteil in der unterschiedlichen Brennschwindigkeit der beiden Hauptkomponenten und zum Teil in der Verbesserung der Temperaturwechselbeständigkeit gegeben.

Diese Tatsachen machen verständlich, daß die Erzeugerfirmen basischer ff. Produkte neben ihren Lagerstätten, sei es Magnesit oder Dolomit, ein sehr großes Interesse an Chromerz zeigen, da die physikalischen und chemischen Prüfdaten der Erze entscheidenden Einfluß auf die erzeugten Steinqualitäten nehmen können. Es würde zu weit führen, hier alle einschlägigen Arbeiten, die darauf bezug nehmen, zu zitieren, es kann aber jederzeit eine Literaturnachsuche u. a. in den Büchern von B e l j a n k i n - L a p i n - I w a n o w (7), H. F r e u n d (55) mit der Arbeit von F. T r o j e r (172), H a r d e r s - K i e n o w (74) oder J. R. R a i t (132) vorgenommen werden.

Die der ff. Industrie zur Verfügung stehenden Chromerze sind nicht immer einheitlich aufgebaut, teils infolge des wechselnden Chemismus der Chromite, der von Lagerstätte zu Lagerstätte oder auch

innerhalb einer solchen schwanken kann, teils aber vor allem durch die von Gangarten bestimmten Unterschiede. Nach O. F r i e d r i c h (57) ist als einziges Chromerz nur der Chromit anzuführen, wobei annähert die alte Formel  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  gilt. Meist liegen Mischkristalle von  $(\text{Fe, Mg, Zn})(\text{Cr, Fe, Al})_2\text{O}_4$  vor, wobei sich nach der Einteilung von E. S. S i m p s o n (153) und A. N. W i n c h e l l (197), (199), erweitert von S. A. V a c h r o m e e v e t a l (182) folgende Bezeichnung für die einzelnen Glieder ergibt (s. H. S c h n e i d e r h ö h n (147) S. 59). Siehe nächste Seite obenstehende Tabelle.

H. S t r u n t z (160), Ch. P a l a c h e, H. B e r m a n und C. F r o n d e l (124) verwenden für einzelne Glieder dieser Tabelle andere Bezeichnungen vgl. z. B. B e r e s o w i t und B e r e s o w s k i t.

Es werden alle chromerzhaltigen Glieder der Spinellgruppe als Chromspinell im weitesten Sinne zusammengefaßt. Sie sind isomorphe Mischungen nach der vorhin beschriebenen Formel, worauf zahlreiche Autoren schon hingewiesen haben u. a. P. R a m d o h r (133). Analysen von zahlreichen Chromspinellen haben L. W. F i s h e r (48) und T. W e i s e r (190) angeführt, aus denen neben einer Gliederung auch die verschiedenen Oxidgehalte hervorgehen.

Die Chromspinelle sind fast ausschließlich frühe Ausscheidungen der Magmenerstarrung, wobei sie in ultrabasischen Gesteinen und ihren Umwandlungsprodukten akzessorisch auftreten können oder Lagerstätten bilden. Bei den technisch wichtigen Anreicherungen, die letzten Endes für die ff. Industrie von Interesse sind, handelt es sich überwiegend um Kristallisationsdifferentiate. Auf Grund des schwankenden Chemismus der einzelnen Chromspinellglieder, welcher auf die diadoch vertretenden Elemente zurückzuführen ist und nach T. P. T h a y e r (167) vom Verhältnis  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  zu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  im Muttermagma und vom molekularen Überschuß von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  über  $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}$  in Magma, das nach Bindung an Anorthit übrigbleibt, bestimmt wird, wäre ein unterschiedliches Reflexionsvermögen zu erwarten. P. R a m d o h r (133, Seite 721) weist diesbezüglich auch auf eine Arbeit von R. E. F o l i n s b e e (51) hin, der

$\text{FeCr}_2\text{O}_4$						$\text{FeAl}_2\text{O}_4$	
	Ferrochromit	Herzynchromit	Chromitherzynchromit	Herzynchromit			
	Beresowit	Alumoberesowit	Chrompleonast	Pleonast			
	Chrompicotit	Alumochrompicotit	Picotit	Ceylonit			
	Pikrochromit	Spinellchromit	Chromspinell	Spinell			
$\text{MgCr}_2\text{O}_4$						$\text{MgAl}_2\text{O}_4$	

eine erhebliche Schwankung des Reflexionsvermögens bei Chromit in Abhängigkeit vom Chemismus gefunden hat (12 – 16 %). Ebenso beschreiben G. Horninger (85), P. de Wijkerslooth (194) u. a. eine Abhängigkeit des Reflexionsvermögens vom wechselnden Chemismus.

Es war nun naheliegend, auf Grund dieser Erkenntnisse, den Einsatz dieser Prüfmethode für industrielle Zwecke nutzbar zu machen, d. h. durch Bestimmung des Reflexionsvermögens verschiedener Erzqualitäten evtl. auf den jeweiligen Chemismus unter Außerachtlassung der Gangart rückzuschließen. Dieses Verfahren würde letzten Endes weniger aufwendig sein, als die Durchführung einer chemischen Analyse an reinen Chromitkristallen. Die Zusammensetzung letzterer ist noch dazu technisch wenig von Interesse, da in der keramischen Industrie stets das Erz im Anlieferungszustand, sei es aufbereitet (beispielsweise als „Konzentrat“) oder als brauchbares Derberz (also „Chromerz“ im weiteren Sinne), auf seinen Chemismus geprüft wird, denn nur dieser ist für den Einsatz im ff. Stein wesentlich. Ob der Chemismus des Chromspinells ohne Miteinbeziehung der Gangart als Einflußgröße bezüglich des Verhaltens der Chromerzkomponente im ff. Stein in Betracht zu ziehen ist, läßt sich bisher nur für die im Chemismus auffallend unterschiedlichen Erze beurteilen. Es zeigen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -reiche und daher  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -arme Chromite ein anderes Verhalten als  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -reiche und deshalb  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -arme Chromite. Dasselbe gilt auch für  $\text{FeO}$ -reiche Chromite. Innerhalb von chemisch annähernd gleichen Erzen (z. B. hochprozentig mit ca. 50 und mehr Prozent  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) dürften andere Faktoren, wie Zerdrückungsgrad, Menge an Gangarten und ihre Ausbildung, Serpentinisierungsgrad und anderes ausschlaggebender sein, als die offensichtlich nur geringfügige Schwankung im Chemismus der Chromspinelle. Diesbezügliche Publikationen gibt es in größerer Zahl, wovon unter anderem Arbeiten von F. Trojer (171), (174), G. R. Rigby, G. H. B. Lovell und A. T. Green (140), C. Booth und D. Hedley (21), T. R. Lynam und A. Nicholson (104), H. Haas (67), (68) und W. Zednicek (201) erwähnt seien.

Diese Tatsachen haben die ff. Industrie bewogen, bei der Auswahl der Erze einen entsprechenden Maß-

stab anzulegen und alle Erze einer relativ strengen Prüfung zu unterziehen. Die Erfahrungen und die Vielzahl der Prüfwerte gestattete letztlich Grenzen zu legen, die eine Eignung bestimmter Erze für den Einsatz bei der Herstellung feuerfester Produkte beurteilen ließ. Die Chromerzlagerstätten sind über die ganze Welt verstreut, ihre Paragenese ist unterschiedlich, der Chemismus schwankt, ja er kann sogar innerhalb einer Lagerstätte, wie H. Krause (95) oder G. Van der Kaaden (86) nachgewiesen haben, schwanken und es ist daher für den Hersteller ff. Erzeugnisse erforderlich, ständig neue Vorkommen zu untersuchen und alte Abbaustellen laufend zu überprüfen, da hier keine Gewähr für eine homogene Qualität auf Jahre hinaus gegeben ist. Hinzu kommt die allgemeine weltpolitische Situation, die durch ständige Schaffung von Krisenherden den Nachschub geeigneten Materials aus bestimmten Chromerzländern verzögern, wenn nicht überhaupt für einige Zeit unterbinden kann, so daß jeder Chromerzverbraucher genötigt ist, dafür Sorge zu tragen, zu jeder Zeit auf geeignete Ausweichqualitäten zurückgreifen zu können. Es ist auf Grund dieses Tatbestandes verständlich, daß von einer Vielzahl der Lagerstätten der gesamten Welt relativ große Mengen an Durchschnittsproben laufend überprüft werden und daher die Möglichkeit gegeben war, einige Erze einer eingehenderen Untersuchung zu unterziehen. Willkürlich wurden 21 Lagerstätten herausgegriffen, wovon einige regional näher beisammen liegen. Allgemein sind aber bewußt bestimmte Chromerzbezirke der Welt herausgegriffen worden.

An diesen Erzen waren Reflexionsmessungen, Härteprüfungen und Gitterkonstantenbestimmungen vorgenommen worden, deren Ergebnisse nachfolgend aufgezeigt werden.

#### B) Vorbereitung der Proben für die Untersuchung auf Reflexionsvermögen und Mikrohärte

Ein überwiegender Teil der einlangenden und zu prüfenden Chromerzproben wird neben den Routine-tests auch mikroskopischen Untersuchungen unterworfen um über Textur, Korn- und Kristallgrößen, Gangarten, Begleitminerale, Zerdrückungsgrad usw. Aussagen zu erhalten, wodurch das Wissen und die

Erfahrung vermehrt wird und in zunehmendem Maße die Beurteilung rascher und sicherer vonstatten geht. Es handelt sich bei den Proben größtenteils um repräsentative Durchschnittsmuster, die nicht nur richtungsweisende Aussagen gestatten, sondern bereits eine zweckgebundene Klassifizierung des Erzes zulassen. Da die Erze mit Ausnahme aufbereiteter Produkte (Konzentrate) meist stückig angeliefert werden, ist zur Homogenisierung und damit besseren Beurteilung ein Vorbrechen und Absieben auf bestimmte Kornfraktionen erforderlich, wobei getrachtet wird, auf eine Körnung zu brechen, die dem späteren Einsatz des Erzes bei der Herstellung ff. Steine entspricht. Für die mikroskopische Beurteilung hat sich die Auswahl einer Kornfraktion (0,3–3 mm) als sinnvoll eingebürgert und die hier gebrachten Messungen wurden fast ausnahmslos an derartigen Präparaten vorgenommen.

Für die Untersuchung der Chromerzproben werden ausschließlich Anschliffpräparate herangezogen (202). Die Schriffe selbst müssen sehr sorgfältig bearbeitet werden (siehe auch O. Friedrich (57), Seite 234), die Erzeugung einer hohen Anschliffgüte ist gerade für Reflexionsmessungen wesentlich und wie den späteren Ausführungen entnommen werden kann, wurde eine gewisse Abhängigkeit der Reflexionswerte von der Anschliffpräparierung gefunden. Sie ist jedoch relativ gering und kann wohl noch als zulässig und innerhalb der Streugrenze liegend, angesehen werden. Die zur Untersuchung gelangenden Chromerzproben wurden alle in einem Gießharz der Badischen Anilin- und Sodafabriken (BASF), welches Palatal P 5 genannt wird (6), eingebettet und nach der Methode F. Trojer (173) poliert und zwar auf Holz-scheiben als Polierunterlage, auf welche Chromoxid als Poliermittel mit Wasser aufgebracht wird. Diese Technik ist auch bei H. Schneiderhöhn (146) und H. Freund (53) näher beschrieben.

Der Aufzählung der einzelnen Fundpunkte sei die Erwähnung einer umfassenden Arbeit von H. Kern (87) über die Geochemie und Lagerstättenkunde des Chroms vorangestellt, in welcher neben einer umfangreichen Literatursammlung auch mikroskopische Untersuchungsergebnisse an verschiedenen Erz-Gangartkombinationen aufgezeigt werden.

### C) Herkunft der Proben

Die Fundorte der einzelnen untersuchten Chromerzproben sind zum Teil selbst aufgesucht worden und daher exakt ansprechbar (im weiteren Text mit beg. = „begangen“ gekennzeichnet), zum Teil sind sie aber nur von Chromerzlieferanten angeführt worden, was infolge der Nichtüberprüfbarkeit der Angaben bei den Untersuchungsergebnissen entsprechend berücksichtigt werden muß. Die Reihung der nachfolgend aufgezählten Fundorte wurde willkürlich vorgenommen, wobei aber getrachtet worden ist, gewisse Regionen stets zusammenzufassen.

#### a) Türkei

Über die Chromerzlagerstätten in der Türkei gibt es sehr viele einschlägige Arbeiten, von denen einige

angeführt seien (22), (23), (46), (77), (82), (94), (147), (168), (193), (196), (203). Die Autoren haben sich intensiv mit den geologischen Verhältnissen auseinandergesetzt, auf mögliche Entstehungsabläufe hingewiesen und versucht eine altersmäßige Einstufung vorzunehmen. Es kann bei der Aufzählung der für die Messungen ausgewählten Chromerzproben teilweise auf diese Arbeiten hingewiesen werden, da mit diesen auch häufig mikroskopische Bearbeitungen der Lagerstätten vorgelegt wurden.



Abb. 1

#### Abbaue im Raume Siirt — Bitlis (s. Kartenskizze der Türkei, Abb. 1, Nr. 1 — 4)

Nach A. Helke (77) wird das Gebiet um Guleman als osttürkische Chromerzprovinz bezeichnet. Auch P. de Wijkerslooth (193) unterscheidet drei Chromerzprovinzen, von denen die „südliche alpine Ophiolithprovinz“ nach seiner Karte ebenfalls im Raume von Diyarbakir-Guleman mit einer SW-NO verlaufenden Grenze abschließt und weiter östlich keine Chromerzlagerstätten mehr verzeichnet oder beschrieben werden. Die Nachsuche in der Literatur ergab keine Anhaltspunkte, daß aus dem Raume Siirt-Bitlis, also südwestlich des Wanses bereits Chromerzlager beschrieben wurden. Neuere Begehungen und Probeentnahmen von kleineren Abbauorten durch mich und später H. Pirkl in der angeführten Gegend erbrachten Hinweise teilweiser Einsatzfähigkeit dieses Erzes in der Keramischen Industrie. Geologische Aufnahmen wurden dann von H. Pirkl (129) durchgeführt und zeigten, daß im Erzrevier um Baykan das Gestein außerordentlich stark tektonisch durchbewegt ist. Die das Erz begleitenden Serpentine bis Pyroxen-peridotite weisen vielfach Mylonitisierung auf und kleine eingestreute Scherkörper von Pyroxeniten und Gabbros. Die Tektonik hat auch geologisch junge Mergel bis Sandsteine, östlich von Büsigan erfaßt, was durch eine Spezialfältelung zum Ausdruck kommt. Außerdem wird darauf hingewiesen, daß eine äußerst starke Verwitterung vorliegt.

Für die Reflexionsmessungen wurden die Proben von folgenden Abbauorten herangezogen.

Proben-Nr. 1 Abbauort Cevizlik, östl. von Baykan (beg.)

Proben-Nr. 2 Abbauort Büsigan, nördl. von Baykan (beg.)

Proben-Nr. 3 Abbauort Madaran, nördl. von Baykan (beg.)

Proben-Nr. 4 Abbauort Taroni, nordöstl. von Baykan

#### Abbau im kilikischen Taurus

Proben-Nr. 5 (s. auch Kartenskizze, Abb. 1), Abbauort östl. von Pozanti im „Höllental“ (beg.)

Über den geologischen Aufbau dieses Gebietes und seine Tektonik haben H. Borchert (23) und G. Hiessleitner (83) ausführlich berichtet. Nach H. Borchert (l. c.) sind die Chromiterze an Ophiolithe gebunden und die Vorkommen haben pyroxenitische Peridotite als Nebengestein, die in den meisten Fällen nur wenig serpentinisiert sind. Vereinzelt konnten aber auch stark serpentinisierte Gesteinspartien beobachtet werden. Die Chromerzlagerstätten aus diesem Raum gehören nach G. Hiessleitner (82) der sogenannten „gebankten Zone“ an. Der vorherrschende Erztyp in diesem Gebiet ist Kugelerz mit häufigen Übergängen zu Sprenkelerz, aber auch Derberze werden beschrieben, wie sie im Abbauort, von welchem die untersuchte Probe stammt, vorlagen.

#### Abbaue im Lagerstädtendistrikt Guleman

Das von A. Helke (77) als osttürkische Chromerzprovinz bezeichnete Gebiet mit Guleman als Hauptbezirk ist zur Zeit der wichtigste Chromerzlieferant der Türkei. Dementsprechend gibt es auch eine Vielzahl von Veröffentlichungen, wovon neben den schon angeführten Autoren noch F. Schumacher (148), E. Perkins (125), W. Henckmann (79) und P. de Wijkerslooth (195) zu erwähnen wären. In die Gulemangruppe fallen zahlreiche Abbauorte unterschiedlichen Ausmaßes, wobei zum Teil große Erzmassen im Tagbau steinbruchmäßig abgebaut werden können oder unter Tage gefördert werden. Die Erzkörper treten häufig in Form verschieden großer gestreckter Linsen auf, das Erz selbst besteht zum Teil aus grobkörnigen bis plattigen Derberz, aber auch Leopardzerze werden aufgefunden. Die in den Erzgebieten auftretenden Ophiolithe sind meist unterschiedlich stark serpentinisierte Peridotite, es werden aber auch Harzburgite und vereinzelt Gabbros beschrieben (s. V. Kovenko (94)). Nach G. Hiessleitner (82) gehören die Erzkörper zur „abgequetschten Basiszone“ und V. Kovenko (l. c.) schreibt, daß während des semiliquiden Zustandes tektonische Bewegungen die Möglichkeit geboten haben, in das Gestein einzudringen und dort zu erstarrten.

Vom Gulemandistrikt sind folgende Proben ausgewählt worden (Probennummer auch in der Kartenskizze der Türkei, Abb. 1, eingetragen):

Proben-Nr. 6, Abbauort Murat (nördl. Zone)

Proben-Nr. 7 und 9, Abbauorte Gölalan (beg.)

Proben-Nr. 8, Abbauort östl. Elazig (beg.)

Proben-Nr. 10, Abbauort Kefdag (beg.)

Alle diese Fundorte sind in der Literatur schon ausführlich beschrieben, so daß bei den zitierten Arbeiten jederzeit nähere Details nachgeschlagen werden können.

#### Abbaue in Westanatolien

Um von der westlichen Türkei ebenfalls einige Abbaue zu erfassen, die nach P. de Wijkerslooth (193) in der „mittleren variskischen Provinz“ liegen, haben wir drei Abbauorte herausgegriffen und zwar:

Proben-Nr. 11, Abbauort Kavag, nordöstl. von Mihaliccik

Proben-Nr. 12, Abbauort Orku, südl. von Bursa (auch Brussa)

Proben-Nr. 13, Abbauort Ilikdere, östl. von Izmir

Von Kavag wurde ein Konzentrat untersucht. Dieses Vorkommen läßt nach H. Borchert (23) deutlich seine orthomagmatische Entstehung erkennen, da es in einem Serpentin, der aus nur wenig tektonisch durchbewegten Dunit gebildet wurde, eingelagert ist. Das Erz besteht aus Sprenkelerz, streifigen Kugelerz, Schlierenplattenerz und geringen Mengen Derberz. Über die Lagerstätte von Kavag liegen auch Arbeiten von W. J. Schmidt (144) und H. T. Rechenberg (138) vor, in denen ebenfalls darauf Bezug genommen wird, daß überwiegend Kugelerz (Erzkugeln mit 10–15 mm Durchmesser) neben Derberz, anzutreffen ist.

Über die beiden anderen Abbauorte können keine exakten Zuordnungen zu Literaturaufzeichnungen gegeben werden, da sie durch die Angaben der Lieferanten nur annähernd fixiert werden konnten. Sie fallen aber in Chromerzbezirke, die ebenfalls von den zitierten Autoren näher behandelt wurden.

Mit dieser willkürlichen Auswahl türkischer Abbauorte — die große Zahl von Lagerstätten erschwerte dieselbe — konnte gehofft werden, einen Querschnitt des für den europäischen Raum interessantesten und größten Chromerzlieferlandes zu erhalten. Es muß jedoch hervorgehoben werden, daß auf Grund der gefundenen Ergebnisse die Zahl der ausgewählten Fundorte für eine zusammenfassende Aussage bezüglich türkischer Lagerstätten zu gering erscheint und es wäre sicherlich eine dankenswerte Aufgabe, diese Untersuchungen in einem größeren Rahmen weiterzuführen.

#### b) Cypern

Das Hauptvorkommen findet sich in den Serpentinmassiven am Nordhang des Khionistra im Troodosgebirge. Es handelt sich um linsenförmige Derberzkörper, die von den umgebenden Serpentin, der im, das Troodosgebirge aufbauenden Diabas auftritt, oft durch gut ausgebildete Harnische getrennt werden. Die Derberze sind häufig von feinsten mit Dunit erfüllten Rissen durchzogen. W. Henckmann (78) hat die Lagerstätte ausführlich beschrieben. P. de Wijkerslooth (193) zählt die Chromitvorkommen (s. auch seine Karte) zum südlichen Ophiolithgebiet alpiner Entstehung wie die Lagerstätten von Guleman. Die untersuchte Probe hatte die Nr. 14.

## c) Albanien

Die vorliegende Probe (Nr. 15) stammt vom Abbauort Piskash im Grubenrevier Pogradec. Dieses Revier ist an die im Osten des Landes verlaufende Peridotitzone gebunden, wobei der Hauptträger der Chromiterze ein Pyroxenperidotit (überwiegend Harzburgit) ist. G. Hiessleitner (82) hat diese Lagerstätten eingehend behandelt. Auch W. Harjes, H. Rohn und O. Verworner (75) haben sich näher mit albanischen Chromerzen befaßt und petrographische Bearbeitungen vorgenommen.

## d) Ural

Von dem ausgewählten russischen Erz (Probe-Nr. 16) ist leider nur der Hinweis auf Material aus dem Ural bekannt, eine nähere Bezeichnung der Lagerstätte konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Es gibt nach der Literatur zahlreiche Chromerzreviere in Nordsüderstreckung an beiden Hängen des Gebirges, die an mehr oder weniger serpentinisierte Ultrabasite des Urals gebunden sind. Nach G. A. Sokolov (155) sind in den chromerzführenden Ultrabasitmassiven Dunite neben Harzburgiten oder Dunite neben Harzburgiten und Lherzoliten entwickelt. Die Chromerzminerale der Lagerstätten des Urals sind nach S. A. Vachromeev (181) im wesentlichen Magnesiumchromit und Chrompicotit, andere Chromitvarietäten sind seltener. Bezüglich der Genese der primären Chromerzlagerstätten werden nur wenige als ausgesprochen gravitative Kristallisationsdifferentiate angesehen, man nimmt viel eher an, daß der überwiegende Teil Ausscheidungen sind, aus bereits vor der Intrusion differenzierten ultrabasischen Magmen, sowie möglicher Cr-angereicherter spätmagmatischer Schmelzen.

## e) Persien (Iran)

Von den zahlreichen Lagerstätten Persiens, jenem Land, das in zunehmendem Maße als Chromerzlieferant auf dem Weltmarkt von Interesse wird, haben wir eine Probe (Proben-Nr. 17) vom Abbauort Esfandaghe in Südostpersien (Provinz Kerman) ausgewählt. H. P. Rechenberg (137) referiert kurz über eine Exkursion in dieses Gebiet. Sehr ausführlich beschreibt H. Schürenberg (151) die südostiranische Chromerzprovinz (mit Übersichtskarte) und führt an, daß die Chromite an ultrabasische Gesteine gebunden sind, die von etwas jüngeren und saureren Gesteinen, wie Gabbros und Dioriten durchbrochen werden. Die Lagerstätten selbst stellen große Vorkommen dar, und setzen gangartig in Form planparalleler Platten oder als unregelmäßige Linsen im Nebengestein auf.

Ferner sei M. Watts (188) erwähnt, der eine Übersicht über den Chromitbergbau im Iran gibt und sich mit der Geologie und der Mineralogie der Lagerstätten auseinandersetzt.

## f) Rhodesien

Die Lagerstätten des Selukwe Distrikts in Südrhodesien (nordöstl. von Bulawayo) zählten lange Zeit zu den größten und bekanntesten Chromitlager-

stätten, s. H. Schneiderhöhn (145) und P. H. Hodges (84). In das hochkristalline Grundgebirge der „Basementschichten“ sind unregelmäßige Massen basischer und ultrabasischer Eruptiva eingedrungen, welche gemeinsam mit ihrer Umgebung metamorphisiert wurden, wobei sie zu Serpentiniten, verkieselten Serpentiniten, Talkschiefern etc. umgewandelt wurden. Die Chromerze sind nur in den verkieselten Serpentiniten und Talkschiefern, also den ehemaligen pyroxenitischen Gesteinen, zu finden. Für die Untersuchungen ist eine Probe (Proben-Nr. 18) aus diesem Chromerzbezirk ausgewählt worden. Die Chromitkörner in diesen Erzen schließen zum Teil eng aneinander und bilden förmlich pflasterartige Texturen, wodurch die Anschliffe sehr gut von anderen Erzen unterschieden werden können, da derart auffällige Ausbildungsformen kaum in anderen Lagerstätten auftreten.

## g) Transvaal (Südafrikanische Union)

Die für die Untersuchung ausgewählte Probe (Proben-Nr. 19) kann auf ihren Abbauort nicht genau angesprochen werden, woraus sich einige Schwierigkeiten ergeben. Nach H. Schneiderhöhn (147) ist der Typus im gesamten Bushveldkomplex gleich, indem alle Chromitlager „schichtige“ Einlagerungen im Bushveld-Norit und zwar stets in der „differenzierten“ Zone (critical zone) der Norit-Gruppe (siehe H. Schneiderhöhn (145)) bilden. Andererseits werden die Lagerstätten des Bushvelds in zwei große Abbaubezirke geteilt und zwar im Osten in den Lydenburg-Bezirk und im Westen in den Rustenburg-Bezirk. Von den zahlreichen Autoren, die sich mit der Geologie, Mineralogie, dem Bergbau und der Wirtschaftlichkeit befaßt haben, seien nur einige zitiert, bei denen weitere Literaturhinweise nachgeschlagen werden können, so u. a. G. P. Furie (52), A. L. Hall (69), S. H. Haughton (76), H. Schneiderhöhn (145), (147), C. F. J. Vander Walt (183) und B. Wasserstein (187). Es wird in den Arbeiten darauf hingewiesen, daß durchwegs zwei bauwürdige Erztypen unterschieden werden und zwar ein mit zersetzten Gangarten durchzogenes bröckeliges („friable“) Erz und ein hartes Stückerz („hard lump“). Der erstere Erztyp überwiegt bei weitem. Die  $Fe_2O_3$ -Gehalte in diesen Erzen sind relativ hoch, sie übersteigen meist 20%. Der in den Erzen auftretende Spinell ist nach S. H. Haughton (76), R. Allen und G. E. Howling (2) Chrompicotit. Es wird aufgezeigt, daß die Zusammensetzung des Chromits in den einzelnen „Flözen“ gewissen Schwankungen im Streichen, sowie senkrecht dazu unterworfen sei und zwar wäre der Chromgehalt im Dach geringer als an der Basis. Die Fe- und Mg-Gehalte dagegen würden sich nicht ändern. Demnach wäre es natürlich zweckmäßig, den Abbauort der untersuchten Proben zu kennen, da möglicherweise doch Unterschiede im gesamten Bushveld-Komplex herausgefunden werden könnten. Wie unter dem Abschnitt Türkei, so ist auch hier anzuführen, daß eine eingehendere Untersuchung des Bushveldkomplexes in bezug auf ein evtl. vorhandenes unterschiedliches Reflexionsvermögen von Interesse wäre.

## h) Philippinen

Von den zahlreichen Chromitvorkommen auf den Philippinen sind für die keramische Industrie speziell jene des Masinloc-Bezirktes auf Luzon in der Provinz Zampales von Interesse, weshalb eine Probe (Proben-Nr. 20) dieser Lagerstätte für die Untersuchungen ausgewählt worden ist. Das Vorkommen besteht aus einem einzigen Erzkörper, der in grobkörnigen gebänderten Orthopyroxengabbro eingelagert ist. Serpentinisierter Peridotit, welcher aus vorwiegend Saxoniten und untergeordnet Duniten hervorgegangen ist, wird von Gabbros und Dioriten umgeben, welche als Gänge in feinkörnigen Abarten, sowohl das Erz, als auch das Nebengestein durchziehen (3). Das Erz selbst ist nach W. F. Boerike (20) auffallend einheitlich. Der  $Al_2O_3$ -Gehalt ist in diesen Erzen sehr hoch und liegt häufig um 30%. Mit der Lagerstätte Masinloc haben sich auch W. C. Stoll (159) und D. L. Rossman et al (142) eingehend beschäftigt.

## i) Kuba

Als letzte Probe (Proben-Nr. 21) haben wir noch kubanisches Erz in die Untersuchung einbezogen, wobei auch hier, wie bei einigen anderen Proben, der genaue Abbauort nicht bekannt ist. Da für die keramische Industrie hauptsächlich aus dem Camagüey-Distrikt geliefert wurde, ist anzunehmen, daß die Probe von diesem Vorkommen stammt (siehe T. P. Thayer (166)). Die Chromvererzung ist an Ultrabasite gebunden, die vor der Oberkreide in Metamorphite unbekanntes Alters intrudierten. Der ultrabasische Eruptivkomplex besteht nach T. P. Thayer (166), D. E. Flint, J. F. DeAlbear und P. W. Guild (50) aus den feldspatfreien Ultrabasiten Peridotit und Dunit und den feldspatführenden Gesteinen Gabbro, Troktolith und Anorthosit. Dieser Eruptivkomplex wird noch von jüngeren Dioriten, Gabbros und Diabasen durchsetzt. Die Peridotite und Dunit sind teilweise oder vollkommen serpentinisiert. Die Chromvererzung findet sich unterhalb der Gabbroschicht und konzentriert sich in den obersten Teilen der ultrabasischen Gesteine. Die Vorkommen bestehen aus langgestreckten oder nierenförmigen Linsen, aber auch tafeligen bis gangförmigen Erzkörpern. Es liegen meist gebänderte Sprenkelerze oder Derberze vor und als Gangarten findet man überwiegend Serpentin, Olivin und Bytownit.

## D) Bestimmung des Reflexionsvermögens an den einzelnen Proben

Eines der wichtigsten Identifizierungsverfahren ist in der Mineralogie die Messung des Reflexionswertes, speziell in der Erzmikroskopie. Der Wert des Reflexionsvermögens (RV) in Kombination mit der Mikrohärtigkeit (VHN = Vickers hardness number) ist nach S. H. U. Bowie und K. Taylor (24) zur Identifizierung von Erzmineralien und damit selbstverständlich von allen opaken Mineralien, wie dies schon von S. Koritnig (92) aufgezeigt wurde, besonders geeignet. W. Uytendogaardt und S. H. U. Bowie (178) berichten, daß anlässlich des

1964 stattgefundenen Treffens der Internationalen Mineralogischen Gesellschaft, Kommission für Erzmikroskopie in Neu Dehli ein Vorschlag für eine Zusammenstellung von Tabellen quantitativer Daten für die Erzmikroskopie unterbreitet wurde, wobei die Reflexionseigenschaft der Erze eine hervorragende Rolle spielte. Auch K. v. Gehlen (61) weist bereits 1965 darauf hin, daß verschiedene Firmen (siehe u. a. die Arbeiten (42), (43), (45), (58), (59), (100), (106), (126), (189)) verbesserte Meßgeräte für das Reflexionsvermögen der Erzminerale herstellen und bezeichnet das RV als das wichtigste quantitative Bestimmungsmerkmal. F. Trojer (175) zeigt ebenfalls den Wert von Reflexionsmessungen auf und betont die Dringlichkeit, derartige Bestimmungen durchzuführen. In der Metallographie hat nach R. Mitsche (109), R. Mitsche und H. Scheidl (110) die Anwendung der quantitativen Mikroreflexionsmessung ebenfalls ihren Eingang gefunden, nachdem die apparative Voraussetzung gegeben war, daß verlässliche, sicher reproduzierbare und ohne großen Zeitaufwand vorzunehmende Messungen auch an kleinsten Gefügebestandteilen durchgeführt werden konnten. H. Scheidl und R. Mitsche (143) führen in ihrer Arbeit aus, daß die Mikroreflexionsmessung auch neben einer Mikrosonde durchaus sinnvoll betrieben werden kann und daß die genaueren Reflexionswerte zusammen mit den morphologischen Eigenschaften zum Großteil eine sichere Identifizierung der entsprechenden Phasen erlauben. Auch in der Kohlenpetrographie wird die Reflexionsmessung zur Bestimmung des Inkohlungsgrades und der Gehalte an flüchtigen Bestandteilen herangezogen, wie u. a. aus den Arbeiten von A. Dahme, M. Th. Mackowsky (40) und K. Köttler (93) hervorgeht. Damit wird die Bedeutung dieses Bestimmungsverfahrens mehr als deutlich vor Augen geführt. Die grundlegenden Arbeiten, speziell zur Klärung der Theorie der Reflexion des Lichtes an absorbierenden Medien, stammen von M. Berek (z. B. 8), der ja auch das Mikroskopphotometer zur Messung der Reflexionsintensität eines absorbierenden Mediums entwickelt hat.

Das Reflexionsvermögen RV ist bekanntlich das Verhältnis der Intensität des reflektierenden Lichtes zu der des einfallenden Lichtes

$$RV = \frac{I_R}{I_E}$$

und wird für den Einfallswinkel  $0^\circ$  verstanden. Bei optischer Isotropie der Kristalle, wie dies für die untersuchten Chromspinnelle der Fall ist, kann die Lage der Schwingungsebene beliebig sein. Über die theoretischen Grundlagen und die Meßmethodik für die Bestimmung des RV liegt eine ausführliche Arbeit von M. Berek (9) vor, aus welcher u. a. hervorgeht, daß reproduzierbare Werte, die nur innerhalb der Meßgenauigkeit streuen sollen, dann erhalten werden, wenn das Azimut der Schwingungsebene des Polarisators gegen die Einfallsebene, also die Ebene des Opakilluminators  $45^\circ$  beträgt. Es müssen daher alle Messungen des RV, besonders wenn stärkere Objekte verwendet werden, bei denen die numerische

Apertur zunimmt, grundsätzlich unter dem Schwingungszimut  $45^\circ$  ausgeführt werden. Daß noch zahlreiche mögliche Fehlerquellen bei den Reflexionsmessungen zu berücksichtigen sind, kann den Arbeiten von H. Piller, K. v. Gehlen (127) und H. Piller (128) entnommen werden. In letzterer Arbeit wird z. B. auf die Einflußgröße des von E. Stach und H. Ch. Michels (157) als Eigenreflexion der Objektive bezeichnenden Effektes (primary and secondary glare) hingewiesen, eine Erscheinung, die schon von den französischen Autoren J. OrceI (123) und L. Capdecorme (35) 1936 als "eclairment parasite" bezeichnet wurde. Auf Grund der in diesen Arbeiten aufgezeigten Erkenntnisse wurde versucht, die möglichen Fehlerquellen bei den Messungen weitestgehend zu vermeiden und auszuschließen.

Grundsätzlich muß wiederholt werden, daß alle Bestimmungen des RV relativ sind und sich auf eine Basis mit bekanntem Wert beziehen. Bei der objektiven Methode, die bei den Messungen angewandt wurde, wird die Intensität des reflektierenden Lichtes mit einer Photozelle gemessen. Als Basis ist ein Eichstandard der Firma E. Leitz verwendet worden (Standard Nr. 34), der für drei Wellenlängen folgende Werksangaben aufwies:

Tabelle 1

468 m $\mu$	548 m $\mu$	589 m $\mu$
87,0 %	88,8 %	89,0 %
27,6 %	26,1 %	24,6 %
15,9 %	15,2 %	14,5 %
4,64 %	4,56 %	4,50 %
mittlerer Fehler: $\pm 2\%$ relativ		

Das verwendete Meßgerät, ein Wechsellichtphotometer von E. Leitz (Abb. 2) hat eine elektrische Anzeige und der Lichtstrahlempfänger ist ein Multiplier Type Fernseh GmbH FS 9-C (Sekundärelektronenvervielfacher). Das Instrument arbeitet nach dem Zweistrahlengangverfahren und ist praktisch eine Weiterentwicklung des seinerzeit nach den Angaben von M. Berek entwickelten Mikroskopphotometers, welches von H. Ehrenberg (44) und F. Trojer (175) ausführlicher beschrieben wurde. Die Intensitätsmessung der beiden Strahlengänge erfolgt gleichzeitig durch den Lichtstrahlenempfänger über eine Schwingblende. Wenn beide Intensitäten gleich stark sind, fällt auf die Photokathode ein konstanter Lichtstrom, dementsprechend wird vom Multiplier ein Photogleichstrom abgegeben. Das Anzeigerinstrument zeigt 0 an. Werden die Intensitäten ungleich, entsteht ein Wechselstrom, der vom Instrument über den Verstärker und Phasengleichrichter angezeigt wird. Die

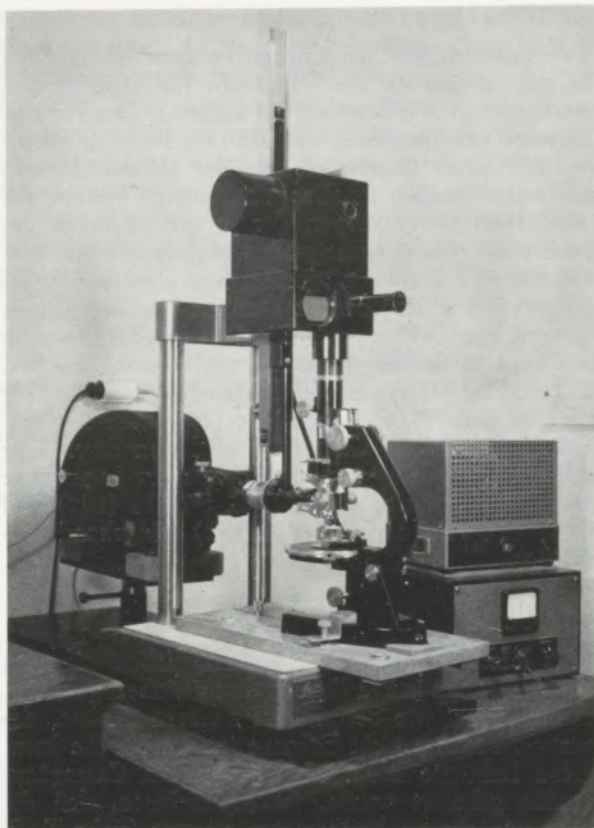


Abb. 2

Nullstellung wird wieder hergestellt, wenn die Intensität des Vergleichsstrahles an die des Objektstrahles angeglichen wird, was durch einen drehbaren Nicol erreicht werden kann, der in den Vergleichsstrahlengang des linear polarisierten Lichtes eingeschaltet ist. Dieser drehbare Nicol ist mit einem Ableseteilkreis gekoppelt, der jederzeit die Azimutalstellung des Nicols eruieren läßt ( $\sigma$ ). Nachdem die Eichung des Instrumentes in derselben Weise erfolgt wie die Messung und für den Standard ein  $\sigma_0$  mit einem  $RV_0$  erhalten wird, so ergibt sich folgende Gleichung für das zu bestimmende RV:

$$RV = \frac{\sin^2 \sigma}{\sin^2 \sigma_0} \cdot RV_0$$

Bei der Messung des Standards wird die Nullabgleichung dadurch erreicht, daß man in den Vergleichsstrahlengang vor der Meßeinrichtung ein weiteres Nicolsystem zur Grobeinstellung und eine Gitterplatte zur Feineinstellung einschaltet. Der Meßnicol wird dabei in eine bestimmte vorgegebene Azimutalstellung gebracht und nicht verändert. Nach der optischen und elektrischen Nullabgleichung des Standards darf während der Messung nur mehr der Meßnicol betätigt werden, alle anderen Änderungen würden falsche Werte resultieren lassen.

Die Messungen erfolgen im monochromatischen Licht, wobei möglichst Licht definierter Wellenlängen verwendet werden soll. Die Kommission für Erz- und Mineralogie der International Mineralogical Asso-

Tabelle 2

Bezeichnung	Schwerpunkt (nm)	Maximum (nm)	effektive Halbwertsbreite (nm)	Gesamt-Transmissionsgrad (%)
45	443	435	49	52,7
50	503	500	60	138,0
53	523	516	40	115,5
59 *)	*)	*)	*)	*)
60	598	605	30	18,3
64	636	—	39	12,7

\*) hiefür wurde ein Filter verwendet, welches geringere Halbwertsbreite aufweist und noch sehr gut als Monochromatfilter angesprochen werden kann (Kenndaten liegen hiefür leider keine vor).

ciation empfahl dafür die Wellenlängen 470, 546, 589 und 650 nm (m $\mu$ ).

Für die Messungen an den Chromspinellen sind aber die Filtersätze von E. Leitz verwendet worden, die dem Photometer beigegeben waren und zum Teil den Schwerpunkten der Fraunhoferschen Linien C, D und E entsprechen. Nach den Angaben der Firma E. Leitz (98) haben die Breitbandspektralfilter folgende Kenngrößen (Tabelle 2).

Vor Beginn der Messungen war vorerst die Forderung aufgestellt worden, das Gerät auf seine Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu überprüfen. Freundlicherweise hat sich Herr Prof. W. Uytenbogaardt von der Vrije Universiteit in Amsterdam bereit erklärt, an seinem Institut Vergleichsmessungen an Chromerzproben vorzunehmen. Die Proben (Einzelerzstücke) wurden hiefür halbiert, getrennt in Amsterdam und in Radenthein nach der jeweils eingebürgerten Poliermethode poliert und vermessen. Danach sind die Schriffe ausgetauscht worden um die

Messungen zu wiederholen und den Einfluß der beiden Poliermethoden, sowie die Gerätedifferenzen festzustellen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

W. Uytenbogaardt lieferte zu den Meßergebnissen folgende Angaben: Die Messungen wurden von Fil. Lic. E. A. J. Burke in der Abteilung für Mineralogie und Petrologie, Inst. für Erdwissenschaften der Freien Universität Amsterdam durchgeführt.

Die Messungsverhältnisse waren:

Mikroskop: Leitz Ortholuxpol

Photometer: Leitz MPE mit Photomultiplier V F & 9 A

Filter: Interferenzverlauffilter VERIL B-200 Nr. B-400207 (Jenaer Glaswerke Schott & Gen. Mainz)

Standard: SiC, kalibriert auf 20,1 % bei 546 nm gegen einen SiC Standard, gemessen vom National Physical Laboratory (London).

Tabelle 3

Probe	Schliffherstellung Radenthein		Schliffherstellung Amsterdam	
	Meßg. Radenth. 530 nm	Meßg. Amsterd. 546 nm	Meßg. Radenth. 530 nm	Meßg. Amsterd. 546 nm
Madaran 1	11,5	11,9	11,9	12,3
Madaran 2	11,9	12,4	12,8	13,3
Pozanti 1	12,3	12,6	12,8	13,3
Pozanti 2	11,7	12,1	12,3	12,8
Gölalan	11,4	11,9	11,9	12,0
Philippin.	9,9	10,1	10,4	10,9
Leitz Standard	29,3	—	29,3	—
Standard SiC	—	20,1	—	20,1



Beleuchtungsblende geschlossen bis auf  $1/4$  des max. Durchmessers.

Beleuchteter Durchmesser des Objektes 0,3 mm.  
Durchmesser des gemessenen Gebietes 20 Mikron.

(Luft) Objektiv : 16 x.

Num. Ap. : 0,40.

“Primary glare“ und “secondary glare“ zu vernachlässigen.

Meßgenauigkeit  $\pm 0,2\%$ .

In Radenthein waren die Meßverhältnisse wie folgt:

Wechsellichtphotometer von Leitz mit Photomultiplier Fernseh GmbH FS 9-C.

Filter: Breitbandfilter E. Leitz 530, Halbwertsbreite 40 nm, (s. Tabelle 2).

Standard: von E. Leitz Nr. 24 mit folgenden Werksangaben, 546 nm = 29,3 %, 589 nm = 28,2 % und 656 nm = 26,7 % mittl. rel. Fehler  $\pm 1,5\%$ .

Beleuchteter Durchmesser des Objektes: 0,18 mm

Durchmesser des gemessenen Gebietes: 12 Mikron

Num. Ap. 0,85

“Primary glare“ und “secondary glare“ zu vernachlässigen.

Meßgenauigkeit  $\pm 0,3\%$ .

Wie aus den ermittelten Werten ersichtlich, ist bei ein und derselben Poliermethode der Unterschied mit durchschnittlich 0,4 R % relativ gering und kann seine Ursache in den differierenden Wellenlängenwerten haben. Wesentlich deutlicher ist die Differenz, die auf die unterschiedliche Schliffherstellung zurückzuführen ist. Sie liegt durchschnittlich um 0,5 R %. Leider ist der Fehler nicht „konstant“. Daß die Oberflächenpolitur einen Einfluß auf das Reflexionsvermögen ausübt, wurde von M. Berek (8), (10) und F. Rinne—M. Berek (141) schon aufgezeigt, eingehend untersucht und theoretisch begründet. Aus diesen Arbeiten geht hervor, daß die Veränderungen der Oberfläche während der Politur sich in einer Reflexionsverminderung auswirken und da gerade in der Industriemineralogie fast ausschließlich mit polierten Materialien gearbeitet wird, muß dieser Tatsache Rechnung getragen werden. Selbst wenn man die Forderung, stets nur frisch polierte Anschliffe zur Messung des RV zu benützen, nachkommt (was in beiden Fällen von Amsterdam und Radenthein eingehalten wurde), werden trotzdem noch Einflüsse wirksam, die immerhin eine Differenz von einem halben Prozent ergeben können. Daraus resultiert, daß auf Grund der unterschiedlichen Schliffherstellung in Instituten, Untersuchungsanstalten und sonstigen mineralogischen Labors stets mit einer Abweichung vom „wahren“ Reflexionsvermögen gerechnet werden muß, solange der Poliervorgang nicht genormt wird. Diese Überlegungen sind den nachfolgend aufgezeigten Resultaten voranzustellen und die Reflexionswerte müssen immer in Kombination mit der Poliermethode betrachtet werden. Im vorliegenden Falle handelt es sich um das Reflexionsvermögen nach Holzscheibenpolitur. Es darf aber noch darauf hinge-

wiesen werden, daß die Vergleichsmessungen mit Amsterdam immerhin aufgezeigt haben, daß die Streuung sehr gering ist und noch toleriert werden kann.

Bezüglich der Reflexionswerte von Chromit stützen sich die meisten Angaben in der Literatur auf die von P. Ramdohr (133) angegebenen Werte (s. Tabelle 4).

Tabelle 4

Photometerokular	in Luft	in Öl
grün	15 %	4 %
orange	12,5 %	3,5 %
rot	12,5 %	n. b.

Auch in den Arbeiten von F. Trojer (175), (176), findet sich für  $\text{FeCr}_2\text{O}_4 = 12,5\%$  in Luft für Na-Licht, ebenso bei R. Mitsche und H. Scheidl (110). G. Horninger (85) zeigt für die von ihm untersuchten Chromite Werte auf, die darunter liegen, während sie bei R. E. Folinsbee (51), der seine Werte für weißes Licht angibt, darüber liegen.

Die bei 6 verschiedenen Wellenlängen (s. Tabelle 2) gemessenen Chromerzproben ließen die in den Abb. 3 — 7 aufgezeigten Kurven ermitteln, wobei sich herausstellte, daß gewisse Proben sehr ähnliches Reflexionsverhalten bei verschiedenen Wellenlängen zeigen. Sie wurden jeweils zu einer Gruppe zusammengefaßt und in einem Diagramm festgehalten. Zur weiteren Beurteilung ist außerdem von jeder Chromerzprobe eine Gesamtanalyse durchgeführt worden (Analytiker H. Nagy und H. Prosche, Analytisches Labor der ÖAMAG) und von der auch mineralogisch untersuchten Körnung wurde eine Bestimmung von  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  und Glv. vorgenommen. Des weiteren ist die Dichte der Gesamtprobe gemessen worden. Diese Resultate sind tabellarisch (siehe Tabellen 5 — 9), ebenfalls wieder nach der auf Grund des Reflexionsverhaltens gebildeten Gruppen zusammengefaßt. Die angegebenen Reflexionswerte sind Mittelwerte von Messungen an je 10 Körnern und in Klammern wurden die höchsten und niedersten Werte zur Festlegung der Streubreite festgehalten.

Bezüglich der Messungen in Luft und Öl müssen noch folgende Meßkenndaten festgehalten werden:

In Luft gelten dieselben Kenndaten wie bei der Vergleichsmessung mit Amsterdam, nur daß als Eichkörper ein solcher von E. Leitz mit der Nr. 34 (s. Tabelle 1) verwendet wurde.

In Ölimmersion waren folgende zusätzliche Kenndaten gegeben:

Immersionöl: Zedernholzöl  $n = 1,515$

Beleuchteter Durchmesser des Objektes: 0,14 mm  
Durchmesser des gemessenen Gebietes: 9,5 Mikron,  
Num. Ap.: 0,95.

Tabelle 5  
Meßergebnisse, Gruppe 1 (siehe Abb. 3)

Proben-Nr. Fundland: Fundort:	9 Türkei Göllalan	10 Türkei Kefdag	11 Türkei Kavak	14 Cypern —	17 Persien Esfandaghe	18 Rhodesien Selukwe
Durchschnitts- analyse:						
SiO <sub>2</sub>	5,12	4,99	2,45	4,18	3,16	4,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,80	16,33	18,60	17,38	15,04	18,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,06	13,23	9,88	14,30	9,14	13,67
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,02	47,73	54,65	48,00	54,61	50,92
CaO	0,42	0,32	0,15	0,15	0,16	—
MgO	17,70	18,15	15,45	15,70	16,75	14,16
Glv.	1,15	0,80	+ 0,04	0,85	2,20	+ 0,1
Cr/Fe	3,10	2,86	2,88	2,70	3,55	2,75
Dichte	4,01	4,03	4,25	4,02	4,08	4,09
Körnungsanalyse (0,3 — 3 mm):						
SiO <sub>2</sub>	5,37	4,50	2,31 *	3,51	2,61	4,31
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,04	48,26	54,25 *	48,52	55,19	51,28
Glv.	1,34	0,63	0,10 *	1,08	2,24	+ 0,03
Reflexions-% in Luft:						
450	12,0 (12,5 — 11,8)	11,6 (12,5 — 11,0)	11,9 (12,4 — 11,3)	11,6 (12,0 — 11,1)	11,9 (12,4 — 11,1)	11,6 (11,9 — 11,1)
500	11,4 (12,1 — 11,2)	11,2 (11,8 — 10,6)	11,8 (12,0 — 11,7)	11,5 (12,0 — 11,2)	11,8 (12,1 — 11,4)	11,2 (11,6 — 10,6)
530	11,9 (12,6 — 11,4)	11,2 (12,2 — 10,7)	11,7 (12,0 — 11,5)	11,7 (12,0 — 11,1)	11,9 (12,6 — 11,4)	11,4 (11,8 — 11,2)
590	11,4 (12,0 — 10,8)	11,4 (11,6 — 10,5)	11,0 (11,2 — 10,7)	10,8 (11,4 — 10,5)	11,3 (12,0 — 10,8)	11,0 (11,3 — 10,7)
600	11,7 (13,3 — 11,3)	11,7 (12,0 — 11,4)	11,4 (11,6 — 11,0)	11,1 (11,6 — 10,9)	11,4 (11,8 — 10,7)	11,0 (11,4 — 10,6)
640	11,4 (12,3 — 11,0)	11,6 (12,2 — 11,2)	11,9 (12,1 — 11,5)	11,2 (11,5 — 10,5)	11,7 (12,6 — 11,2)	11,1 (11,6 — 10,7)
Reflexions-% in Öl:						
450	3,2 ( 3,5 — 3,0)	2,9 ( 3,3 — 2,6)	3,1 ( 3,3 — 3,0)	2,7 ( 2,9 — 2,4)	3,6 ( 3,8 — 3,5)	3,9 ( 4,2 — 3,7)
500	3,0 ( 3,4 — 2,9)	2,9 ( 3,2 — 2,7)	2,4 ( 2,5 — 2,3)	2,9 ( 3,0 — 2,7)	2,7 ( 2,9 — 2,6)	3,2 ( 3,4 — 2,9)
530	2,5 ( 2,8 — 2,3)	2,6 ( 2,8 — 2,4)	2,6 ( 2,8 — 2,5)	2,6 ( 2,7 — 2,4)	2,8 ( 3,0 — 2,7)	2,9 ( 3,2 — 2,6)
590	2,5 ( 2,7 — 2,3)	2,4 ( 2,7 — 2,1)	2,8 ( 2,8 — 2,5)	2,3 ( 2,5 — 2,1)	2,5 ( 2,6 — 2,4)	2,5 ( 2,7 — 2,3)
600	2,0 ( 2,4 — 1,9)	2,0 ( 2,3 — 1,9)	1,9 ( 2,0 — 1,8)	2,1 ( 2,2 — 1,9)	2,4 ( 2,5 — 2,2)	2,1 ( 2,4 — 1,9)
640	2,4 ( 2,6 — 2,2)	2,3 ( 2,6 — 2,1)	2,4 ( 2,5 — 2,2)	2,6 ( 2,8 — 2,3)	2,3 ( 2,4 — 2,2)	2,5 ( 2,8 — 2,4)

\* Körnung 0 — 3 mm

Tabelle 6  
 Meßergebnisse, Gruppe 2 (siehe Abb. 4)

Proben-Nr. Fundland: Fundort:	4 Türkei Taroni	12 Türkei Orku	13 Türkei Ilikdere	19 Südafrik. Union „Transvaal“
Durchschnitts- analyse:				
SiO <sub>2</sub>	4,83	3,87	3,37	2,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,48	14,05	14,45	30,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,78	10,35	14,80	15,84
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,66	53,98	50,17	43,38
CaO	1,06	0,60	0,05	0,20
MgO	15,85	17,33	17,53	10,01
Glv.	0,48	1,73	0,64	1,70
Cr/Fe	2,77	3,75	3,55	1,42
Dichte	4,07	4,0	4,07	4,28
Körnungsanalyse (0,3 — 3 mm):				
SiO <sub>2</sub>	3,85	3,31	2,76	2,47
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,75	54,35	51,17	43,38
Glv.	0,35	1,76	0,76	1,70
Reflexions-% in Luft:				
450	12,2 (12,4 — 11,4)	11,8 (12,2 — 11,3)	11,7 (12,7 — 11,3)	12,2 (12,6 — 11,6)
500	12,0 (12,7 — 11,2)	11,6 (12,0 — 11,2)	12,0 (12,4 — 11,8)	11,8 (12,3 — 11,3)
530	11,9 (12,0 — 11,0)	11,4 (11,8 — 11,0)	12,0 (12,4 — 11,5)	12,0 (12,6 — 10,7)
590	11,5 (12,0 — 11,1)	11,6 (12,0 — 11,1)	11,4 (12,1 — 11,1)	11,2 (11,8 — 10,5)
600	11,7 (12,4 — 10,9)	11,7 (12,0 — 11,6)	11,4 (11,7 — 10,8)	11,4 (12,0 — 10,3)
640	11,9 (12,5 — 11,2)	11,5 (12,3 — 11,0)	11,4 (11,9 — 10,5)	11,6 (12,0 — 10,7)
Reflexions-% in Öl:				
450	3,0 ( 3,2 — 2,8)	3,3 ( 3,4 — 3,0)	2,7 ( 3,0 — 2,5)	3,0 ( 3,1 — 2,8)
500	2,4 ( 2,6 — 2,2)	2,8 ( 2,9 — 2,5)	2,6 ( 2,8 — 2,4)	2,8 ( 2,9 — 2,5)
530	2,4 ( 2,5 — 2,2)	2,8 ( 2,9 — 2,6)	2,6 ( 2,8 — 2,4)	2,7 ( 2,9 — 2,5)
590	2,3 ( 2,4 — 2,1)	2,5 ( 2,6 — 2,2)	2,2 ( 2,4 — 2,1)	2,6 ( 2,8 — 2,4)
600	2,0 ( 2,1 — 1,9)	2,1 ( 2,2 — 1,9)	2,0 ( 2,2 — 1,9)	2,2 ( 2,4 — 2,0)
640	2,1 ( 2,2 — 1,9)	2,3 ( 2,5 — 2,1)	2,4 ( 2,5 — 2,2)	2,4 ( 2,5 — 2,1)

Tabelle 7  
 Meßergebnisse, Gruppe 3 (siehe Abb. 5)

Proben-Nr. Fundland: Fundort:	5 Türkei Pozanti	6 Türkei Murat	7 Türkei Gölalan	8 Türkei Elazig	21 Cuba —
Durchschnitts- analyse:					
SiO <sub>2</sub>	3,54	3,67	5,49	4,92	3,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,80	15,84	14,75	15,36	16,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,49	13,24	14,52	12,15	26,40
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,59	52,05	46,58	50,61	35,96
CaO	0,28	0,07	0,76	0,17	0,30
MgO	15,95	16,48	17,37	16,91	16,36
Glv.	0,92	0,37	2,11	0,95	1,82
Cr/Fe	2,79	3,22	3,10	3,22	2,13
Dichte	4,06	4,12	3,95	4,01	3,85
Körnungsanalyse (0,3 — 3 mm):					
SiO <sub>2</sub>	3,63	3,37	4,65	4,25	3,45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48,87	52,73	46,87	51,43	40,09
Glv.	0,89	0,70	1,96	1,02	0
Reflexions-% in Luft:					
450	12,4 (13,2 — 11,3)	12,0 (12,5 — 11,7)	12,2 (12,7 — 11,3)	12,2 (12,9 — 11,7)	12,9 (14,6 — 12,0)
500	12,0 (13,2 — 10,9)	11,3 (11,8 — 10,9)	12,1 (12,7 — 11,5)	11,5 (12,0 — 11,0)	11,7 (13,6 — 10,7)
530	11,8 (12,9 — 10,5)	11,5 (11,9 — 10,6)	11,7 (12,2 — 10,9)	11,7 (12,4 — 11,3)	11,3 (13,0 — 9,9)
590	11,1 (11,9 — 10,5)	11,4 (12,1 — 11,0)	11,8 (12,4 — 11,0)	11,2 (12,0 — 10,7)	11,7 (13,3 — 10,5)
600	10,8 (12,0 — 9,5)	10,6 (11,2 — 10,0)	10,8 (11,4 — 10,1)	10,7 (11,1 — 10,0)	11,0 (12,9 — 10,0)
640	11,5 (12,6 — 10,0)	11,8 (12,2 — 10,8)	11,9 (12,9 — 11,3)	11,5 (11,9 — 11,0)	11,6 (13,3 — 10,5)
Reflexions-% in Öl:					
450	2,8 ( 3,3 — 2,5)	3,0 ( 3,3 — 2,5)	3,0 ( 3,3 — 2,6)	3,4 ( 3,6 — 3,3)	2,4 ( 3,5 — 2,0)
500	2,7 ( 2,9 — 2,4)	2,6 ( 2,8 — 2,5)	3,1 ( 3,3 — 2,9)	2,7 ( 2,8 — 2,6)	2,8 ( 3,8 — 2,4)
530	2,3 ( 2,5 — 1,9)	2,6 ( 2,8 — 2,3)	2,8 ( 3,0 — 2,5)	2,4 ( 2,5 — 2,3)	2,2 ( 3,1 — 1,9)
590	2,3 ( 2,5 — 2,1)	2,5 ( 2,6 — 2,2)	2,3 ( 2,4 — 2,0)	2,6 ( 2,7 — 2,3)	2,1 ( 3,0 — 1,8)
600	2,0 ( 2,2 — 1,7)	2,3 ( 2,5 — 2,1)	2,0 ( 2,1 — 1,7)	1,9 ( 2,0 — 1,9)	2,1 ( 2,8 — 1,6)
640	2,2 ( 2,4 — 1,9)	2,3 ( 2,5 — 2,1)	2,3 ( 2,4 — 2,0)	2,3 ( 2,4 — 2,2)	2,2 ( 3,0 — 1,7)

Tabelle 8  
 Meßergebnisse, Gruppe 4 (siehe Abb. 6)

Proben-Nr. Fundland: Fundort:	1 Türkei Cevislik	2 Türkei Büsigian	3 Türkei Madaran	16 Rußland „Ural“
Durchschnitts- analyse:				
SiO <sub>2</sub>	3,18	3,18	3,84	5,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,12	16,68	18,15	20,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,06	15,09	14,70	16,72
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,81	48,79	47,10	38,72
CaO	0,10	0,46	0,20	2,43
MgO	16,90	16,45	16,82	14,95
Glv.	0,84	0,64	0,79	2,34
Cr/Fe	3,03	2,86	2,54	1,88
Dichte	4,0	4,06	4,02	3,88
Körnungsanalyse (0,3 — 3 mm):				
SiO <sub>2</sub>	3,72	2,83	3,56	5,55
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46,05	49,21	48,70	38,45
Glv.	1,22	0,77	0,81	2,27
Reflexions-% in Luft:				
450	10,9 (11,3 — 10,5)	11,3 (11,7 — 10,7)	11,3 (11,9 — 10,7)	11,4 (12,0 — 11,1)
500	10,5 (10,7 — 10,1)	10,9 (11,3 — 10,5)	10,8 (11,4 — 10,3)	10,9 (11,3 — 10,6)
530	10,2 (10,5 — 9,5)	10,6 (10,9 — 10,2)	11,0 (11,5 — 10,4)	10,6 (11,2 — 10,1)
590	10,8 (11,2 — 10,1)	11,4 (11,8 — 10,8)	11,4 (11,7 — 10,9)	11,0 (11,3 — 10,7)
600	10,8 (11,2 — 10,3)	11,3 (11,8 — 10,8)	11,6 (12,0 — 11,0)	11,0 (11,4 — 10,8)
640	10,4 (10,6 — 10,0)	10,9 (11,4 — 10,3)	10,9 (11,4 — 10,0)	11,1 (11,4 — 10,7)
Reflexions-% in Öl:				
450	2,9 ( 3,3 — 2,7)	3,4 ( 3,6 — 3,5)	3,5 ( 3,7 — 3,1)	2,7 ( 2,8 — 2,5)
500	2,9 ( 3,2 — 2,7)	2,6 ( 2,8 — 2,5)	2,7 ( 2,9 — 2,3)	2,7 ( 2,8 — 2,6)
530	2,8 ( 3,2 — 2,7)	2,6 ( 2,7 — 2,5)	2,5 ( 2,7 — 2,2)	2,6 ( 2,8 — 2,5)
590	2,4 ( 2,6 — 2,1)	2,6 ( 2,7 — 2,5)	2,5 ( 2,6 — 2,3)	2,7 ( 2,7 — 2,5)
600	2,0 ( 2,2 — 1,7)	1,8 ( 2,0 — 1,7)	2,0 ( 2,2 — 1,7)	2,0 ( 2,0 — 1,9)
640	2,3 ( 2,5 — 2,1)	2,5 ( 2,6 — 2,3)	2,2 ( 2,3 — 2,0)	2,3 ( 2,4 — 2,1)

Tabelle 9  
Meßergebnisse, Gruppe 5 (siehe Abb. 7)

Proben-Nr. Fundland: Fundort:	20 Philippinen Masinloc	15 *) Albanien Pogradec
Durchschnitts- analyse:		
SiO <sub>2</sub>	4,88	9,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,42	14,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28,42	8,30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,13	44,69
CaO	0,52	0,08
MgO	18,39	21,81
Glv.	0,75	2,55
Cr/Fe	1,93	3,02
Dichte	3,82	3,76
Körnungsanalyse *) (0,3 — 3 mm):		
SiO <sub>2</sub>	n. b.	1,52
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	n. b.	55,70
Glv.	n. b.	+ 0,27
Reflexions-% in Luft:		
450	10,1 (10,7 — 9,6)	13,4 (14,2 — 12,7)
500	9,7 (10,1 — 9,3)	12,8 (13,3 — 11,8)
530	9,2 (10,0 — 8,8)	12,0 (12,7 — 10,6)
590	10,3 (10,2 — 9,5)	12,1 (12,5 — 11,5)
600	10,3 (10,8 — 9,7)	11,8 (12,5 — 11,2)
640	10,2 (10,7 — 9,8)	12,1 (12,6 — 11,5)
Reflexions-% in Öl:		
450	2,3 ( 2,5 — 2,1)	3,1 ( 3,4 — 2,7)
500	2,1 ( 2,2 — 2,0)	3,2 ( 3,7 — 2,9)
530	1,8 ( 1,9 — 1,7)	2,8 ( 3,1 — 2,6)
590	1,6 ( 1,6 — 1,4)	2,5 ( 2,9 — 2,3)
600	1,6 ( 1,8 — 1,5)	2,3 ( 2,5 — 2,0)
640	1,8 ( 1,9 — 1,5)	2,5 ( 2,7 — 2,3)

\*) Zur Untersuchung gelangten einige grobkörnige Stücke über 10 mm mit weitgehender Drückung der Gangart

Die erhaltenen Resultate lassen zusammenfassend einige Betrachtungen anstellen, die geeignet scheinen aufgezeigt zu werden. Die für die Messung wahllos herausgegriffenen Chromerze verschiedener Lagerstätten der Erde sind nach den Analysenwerten (s. Tabellen 5 — 9) im großen und ganzen sehr ähnlich, mit Ausnahme einiger weniger Erze, auf die noch besonders eingegangen wird. Es muß hier natürlich angeführt werden, daß die mitgeteilten Analysen Gesamtanalysen des technisch interessanten Erzes sind und keinesfalls Analysen von Chromspinelleinkristallen, weshalb die Zuordnung zu den Reflexionswerten erschwert ist, da in der Analyse auch die Gangarten Olivin, Serpentin, Augit etc. mit erfaßt sind. Diese Gangarten können ebenfalls ent-

sprechende Mengen an Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aufweisen, weshalb eine Berechnung des „wahren“ oder nach T. Weiser (190) des „typischen“ Chromites aus den vorliegenden Analysen kaum vorgenommen werden kann, weil bei den naßchemischen Untersuchungen die Nebengesteinsminerale das Analyseergebnis verfälschen und diese bei der Berechnung der Summenformel des Chromites nur unter vereinfachenden Annahmen ausgeschieden werden können. Trotzdem ist eine gewisse Gruppierung nach den Reflexionswerten möglich, vor allem in jenen Fällen, wo die Abweichung stärker ins Auge fällt.

Betrachtet man die einzelnen Gruppen, die auf Grund der Meßergebnisse gebildet wurden, so erkennt man, daß in der Gruppe 1 das Reflexions-

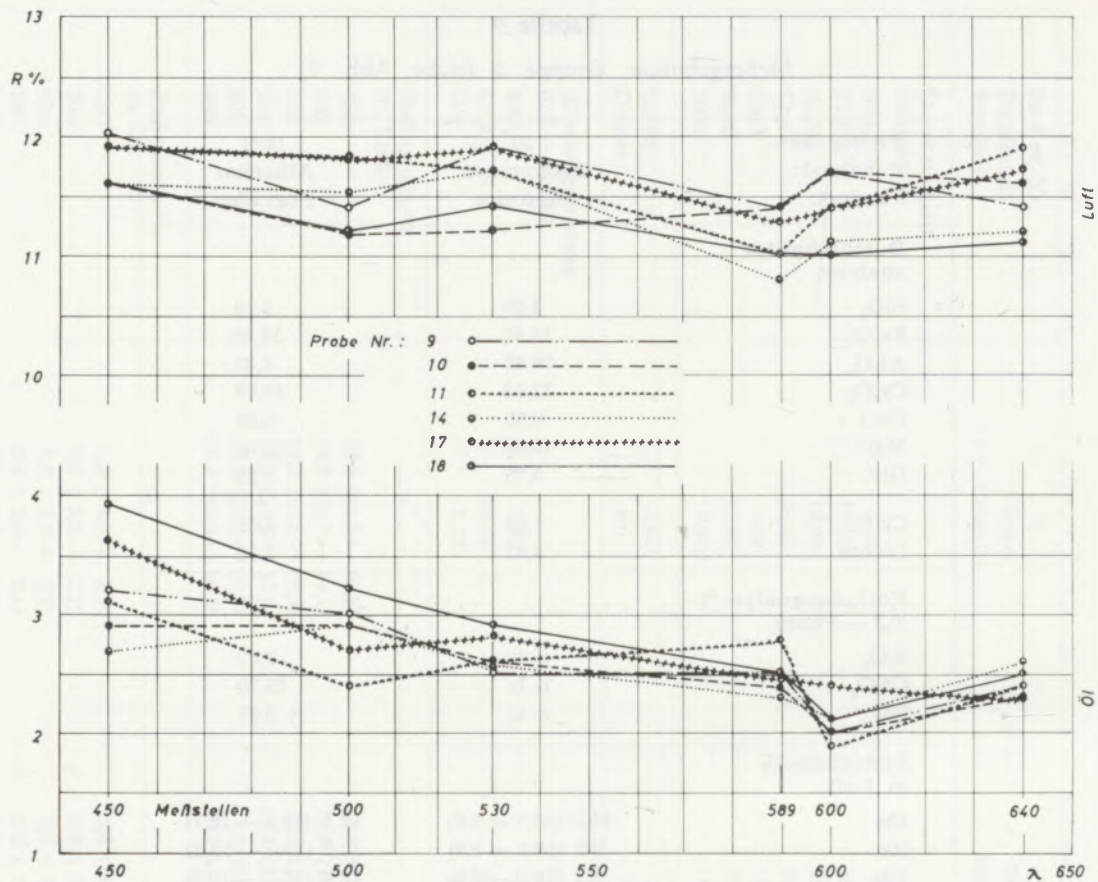


Abb. 3

Gruppe I, Chromerz-Körnung 0,3 — 3 mm

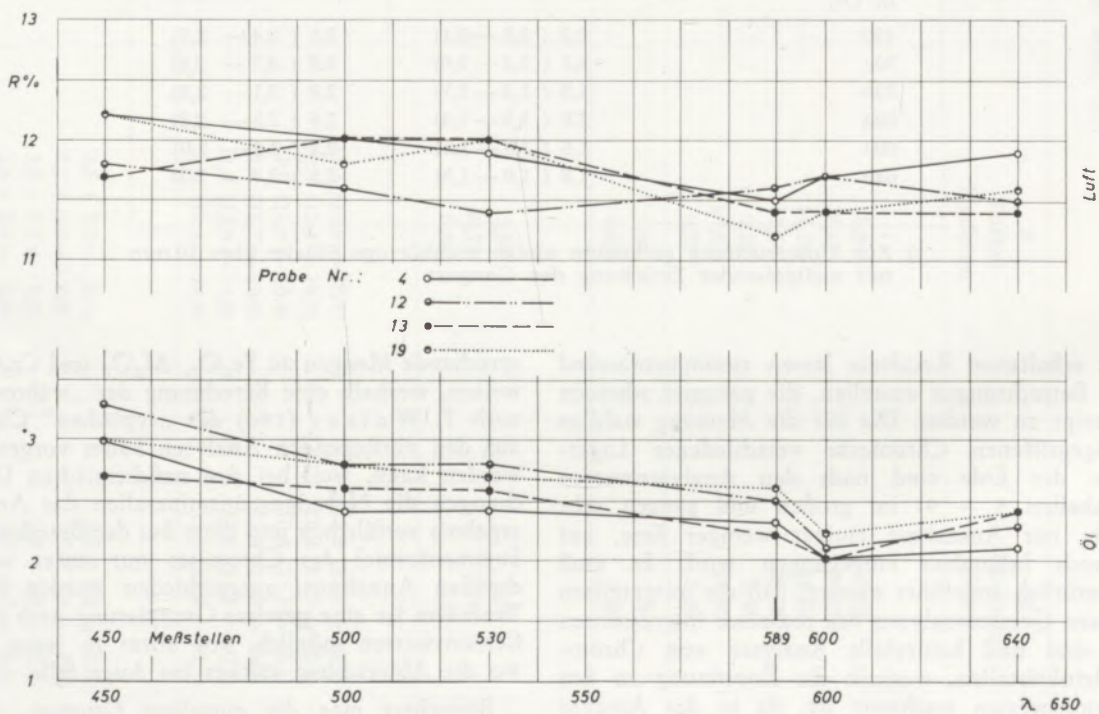


Abb. 4

Gruppe II, Chromerz-Körnung 0,3 — 3 mm

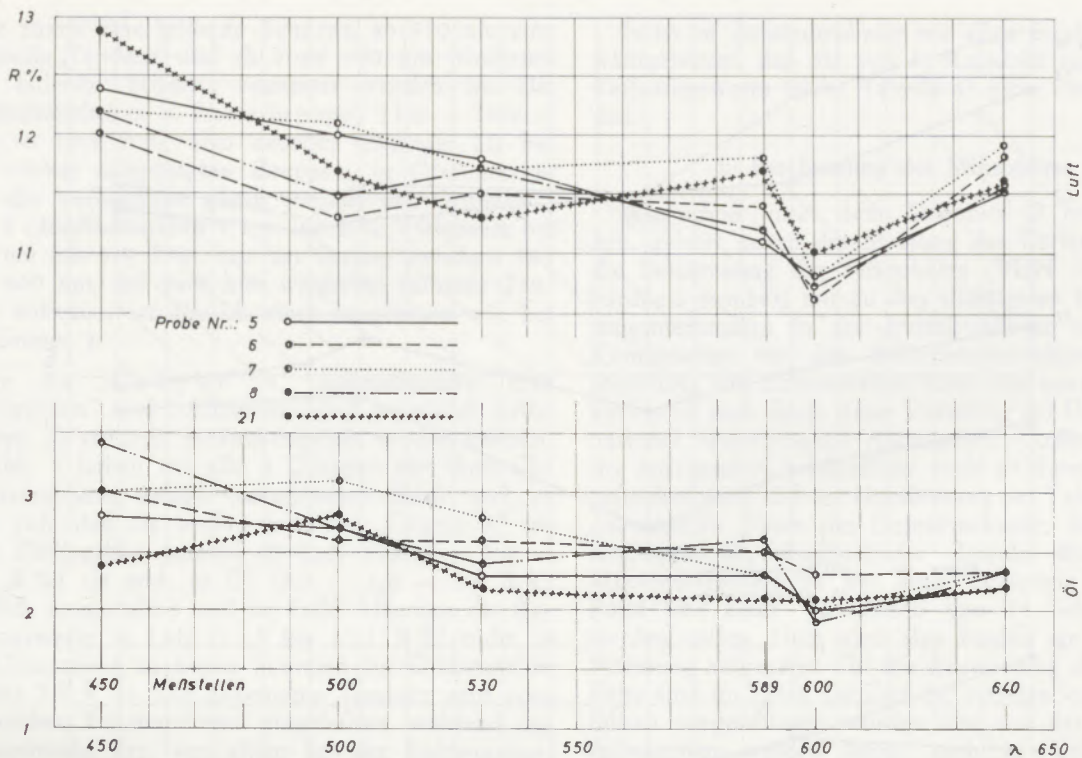


Abb. 5  
Gruppe III, Chromerz-Körnung 0,3 - 3 mm

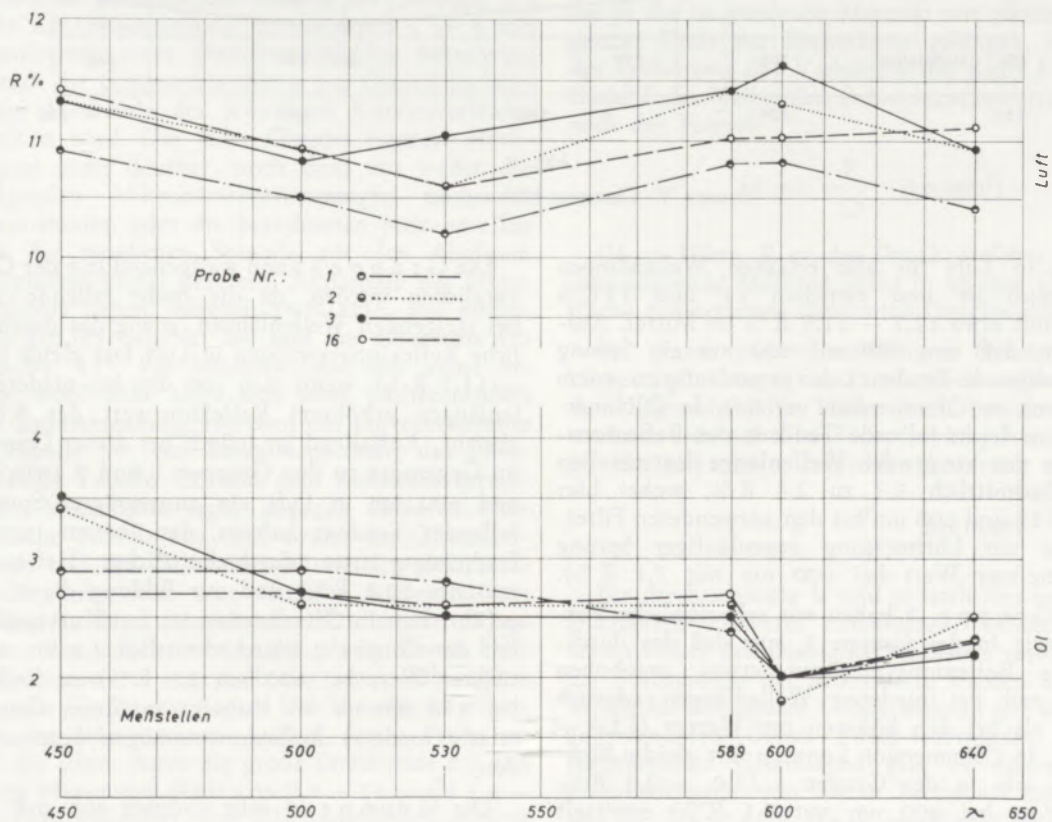


Abb. 6  
Gruppe IV, Chromerz-Körnung 0,3 - 3 mm



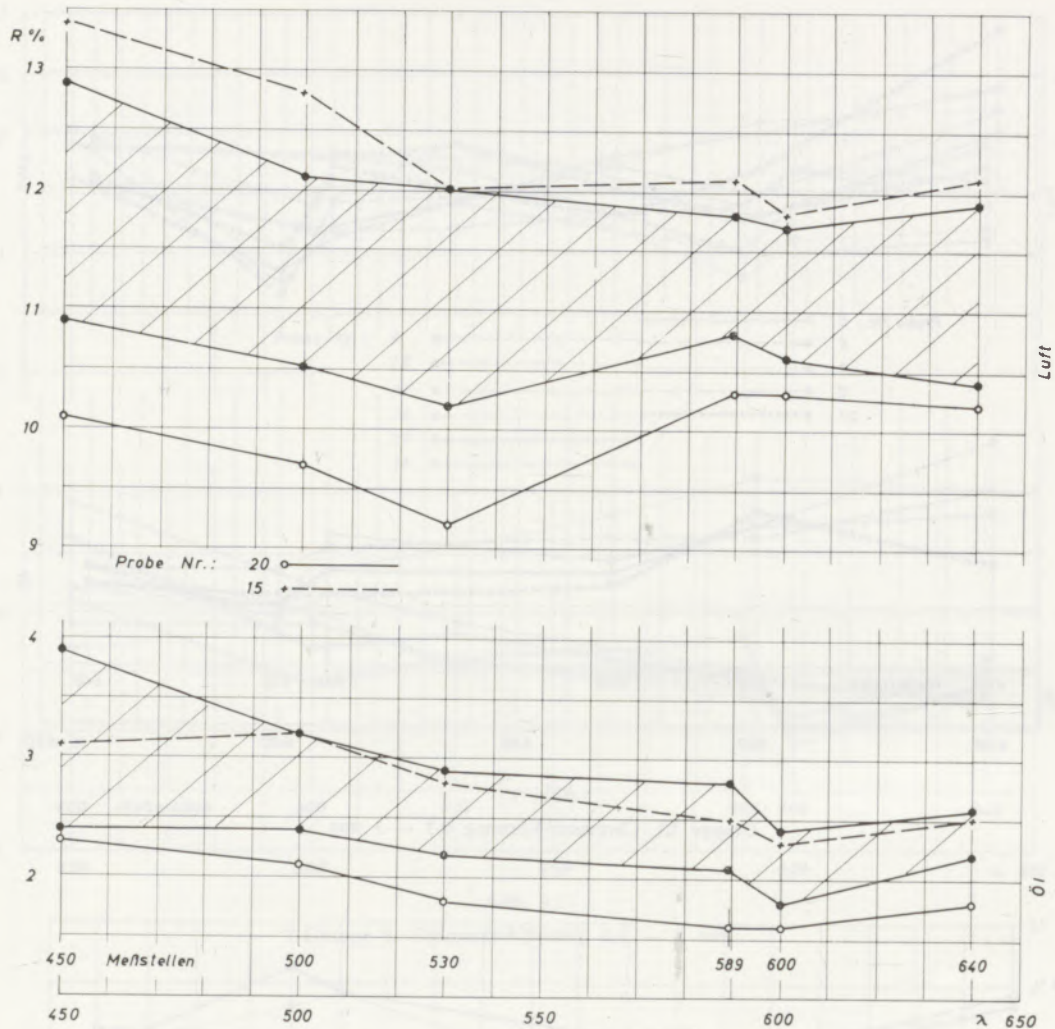


Abb. 7

Gruppe V, Chromerz-Körnung 0,3 — 3 nm

vermögen in Luft für alle erfaßten Wellenlängen relativ gleich ist und zwischen 11 und 12 R % schwankt mit etwa 11,7 — 11,5 R % im Mittel. Auffallend ist, daß von 589 auf 600 nm ein Sprung auftritt (steigende Tendenz), der gegenläufig zu jenem der Messung in Ölimmersion verläuft. In Ölimmersion ist eine leicht fallende Tendenz des Reflexionsvermögens mit steigender Wellenlänge festzustellen von durchschnittlich 3,3 zu 2,4 R %, wobei hier zwischen 589 und 600 nm bei den verwendeten Filtersätzen ein zur Luftmessung gegenläufiger Sprung auftritt (tiefster Wert bei 600 nm mit 2,1 R %).

In der Gruppe 2 haben wir sehr ähnliche Verhältnisse wie in der Gruppe 1, nur daß das durchschnittliche Reflexionsvermögen etwas angehoben erscheint und bei niederen Wellenlängen schwach höher ist als bei den höheren nm Werten (12,0 — 11,7 R %). In Ölimmersion konnten fast gleiche Meßergebnisse wie in der Gruppe 1 (3,0 — 2,3 R %, tiefster Wert bei 600 nm mit 2,1 R %) ermittelt werden, nur daß der Sprung mit fallender Tendenz zwischen 589 und 600 nm nicht so ausgeprägt in Erscheinung tritt.

Die Gruppe 3 kann weitgehend mit der Gruppe 2 verglichen werden, da die leicht fallende Tendenz bei steigenden Wellenlängen, sowie das durchschnittliche Reflexionsvermögen in Luft fast gleich ist (12,0 — 11,7 R %), wenn man von den bei niederen Wellenlängen erhöhtem Reflexionswert des Kubaerzes absieht. Auffallend ist jedoch bei dieser Gruppe, daß im Gegensatz zu den Gruppen 1 und 2 zwischen 589 und 600 nm in Luft ein ausgeprägter Sprung mit fallender Tendenz auftritt, der überaus markant in Erscheinung tritt (durchschnittlicher Tiefstwert bei 600 nm 10,8 R %) und zur Bildung dieser Gruppe geführt hat. In Ölimmersion ist fast Kurvengleichheit mit der Gruppe 2 (durchschnittlich 3,0 bis 2,3 R %, tiefster Wert bei 600 nm 2,1 R %) zu finden, nur bei 450 nm ist für Kubaerz in dieser Gruppe ein relativ niederes Reflexionsvermögen bestimmt worden.

Die Gruppe 4 fällt dadurch auf, daß in Luft gegenüber den bisherigen Gruppen 1 — 3 durchschnittlich geringeres Reflexionsvermögen nachgewiesen werden konnte, wobei mit zunehmender Wellen-

länge zuerst eine fallende Tendenz, ab 530 nm eine steigende Tendenz und ab etwa 600 nm wiederum eine fallende Tendenz bestimmt worden ist. Die durchschnittlichen R-Werte betragen 11,2 – 10,6 – 11,2 – 10,8 R %, also deutlich niedriger als bei den vorher aufgezeigten Gruppen. In Ölimmersion sind die Verhältnisse gleich wie bei den Gruppen 2 und 3 (durchschnittlich 3,1 – 2,3 R %, Tiefstwert bei 600 nm mit 1,9 R %), nur der Sprung zwischen 589 und 600 nm, der auch hier wiederum fallende Tendenz aufweist, ist ähnlich stark ausgeprägt wie bei der Gruppe 1.

Die als „Gruppe 5“ ausgewiesenen Erze „Philippinen“ und „Albanien“ sind eigentlich keine Gruppe, da sie nicht zusammengefaßt werden können. In Abb. 7 haben wir alle 4 Gruppen mit ihrer Gesamtstrebereite erfaßt (schraffiertes Feld) und es zeigt sich, daß die beiden Erze der „Gruppe 5“ im Falle Philippinen sowohl in Luft (10,1 – 9,2 – 10,3 R %) als auch in Öl (2,3 – 1,6 – 1,8 R %) deutlich herausfallen und im Falle Albanien die Reflexionswerte in Luft (13,5 bis 12,1 R %) nicht in das Gesamtfeld zu liegen kommen (in Ölimmersion 3,2 bis 2,5 R %). Die allgemeine Tendenz wird vom albanischen Erz annähernd eingehalten, während das philippinische Erz, vor allem bei der Luftmessung, eher etwas „eigenwillige“ Werte gegenüber der allgemeinen Konzeption liefert, aber doch im gewissen Sinne der Gruppe 4 zuordenbar ist.

Faßt man die gesamten Meßergebnisse der 21 Erze zusammen, so erscheint die Bildung der „Gruppe 5“, also die Zusammenziehung der Gruppen 1 – 4 mit der Festlegung eines Streubereichfeldes berechtigt, wenn auch die Gruppeneinteilung auf Grund der auffallenden Merkmale des jeweiligen Kurvenverlaufes beibehalten wird. Die jeder Gruppe eigenen Merkmale sind nicht deutbar, noch dazu wo weder die nachfolgenden Mikrohärtbestimmungen noch die Gitterkonstanten oder die berechneten prozentuellen Anteile der möglichen Spinelle aus den Analysen Anhaltspunkte hierfür lieferten. Außerhalb des Streubereichfeldes liegen lediglich zwei Erze, das philippinische Erz (Proben-Nr. 20) und das albanische Erz (Proben-Nr. 15). Für letzteres fand sich keine Erklärung, wohl aber zeigt sich beim philippinischen Erz ein Zusammenhang zwischen der Gitterkonstante (siehe Tabelle 11), der Zusammensetzung des Chromites (siehe Tabelle 12) und dem Reflexionsvermögen. Die Mikrohärt ergab dagegen keinerlei Hinweise (siehe Tabelle 10). Auf Grund der Gitterkonstante und der Zusammensetzung des philippinischen Chromites war eine ähnliche Reflexionsverminderung für das kubanische Erz (Proben-Nr. 21) zu erwarten, was jedoch nicht zutraf, da in diesem Falle die Reflexionswerte innerhalb des Streufeldbereiches der meisten Chromerze liegen. Die Ursache ist offensichtlich im inhomogenen Aufbau dieser Probe zu suchen, die schon durch die große Streubreite bei den einzelnen Messungen (Luft von 9,9 – 14,6; Öl 1,6 – 3,8 R %) dokumentiert wird. Die nachträglich erfolgte Mittelwertbildung führte zwangsläufig zur Eingliederung in das von den übrigen Erzen gebildete Streubereichfeld.

Es ist in Zusammenhang mit allen Ergebnissen erwähnenswert, daß die von P. Ramdohr angegebenen Reflexionswerte (siehe Tabelle 4) nicht erreicht wurden.

### E) Bestimmung der Mikrohärt

Wie schon unter dem Abschnitt D hervorgehoben, gehört neben der Messung der Reflexionswerte die Bestimmung der Mikrohärt (VHN = Vickers hardness number) mit zu den wichtigsten Identifizierungsmerkmalen in der Erzmikroskopie und ist in Kombination mit dem Reflexionsvermögen zur Bestimmung von Erzmineralien heute fast unentbehrlich. Dies wird auch durch einen Vorschlag der IMA (International Mineralogical Association, Commission on ore microscopy) verdeutlicht, nach welchem als Regel gefordert wird, daß zur Handhabung der Tabellen über quantitative Daten der Erzmikroskopie, die im wesentlichen für diagnostische Zwecke dienen, die Mikrohärtedrucke bei einer Belastung von 100 Pond und einer Verweilzeit von 15 Sek. erzeugt werden sollen. Hier wird also bereits ein Weg zur Normung aufgezeigt. Für die Auswertung der Mikrohärt sind im Laufe der Zeit die verschiedensten Verfahren vorgeschlagen worden und wie der Literatur entnommen werden kann, auch in Verwendung. Grundsätzlich kann festgehalten werden, daß üblicherweise die Mikrohärt  $H$  als Kraft pro Flächeneinheit gemessen und in  $\text{kp/mm}^2$  angegeben wird. Zur Herstellung des Prüfeindruckes werden vornehmlich Diamantpyramiden oder Diamantkegel verwendet, die in das zu messende Material mit gleichmäßig steigender Kraft zur Einwirkung gelangen, wobei nach der Entlastung das Verhältnis der Kraft  $P$  zur Oberfläche  $F$  des bleibenden Prüfeindruckes errechnet wird nach der Formel:

$$H = \frac{P}{O} [\text{kp/mm}^2]$$

( $H$  = Härte,  $P$  = der Druck, welcher auf das zu untersuchende Material wirkt in  $\text{kp}$  und  $O$  = Oberfläche der erzielten dauernden Druckmulde in  $\text{mm}^2$ ).

Bei einem pyramidenförmigen Diamanteindruckkörper kann aus der mikroskopisch meßbaren Länge der Diagonale  $d$  die Fläche leicht berechnet werden, wodurch sich auf Grund der vorhergehenden Formel für die Mikrohärt folgender Ausdruck ergibt:

$$H = k \cdot \frac{P}{d^2} [\text{kp/mm}^2]$$

Für die Konstante  $k$  sind je nach den verwendeten Diamanten Fixwerte einzusetzen, welche aus dem Seitenwinkel des Diamantprüfkörpers resultieren. Bei der Bestimmung der Mikrohärt werden als Maßeinheiten für die lineare Größe Mikron ( $\mu$ ) und für den angewendeten Druck Pond verwendet. Über die theoretischen Grundlagen gibt es zahlreiche Veröffentlichungen von denen besonders die Arbeiten von H. Tertsch (165), erschienen im Handbuch der Mikroskopie der Technik von H. Freund (53), und H. Bückle (34) hervorzuheben sind. Bei H. Tertsch (l. c.) findet sich die Mikrohärt definiert

als Widerstand, den ein fester Körper dem Eindringen eines Fremdkörpers entgegengesetzt, ein Begriff, der erstmals von A. Werner (191) geprägt worden ist. Außerdem wird darauf hingewiesen, daß von den verschiedenen Methoden der Mikrohärtebestimmung die Ermittlung der Eindruckhärte als die physikalisch am besten definierte und damit genaueste Methode angesehen werden kann, da eine wirkliche Messung erfolgt und so die Bestimmung der absoluten Härte ermöglicht wird. Ihren Anfang hat die Eindruckmethode in der Praxis durch die Arbeit von J. A. Brill (28) gemacht, der zur Erzielung physikalisch definierter Resultate vorgeschlagen hat, die bleibende Eindruckfläche die durch eine bestimmte feste Belastung erzeugt wird, zu messen, wobei eine Kugel als Eindruckkörper diente und die Kalotte des Eindruckes berechnet wurde. E. Meyer (107) hat zur Umgehung der umständlichen Kalottenberechnung nur die Fläche des Eindruckkreises als maßgebliche Größe eingeführt. Diese beiden Arbeiten sind für die weiter oben angeführten Berechnungsformeln zur Bestimmung der Mikrohärte von ausschlaggebender Bedeutung geworden. Es begannen sich in zunehmendem Maße die Arbeiten über Mikrohärte zu häufen und die verschiedensten Vorschläge und Gegenvorschläge bereicherten fortan die Literatur. H. Tertsch (162) hat einen umfassenden historischen Überblick gegeben, wobei auf die einzelnen Veröffentlichungen im Detail eingegangen wird. Dem Prüfverfahren von Vickers, bei dem eine tetragonale Pyramide mit einem Seitenwinkel von  $136^\circ$  Verwendung findet, wie dies ausführlich in der Arbeit von R. Smith und G. Sandler (154) beschrieben wird, kommt bei der Mikrohärtebestimmung mit Hilfe des Mikroskopes eine bevorzugte Stellung zu, da heute die meisten Geräte, welche zur Bestimmung der Mikrohärte zum Einsatz gelangen, mit einer Vickers Pyramide ausgestattet sind und die neueren Tabellen für die Mineraldiagnose bereits die Vickershärte aufzeigen.

E. M. H. Lips (101) hat 1936 als Erster mikroskopisch die Vickers Härte gemessen, so daß dieser Zeitpunkt als der Beginn der Mikrohärtebestimmung mit Hilfe des Mikroskopes angesehen werden kann. Er hat ein selbst konstruiertes einfaches Gerät hierfür benützt, mit dem er aber immerhin nachweisen konnte, daß bei geringeren Belastungsgewichten sehr gut reproduzierbare Eindruckbestimmungen mit dem Vickers-Diamanten vorgenommen werden können. Etwas später entwickelte H. Hanemann (70), (71) in Zusammenarbeit mit der Firma Zeiss, Jena, einen Mikrohärteprüfer, ebenfalls mit einem Vickers-Diamanten, wobei die mikroskopische Beobachtung und die Härteprüfung in einem Arbeitsgang durchgeführt werden konnte, während Lips die Arbeitsausführung noch völlig getrennt vornehmen mußte. Die weitere Entwicklung in der Kombination Mikroskop-Härteprüfer führte auch dazu, daß abweichend von der tetragonalen Pyramide (Vickers) andere Pyramidenformen wie die trigonale Pyramide (Berkovich (14)) oder die rhombische Pyramide (Knoop (88)) zum Einsatz gelangten. Zu Neukonstruktionen kam es vor allem deshalb, weil mit der Vickers Methode gelegentlich mehr oder minder große Schwierigkeiten auftraten, sei es, daß das Ma-

terial zu spröde war oder polykristallinen Aufbau zeigte. Dies hat u. a. auch zur Entwicklung eines "Double-Cone Hardness Indenter" geführt, dessen Vorteil P. Grodzinski (65), (66) aufzeigt und M. C. Attinger (5) wendete einen meißelförmigen Eindruckkörper zur Messung an zylindrischen Proben mit einem Durchmesser unter 1 mm (z. B. Draht) an, da bei dieser Methode keine ebene Prüffläche erforderlich ist. Gerade in diesem Zusammenhang hat H. Tertsch (164) seiner Überzeugung Ausdruck gegeben, daß die Vickers Methode doch Vorteile bietet, die kaum eine andere Mikrohärteprüfmethode in sich vereinigen kann. H. W. Hennicke und H. Vaupel (80) haben an  $Al_2O_3$ -Proben, verschiedenen Gläsern, Kunststoffen, Metallen und Mörtelprismen Knoop-, Vickers- und Kugeleindrücke ausgemessen und im doppellogarithmischen System grafisch dargestellt. Sie konnten feststellen, daß nach Ermittlung von Äquivalenteindruckgrößen alle Ergebnisse zu der gleichen Eindruckhärte führten. Auch theoretische Untersuchungen über verschiedene Eindruckkörper sind angestellt worden, so hat sich B. W. Mott (111), (112) damit eingehender beschäftigt. Die optische Industrie hat der Entwicklung auf dem Sektor der Mikrohärteprüfung insofern Rechnung getragen, als sie moderne Geräte auf den Markt brachte, die in einigen Publikationen (13), (16), (60), (62), (114), (120), (134), (139), (179) näher beschrieben werden.

Da die Härte eine Werkstoffeigenschaft ist, wird verständlich, daß deren Größe in besonderem Maße zur Charakterisierung metallischer Werkstoffe herangezogen wurde und daher auf diesem Gebiet entsprechend viele Arbeiten bekannt geworden sind. Hier wären vor allem die Veröffentlichungen von E. B. Bergsman (11), (12), E. O. Bernhard (15), H. Bückle (30), (31), H. Hanemann (72), E. M. Onitsch (121), A. Rapp, H. Hanemann (136), F. Schulz, H. Hanemann (150), M. Semlitsch, E. B. Bergsman (152), E. W. Taylor (161) und F. Vitovec (185) anzuführen. In der Arbeit von E. M. Onitsch (l. c.) wird zur Kennzeichnung der belastungsabhängigen Mikrohärte u. a. vorgeschlagen, den Meyerexponenten mitanzugeben, da dieser einen weitgehenden Schluß auf die Beschaffenheit des Werkstoffes zuläßt. Dieser Gedanke wurde auch auf die Mikrohärtebestimmung bei Mineralien übertragen (s. R. Mitsche und E. M. Onitsch (108)) und von etlichen Autoren übernommen, von anderen, wie z. B. W. Uytendogaardt (180), der aufzeigt, daß der Exponent  $n$  keine Konstante, sondern lediglich eine Funktion von  $P$  und  $d$  ist, wird er als nicht signifikant beurteilt. In der zitierten Arbeit von R. Mitsche und E. M. Onitsch (l. c.) werden die theoretischen und praktischen Grundlagen für die Mikrohärteprüfung der Mineralien dargelegt, noch offene Fragen aufgezeigt und nachgewiesen, daß die Mikrohärteprüfung ein sehr zweckmäßiges mineralogisches Arbeitsverfahren sein kann. In der Folge sind auch in zunehmendem Maße Arbeiten erschienen, die sich mit Härtebestimmungen an Mineralien beschäftigen, so hat u. a. H. Tertsch (163) und F. Gottardi (64) über Beobachtungen und Messungen an Kalk-

spat berichtet, *Á. Henriques* (81) über die Mikrohärtigkeit der Zinkblende (nach *B. B. Young* und *A. P. Millman* (200) sind jedoch die Resultate anzuzweifeln) und *S. I. Lebedva* (97) über dieselbe von Mineralien, *G. Toubreau* (170) über die Mikrohärtigkeit an opaken Mineralien und die Bedeutung derselben in der Mineralogie und *W. F. Brace* (25) über die Eindringhärtigkeit bei Mineralien und Gesteinen. *E. M. Onitsch* (122) hat sich mit dem zahlenmäßigen Zusammenhang der Mohs- und Mikrohärtigkeit auseinandergesetzt und den neuesten Stand der Härteprüfung von Mineralien aufgezeigt.

Zwangsläufig sind bei der Härtebestimmung Probleme aufgetaucht, da der überwiegende Teil der Mineralien als Kristalle anisotrop ist und im Kristall eine richtungsgebundene plastische Verformung bei der Härtemessung zur Wirkung kommt. *H. Bückle* (32) gab diesbezüglich aufschlußreiche Untersuchungsergebnisse bekannt, des weiteren beziehen sich Arbeiten u. a. von *F. Albrecht* (1), *J. H. Westbrook*, *P. H. Jorgensen* (192), *B. B. Young*, *A. P. Millman* (200) und *H. Winchell* (198) auf die Einflüsse der Anisotropie bei der Mikrohärtigkeitprüfung.

Es waren ferner bei der Messung der Chromite von den verschiedenen Lagerstätten die möglichen Fehlerquellen auszuschließen, bzw. zu beachten, wie sie beispielsweise durch einen schadhafte oder verschmutzten Eindruckkörper gegeben sein könnten. Desweiteren mußte getrachtet werden, daß die Oberfläche infolge nicht senkrechter Lage zur Eindruckkörperbewegungsrichtung oder ein evtl. Poliereinfluß nicht als Fehlerquelle wirksam wird, wie auch die Belastungsgeschwindigkeit und die Belastungsdauer konstant zu halten waren und jede Vibration verhindert werden mußte. Gerade die Einflußgröße des Polierens muß berücksichtigt werden und wie schon bei den Reflexionsmessungen ist darauf hinzuweisen, daß die untersuchten Proben alle mit Hilfe von Holzscheiben und Chromoxid als Poliermittel für die Härtebestimmung präpariert wurden. Daß Oberflächen beim Poliervorgang mehr oder weniger stark verformt werden können, wird schon von *P. Ramdohr* (133) aufgezeigt und auch *R. Mitsche* und *E. M. Onitsch* (108) teilen diesbezügliche Ergebnisse mit. *E. O. Bernhardt* (17) hat sogar an dem sehr harten Borkarbid Oberflächenverfestigungen durch Poliereinwirkung nachgewiesen. Bei Gläsern konnte dagegen *M. Prod'homme* (131) aufzeigen, daß die Art der Politur keinen Einfluß auf die Mikrohärtigkeit ausübt. Bei den vorliegenden Härtemessungen sind eventuelle Veränderungen bedingt durch den Poliervorgang nicht berücksichtigt, da auf Grund der gegebenen Poliermethodik, der alle zur Untersuchung gelangenden Materialien ausgesetzt werden, nur die an solchen Proben ermittelten Härtewerte für Aussagen von Bedeutung sind.

Über Fehlerquellen bei der Mikrohärtigkeitprüfung ist von zahlreichen Autoren berichtet worden, z. B. *H. Bückle* (33) und *K. Sporkert* (156), ebenso über die Meßgenauigkeiten (z. B. *M. G. Losinski*, *W. Ss. Mirotowski* (102), *W. Bischof*, *B. Wanderott* (19) und *H. Tertsch* (165))

und die Beschaffenheit der Mikrohärtigkeitseindruckstellen (z. B. *V. N. Vigdorovic*, *L. G. Elanskaja* (184) und *H. Bückle* (32)).

Für die Mikrohärtigkeitsmessungen wurde ein Mikrohärtigkeitprüfgerät von *E. Leitz*, welches unter der Bezeichnung „DURIMET“ auf den Markt gekommen ist, verwendet. Bei diesem Instrument sind die Eindruckpyramide und das Objektiv getrennt. Es stehen zwei Objektive zur Verfügung, eines für übersichtliche Beobachtungen und zur Zentrierung des beabsichtigten Eindruckes, während das zweite stärkere Objektiv zur Vermessung des Eindruckes unter Verwendung eines Meßokulares dient. Ein Objektivrevolver gestattet die leichte Auswechslung der Objektive, bzw. des Druckdiamanten. Der Druckdiamant selbst wird mit Hilfe einer Ablauflfeder, die durch einen Drahtauslöser in Bewegung gebracht wird, langsam auf das Objekt aufgesetzt, wobei die Geschwindigkeit durch eine Ölbremsbremse reguliert wird. Die Ablaufzeit betrug 15 Sek., die Verweilzeit des Diamanten auf dem Objekt wurde nach den Vorschlägen der IMA ebenfalls mit 15 Sek. gewählt. Das Meßokular am Kleinhärtigkeitprüfer gestattet neben einer groben Längenablesung zusätzlich mit Hilfe einer Feinmeßskala noch  $0,5\ \mu$  abzulesen und  $0,1\ \mu$  zu schätzen (vgl. *E. Leitz* (99)).

Bezüglich der Vickershärtigkeit an Chromit liegen in der Literatur bereits Daten vor, so findet man bei *S. H. U. Bowie* und *K. Taylor* (24) Zahlenwerte im Bereich von 1195 bis 1210  $\text{kp/mm}^2$  mit einem Mittelwert von 1206  $\text{kp/mm}^2$ . Bei *B. B. Young* und *A. P. Millman* (200) wird dagegen bei einer Prüflast von 100 Pond ein Bereich von 1246 bis 1519  $\text{kp/mm}^2$  angegeben. Bekanntlich ist der Chromit relativ hart und wird in der Mohs'schen Härteskala mit Härte 5,5 eingestuft. Allgemein zählt er auch bei Bewertung seiner Schlichthärtigkeit zu den „harten“ Mineralien. *A. Fleurence* (49) hat Mikrohärtigkeitbestimmungen an verschiedenen keramischen Rohstoffen durchgeführt u. a. an Chromit und die Vickershärtigkeit den Härtewerten nach Mohs und Dimitriew gegenübergestellt. Er diskutiert die Gültigkeit dieses Härtemeßverfahrens und die damit erzielten Resultate für das Gebiet der Mineralogie. Der von ihm ermittelte Vickershärtigkeitwert für Chromit beträgt 1300  $\text{kp/mm}^2$  bei einer Last von 100 g. Eine Gegenüberstellung der Vickershärtigkeit den Härtewerten nach Mohs ist bei Chromit nach den erhaltenen Resultaten kaum möglich. Auf Grund einer Arbeit von *S. V. L. Rao* (135) wäre die Erklärung hierfür die relativ große „Härte“ des Chromites, da nach Rao eine gute Übereinstimmung aus der Bestimmung nach Vickers und Mohs nur bei „weichen“ Mineralien besteht (Tabelle 10).

Die bei Anwendung verschiedener Belastungen  $P = 50\ \text{p}$ ,  $100\ \text{p}$  und  $200\ \text{p}$  erhaltenen Vickershärtigkeiten sind der Tabelle 10 zu entnehmen. Die erste Kolonnenserie gibt die Mittelwerte wieder, die zweite Serie zeigt die Streubreiten auf. Wie aus den Mittelwerten ersichtlich, liegt  $2/3$  der Erze im oberen Bereich der von *B. B. Young* und *A. P. Millman* (200) angegebenen Werte (1402 — 1505  $\text{kp/mm}^2$  bei einer Belastung von 100 p),  $1/3$  sogar darüber. Hinweise auf unterschiedliche Erzqualitäten konnten aus den

Tabelle 10

Vickershärtewerte der untersuchten Chromitproben

Erzprobe Nr.	Fundort	Vickersmikrohärte kp/mm <sup>2</sup>			Vickersmikrohärte kp/mm <sup>2</sup> Streubereich			Bemerkungen
		P = 50 p	P = 100 p	P = 200 p	P = 50 p	P = 100 p	P = 200 p	
1	TÜRKEI Cevislik	1892	1714	1486	1486 — 2336	1505 — 1892	1160 — 1739	spröde
2	TÜRKEI Büsigian	1892	1714	1543	1839 — 2127	1650 — 1854	1431 — 1564	
3	TÜRKEI Madaran	1948	1714	1543	1740 — 2127	1505 — 1818	1396 — 1648	
4	TÜRKEI Taroni	1740	1650	1505	1692 — 1892	1590 — 1681	1379 — 1584	
5	TÜRKEI Pozanti	1740	1533	1431	1647 — 1892	1452 — 1782	1379 — 1564	
6	TÜRKEI Murat	1740	1590	1467	1525 — 1892	1452 — 1714	1413 — 1564	spröde
7	TÜRKEI Gölalan	1647	1561	1396	1525 — 1740	1402 — 1681	1330 — 1505	
8	TÜRKEI Elazig	1740	1452	1413	1564 — 1892	1310 — 1590	1364 — 1467	teilweise spröde
9	TÜRKEI Gölalan	1740	1505	1449	1486 — 2065	1378 — 1620	1299 — 1543	
10	TÜRKEI Kefdag	1604	1505	1431	1486 — 1790	1332 — 1650	1346 — 1505	
11	TÜRKEI Kavag	1740	1505	1449	1604 — 1948	1378 — 1590	1346 — 1564	mittel spröde
12	TÜRKEI Orku	1647	1479	1396	1525 — 1948	1402 — 1590	1330 — 1524	
13	TÜRKEI Ilikdere	1604	1505	1379	1413 — 1790	1354 — 1650	1283 — 1467	
14	CYPERN	1564	1426	1362	1449 — 1740	1354 — 1681	1268 — 1449	mittel spröde
15	ALBANIEN Pogradec	1525	1402	1362	1380 — 1740	1226 — 1505	1314 — 1449	
16	URAL	1604	1479	1396	1449 — 1740	1402 — 1561	1346 — 1486	
17	PERSIEN Esfandaghe	1604	1402	1330	1486 — 1692	1332 — 1452	1225 — 1431	spröde
18	RHODESIEN Selukwe	1647	1452	1346	1564 — 1839	1378 — 1561	1211 — 1449	
19	TRANSVAAL	1564	1402	1314	1449 — 1740	1332 — 1590	1239 — 1379	
20	PHILIPP. Masinloc	1692	1532	1467	1604 — 1790	1426 — 1620	1346 — 1543	
21	KUBA	1564	1402	1413	1413 — 1740	1226 — 1620	1211 — 1627	teilweise spröde sehr unregelmäßig

Mikrohärtewerten nicht abgeleitet werden. Selbst die beiden Erzqualitäten „Philippinen“ (Proben-Nr. 20) und „Kuba“ (Proben-Nr. 21), die auf Grund der Gitterkonstanten eine andere Zusammensetzung der Chromite aufzeigten, fallen nicht aus den Rahmen. Ein einziger brauchbarer Hinweis ist nur bei den drei ostanatolischen Erzproben (Proben-Nr. 1, 2 und 3) zu finden. Sie gehören sicher einem Lagerstättenbezirk an und ergaben die höchsten Härtewerte (1714 kp/mm<sup>2</sup>). Interessanterweise sind diese drei Erze auch nach den Reflexionsmessungen in einer Gruppe zu finden.

Es scheint nach den vorliegenden Werten gerechtfertigt für die Belastung  $P = 100$  p die Vickershärte für Chromit nach Holzscheibenpolitur mit

$$MH = 1400 - 1710 \text{ kp/mm}^2$$

anzugeben. Der aus allen Werten ermittelte Meyer-exponent betrug

$$n = 1,96$$

Zur Tabelle ist noch anzuführen, daß die angegebene Bezeichnung „spröde“, „teilweise spröde“ und „mittel spröde“ sich auf das Verhalten der den bleibenden Eindruck umgebenden Partien bezieht, wobei eine subjektive Beurteilung vorgenommen wurde. „Spröde“ bedeutet Neigung zu Absplitterungen und Ribbildungen durch die Erzkörner, „teilweise spröde“ zeigt auf, daß ein Teil der vermessenen Körner sich „spröde“ verhält und „mittelspröde“ soll vor Augen führen, daß die Ecken des Eindruckes verstärkt Ribbildungen aufweisen. Letztere Beurteilung wird mit der Bezeichnung von W. Ulytenbogaardt

und S. H. U. B o w i e (178)  $sf =$  slightly fractured konform gehen, alle übrigen Erze ohne Bemerkungen können nach den beiden Autoren mit  $p =$  perfect angesprochen werden. Zu den Messungen selbst muß hinzugefügt werden, daß es zweckmäßig ist, die Messung sofort nach dem Eindrücken vorzunehmen, da die durch den Eindruck erzeugten Spannungen in der unmittelbaren Umgebung noch nachwirken und Ribbildungen einige Zeit nach der Entlastung auftreten können, die die Messungen störend beeinflussen würden.

#### F) Bestimmung der Gitterkonstanten

Nachdem im Abschnitt D und E die zur Identifizierung wesentlichen Bestimmungsverfahren der Reflexionswertmessung und der Härteprüfung, sowie die damit an den ausgewählten Chromerzproben verschiedener Lagerstätten ermittelten Ergebnisse behandelt worden sind, werden im folgenden die Gitterkonstanten der Chromite mitgeteilt und diese den Werten des Reflexionsvermögens und der Mikrohärtigkeit gegenübergestellt. Es wird weiterhin gezeigt, daß die Gitterkonstanten mit den vorliegenden Analysen der Erze in Übereinstimmung gebracht werden können.

Quantitative Bestimmungen des Reflexionsvermögens und der Mikrohärtigkeit gehören zweifellos zur Zeit noch nicht zu den Routineverfahren, anders steht es jedoch mit den röntgenographischen Methoden über die eine umfassende Literatur vorliegt z. B. H. N e f f (115) oder R. G l o c k e r (63), in welchen außerdem eine umfangreiche Schrifttumsangabe einschlägiger Veröffentlichungen zu finden ist.

Allgemein ist festzuhalten, daß die Röntgenfeinstrukturuntersuchungen im zunehmenden Maße auch bei Routineprüfungen in der Industrie schon zum Einsatz gelangen, nur daß die Anschaffung einer entsprechenden Röntgenapparatur zur Aufzeichnung von Diffraktogrammen gegenüber Reflexionsmeß- oder Härteprüfgeräten wesentlich kostspieliger ist und die Auswertung der Aufnahmen nur von Fachkräften vorgenommen werden kann.

Das Prinzip dieser Methode beruht bekanntlich auf der in kristallinen Stoffen auftretenden Beugung der Röntgenstrahlen. Die regelmäßige Atomanordnung in den Kristallen führt zu einem Gitteraufbau, in dem es möglich ist, Gitterpunkte zu Netzebenen mit identischer Besetzung zusammen zu fassen. Dabei wiederholen sich in gleichen Abständen solche Ebenen. Der Normalabstand unmittelbarer aufeinander folgender Netzebenen wird üblicherweise mit  $d$  bezeichnet. Es ist nach W. H. und W. L. B r a g g (27) möglich, die Röntgeninterferenz am regelmäßigen Kristallgitter als Reflexion an diesen Netzebenen zu deuten, dabei gilt die Bragg'sche Reflexionsgleichung:

$$n \lambda = 2 d \sin \vartheta$$

- ( $n =$  die Ordnung des Reflexes,  
 $\lambda =$  eine bestimmte Wellenlänge  
 $d =$  Netzebenenabstand  
 $\vartheta =$  Einfallswinkel).

Die Feinstrukturuntersuchung selbst läßt sich in zwei Gruppen einteilen und zwar je nach dem ob die Beobachtung der Beugung an einem Einzelkristall oder an Kristallhaufwerken vorgenommen wird. Letzteres ist für die vorliegenden Untersuchungen von Interesse und zwar das Verfahren nach D e b y e - S c h e r r e r (41) in seiner Weiterentwicklung zur Diffraktometrie (Zählrohrgoniometer). Die Ersetzung des Filmstreifens zur Aufnahme der Pulverdiagramme durch das Zählrohr hat das Anwendungsgebiet wesentlich erweitert. Der Unterschied gegenüber der photographischen Debye-Scherrer-Aufnahme liegt im wesentlichen darin, daß bei der Diffraktometrie die Interferenzen nacheinander gemessen werden, während sie bei Verwendung des Filmstreifens alle gleichzeitig erfaßt werden. Außerdem benötigt eine Diffraktometeraufnahme einen Bruchteil der Zeit einer photographischen Debye-Scherrer-Aufnahme. An das Diffraktometer angeschlossene Schreiber zeichnen die Interferenzlinien in Form von Diagrammen auf und registrieren zusätzlich den jeweiligen Reflexionswinkel. Ein besonderer Vorteil dieser Methode ist darin gegeben, daß die Linienintensitäten nicht durch Schwärzungen, sondern durch die Höhe und Form der Kurvenmaxima (peaks) gegeben sind.

Da jede Kristallart ein charakteristisches Linien-  
 diagramm liefert, ist es möglich, an Hand derartiger  
 Diagramme, Identifizierungen vorzunehmen. Bei iso-  
 morphen Mischkristallen, wie es z. B. die Chrom-  
 erze sind, unterliegen die Gitterkonstanten gewissen  
 Schwankungen, was auf die diadoche Vertretung von-  
 einander ähnlichen Atomen zurückzuführen ist.

Die Struktur des Chromites ist mit Hilfe von Röntgenmethoden durch W. H. B r a g g (26) grundsätzlich gelöst worden. Seitdem sind sehr viele Publikationen über Untersuchungen an Chromiten erschienen, so haben sich mit den Gitterkonstanten von Spinellen G. L. C l a r k, A. A l l y und A. E. B a d g e r (38) beschäftigt und wie I. D. M a c G r e g o r und C. H. S m i t h (105) darauf hingewiesen, daß durch diadochen Eintritt von Aluminium die Gitterkonstante herabgesetzt wird und außerdem zwischen den Gitterkonstanten und der chemischen Zusammensetzung natürlicher Chromspinelle lineare Beziehungen bestehen. Auch G. S c h u l t z (149), R. E. S t e v e n s (158), E. T h i l o und R. S a u e r (169), I. W a r s h a w und M. L. K e i t h (186) zeigen lineare Beziehungen zwischen dem  $Cr_2O_3$ -Gehalt und den Dimensionen der Einheitszelle der Spinellmischkristalle auf. I. A. N o v o c h a t s k i j, R. L. G e r s m a n und A. A. S a v i n s k a j a (116) haben Untersuchungsreihen an  $FeCr_2O_4$  mit steigendem  $Fe_3O_4$ -Gehalt durchgeführt und festgestellt, daß mit zunehmendem  $Fe_3O_4$ -Gehalt ein linearer Anstieg der Gitterkonstanten bis ca. 42 Mol %  $Fe_3O_4$  erfolgt, danach ein Abfall bis ca. 80 Mol % und danach nochmals ein leichter Anstieg.

Röntgenuntersuchungen an Chromiten liegen u. a. von G. L. C l a r k und A. A l l y (39) sowie F. A. F a r u q i (47) vor und Pulverdiagrammangaben finden sich z. B. bei G. A. H a r c o u r t (73) oder in den ASTM - Tabellen (4), bzw. bei L. G. B e r r y und R. M. T h o m p s o n (18). Über Reaktionen des Chromites mit einigen Mineralien und die röntge-

nographische Auswertung bezüglich der Reaktionsprodukte berichtet S. M. Zubakov (204). In Zusammenhang mit den vorliegenden Untersuchungen ist die Arbeit von M. N. Ponomarewa, N. W. Pawlow und I. I. Tschuprynina (130) von Interesse, da in dieser Veröffentlichung über 18 Proben unterschiedlichen  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehaltes berichtet wird mit der Feststellung, daß die Angaben des Reflexionsvermögens, gekoppelt mit den Gitterkonstanten einen sehr guten Aufschluß über die Zusammensetzung der Chromspinelle geben. Es sind also in dieser Richtung bereits Untersuchungen angestellt worden, so daß man die hier veröffentlichten Ergebnisse als weiteren Beitrag auf dem Sektor der quantitativen Chromitbestimmung ansehen kann.

Für die Bestimmung der Gitterkonstanten an den einzelnen Chromerzproben wurden die Anschliffpräparate, an welchen vorher das Reflexionsvermögen und die Vickershärte ermittelt worden ist, herangezogen, wodurch die Gewähr gegeben war, daß ein und dasselbe Präparat den verschiedenen Bestimmungen unterzogen wurde. Um nicht das gesamte Präparat zu zerstören, sind die für die Diffraktometeraufnahmen notwendigen Mengen durch Herausbrechen der Körner gewonnen worden.

Die Aufnahmebedingungen bei der Diffraktometrie waren wie folgt: Es wurde mit einer SIEMENS-Apparatur Kristalloflex IV gearbeitet. Als Strahlungsquelle stand nur eine Cu  $K\alpha$  Strahlung zur Verfügung. Die Aperturblende betrug 1,2 mm, die Detektorblende 0,2 mm. Die Winkelgeschwindigkeit ist mit 1/2 Grad/Min. gewählt worden und der Papiervorschub betrug 10 mm/Min. Ferner ist eine Schneidenblende verwendet worden. Als Standard kam reiner Quarz zum Einsatz.

In der Tabelle 11 sind die ermittelten Gitterkonstanten festgehalten. Wie sich aus den Werten ergibt, zeigen die Erzproben 1 — 19 nur relativ geringe Schwankungen und können demnach einander weitgehend gleichgestellt werden. Lediglich die Proben 20 (Masinloc Philipp.) und 21 (Kuba) weisen Gitterkonstanten auf, die deutlich kleiner sind und sich auffallend von den übrigen Erzen abheben. Stellt man diese Ergebnisse den Reflexionswerten gegenüber, so ergibt sich die Tatsache, daß die Erzprobe 20 auch nach dieser Bestimmungsmethode abweichendes Verhalten zeigt, während die Probe 21 nicht aus dem ermittelten Streubereichfeld der Reflexionswerte herausfällt. Hiefür läßt sich aber eine Erklärung abgeben, nämlich insofern, als das kubanische Erz (Probe 21) stark schwankende Reflexionswerte aufweist (siehe Tabelle 7 in Luft 9,9 — 14,6 und in Öl 1,6 — 3,8 R % und daher bei Durchschnittsangaben zwangsläufig in den relativ breiten Streubereich der Reflexionswerte der untersuchten Chromite zu liegen kommt.

Die Gitterkonstantenbestimmung läßt ferner zwei weitere Tatsachen ableiten nämlich, daß die Forderungen der ff. Industrie für den überwiegenden Teil der Erze zu weitgehender Gleichheit der Erzlieferungen in bezug auf den vorhandenen Chromit geführt haben und zweitens, daß die dadurch gegebene geringe

Variationsbreite des  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehaltes keine Beeinflussung des Reflexionswertes mit sich brachte, wodurch eine Ansprechbarkeit der Lagerstätten mit Hilfe von Reflexionsmessungen innerhalb der geforderten Erzqualitäten nicht möglich erscheint. Bei weitgehend homogenem Erz mit geringerem  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt und erhöhtem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt ist dagegen eine sehr gute Korrelation vorhanden, wie dies bereits von zahlreichen Autoren aufgezeigt worden ist.

Es wurde noch der Versuch unternommen, aus den in den Tabellen 5 — 9 angegebenen chemischen Analysen durch gewisse vereinfachende Annahmen eine Relation zu den Gitterkonstanten herauszufinden, wozu es notwendig war, den silikatischen Anteil in den Erzproben abzuschätzen. Dies geschah unter der Berücksichtigung der zu erwartenden Silikate, indem  $\text{SiO}_2$  und eine etwa gleich große Menge an  $\text{MgO}$  abgezogen und  $\text{CaO}$  vernachlässigt wurde, so daß

Tabelle 11

Gitterkonstanten der untersuchten Chromitproben

Proben-Nr.	Fundort	$\text{\AA}$ (Cu $K\alpha$ $\lambda$ = 1,54178 $\text{\AA}$ )
1	TÜRKEI Cevislik	8,277 $\pm$ 0,006
2	TÜRKEI Büsigian	8,279 $\pm$ 0,005
3	TÜRKEI Madaran	8,284 $\pm$ 0,002
4	TÜRKEI Taroni	8,290 $\pm$ 0,010
5	TÜRKEI Pozanti	8,278 $\pm$ 0,013
6	TÜRKEI Murat	8,299 $\pm$ 0,006
7	TÜRKEI Gölalan	8,284 $\pm$ 0,007
8	TÜRKEI Elazig	8,293 $\pm$ 0,010
9	TÜRKEI Gölalan	8,300 $\pm$ 0,006
10	TÜRKEI Kefdag	8,284 $\pm$ 0,006
11	TÜRKEI Kavag	8,304 $\pm$ 0,005
12	TÜRKEI Orku	8,308 $\pm$ 0,007
13	TÜRKEI Ilikdere	8,279 $\pm$ 0,008
14	CYPERN	8,288 $\pm$ 0,006
15	ALBANIEN Pogradec	8,307 $\pm$ 0,006
16	URAL	8,279 $\pm$ 0,011
17	PERSIEN Esfandaghe	8,304 $\pm$ 0,004
18	RHODESIEN Selukwe	8,297 $\pm$ 0,005
19	TRANSVAAL	8,294 $\pm$ 0,011
20	PHILIPP. Masinloc	8,216 $\pm$ 0,003
21	KUBA	8,230 $\pm$ 0,003

Tabelle 12

Berechnung auf mögliche Komponenten in Mol.-%

Erz Nr.	Fundort	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	(Fe, Mg)Cr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Berechnete Gitterkonstante a
1	TÜRKEI Cevislik	35,4	32,6	(61,6)	29,0	3,0	8,257
2	TÜRKEI Büsigian	30,1	36,8	(65,2)	28,4	4,7	8,270
3	TÜRKEI Madaran	29,7	36,6	(63,8)	27,2	6,5	8,272
4	TÜRKEI Taroni	33,1	25,3	(65,6)	40,3	1,3	8,266
5	TÜRKEI Pozanti	33,1	29,8	(64,0)	34,2	2,9	8,264
6	TÜRKEI Murat	26,7	38,6	(70,3)	31,7	3,0	8,277
7	TÜRKEI Gölalan	31,0	33,2	(66,8)	33,6	2,2	8,268
8	TÜRKEI Elazig	25,7	38,3	(71,7)	33,3	2,7	8,280
9	TÜRKEI Gölalan	23,5	44,1	(71,3)	27,2	5,2	8,284
10	TÜRKEI Kefdag	27,5	41,6	(66,4)	24,8	6,1	8,275
11	TÜRKEI Kavag	19,8	46,1	(73,5)	27,4	6,7	8,293
12	TÜRKEI Orku	21,4	49,0	(74,9)	25,9	3,7	8,287
13	TÜRKEI Ilikdere	29,4	41,7	(66,8)	25,1	3,8	8,269
14	CYPERN	29,8	30,8	(66,9)	36,1	3,3	8,273
15	ALBANIEN Pogradec	19,6	55,8	(70,8)	15,0	9,6	8,291
16	URAL	37,2	15,7	(57,8)	42,1	5,0	8,260
17	PERSIEN Esfandaghe	18,9	52,1	(75,7)	23,6	5,4	8,293
18	RHODESIEN Selukwe	28,7	22,7	(71,3)	48,6	—	8,278
19	TRANSVAAL	32,1	6,5	(59,0)	52,5	8,9	8,278
20	PHILIPP. Masinloc	55,5	11,2	(42,0)	30,8	2,5	8,214
21	KUBA	51,3	11,4	(46,9)	35,5	1,8	8,224

überschlagsweise in relativ guter Annäherung die Zusammensetzung des Chromites angegeben werden kann (siehe Tabelle 12). Es ist nun möglich, aus der chemischen Zusammensetzung unter Annahme einer linearen Abhängigkeit die Gitterkonstanten zu berechnen, welche Werte ebenfalls in der Tabelle 12 ausgewiesen sind. Es muß aber in diesem Zusammenhang nochmals auf die Arbeit von I. A. Novochatskij, R. L. Gersman und A. A. Savinskaja (116) hingewiesen werden, nach welcher der Anstieg der Gitterkonstanten nur bedingt linear ist, weshalb eine allzugroße Genauigkeit der berechneten Gitterkonstanten nicht zu erwarten war. Überraschenderweise zeigte sich aber eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und bestimmten Gitterkonstanten, weshalb eine Diskussion der in Tabelle 12 für jedes Chromerz errechneten

Zusammensetzung der Chromite gerechtfertigt erscheint. Wie schon bei den bestimmten Gitterkonstanten, so läßt sich auch hier ableiten, daß von den 21 Erzproben nur 2 Proben (Nr. 20 Masinloc Philipp. und Nr. 21 Kuba) deutlich herausfallen, da diese beiden Erze auffallend große Mengen an Al-Spinellen aufweisen. Bei Anstellung eines Vergleiches der Chromitzusammensetzung zum Reflexionsvermögen kann wiederholt werden, daß das kubanische Erz infolge seines inhomogenen Aufbaues eine Verknüpfung zwischen Chemismus, Gitterkonstanten und Reflexionsvermögen nicht zuläßt.

Zur Durchführung der Arbeit standen mir die werks-eigenen Einrichtungen zur Verfügung, außerdem das Mikrohärteprüfgerät am Institut für Werkstoff-



kunde und Schweißtechnik der Technischen Hochschule in Graz, Vorstand Prof. Dipl. Ing. Theodor Povse und die Röntgeneinrichtungen des Institutes für Mineralogie und Petrographie der Universität Graz, Vorstand Prof. Dr. Haymo Heritsch, wofür ich an dieser Stelle meinen Dank ausspreche. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Haymo Heritsch und Herrn

Doz. Dr. Helmut Höller für anregende Diskussionen zu dieser Arbeit und darüberhinaus Herrn Prof. W. Uytendogaardt, Vorstand des Institutes für Erdwissenschaften der Freien Universität Amsterdam für die an seinem Institut durchgeführten Vergleichsmessungen und wichtigen Hinweise.

### Zusammenfassung

Langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der auflichtmikroskopischen Untersuchungen von Chromerzen erlauben die Herkunft gewisser Erze abzulesen. Da es sehr schwierig ist, diese Erfahrungen in kurzer Zeit weiter zu vermitteln, wurde der Versuch unternommen, durch quantitative Bestimmungen des Reflexionsvermögens und der Mikrohärtigkeit in Kombination mit der Ermittlung der Gitterkonstanten von der subjektiven zu einer objektiven Beurteilung zu gelangen. An Hand von 21 Chromerzproben verschiedener Lagerstätten der Erde, die auf Grund regional unterschiedlicher Abbauorte wahllos herausgegriffen wurden, sollte die Eignung dieser Bestimmungsmethoden für den angegebenen Zweck überprüft werden.

Die im ersten Arbeitsabschnitt durchgeführten Reflexionswertbestimmungen ließen Ansätze einer Gruppenbildung erkennen, obzwar von allem Anfang an die geringfügigen Unterschiede zu einer weitgehenden Zusammenfassung und Festlegung eines Streubereichfeldes geführt haben. Die späteren Ergebnisse, welche aus den Mikrohärtigkeitsprüfungen und Gitterkonstantenbestimmungen resultieren, berechtigen zu dieser Zusammenfassung. Allgemein kann festgehalten werden, daß die ermittelten Reflexionswerte durchwegs tiefer liegen als nach den Literaturangaben zu erwarten war. Ein Zusammenhang zwischen dem Chemismus, der Zusammensetzung der Chromite, den Gitterkonstanten und dem Reflexionsvermögen konnte für den überwiegenden Teil der untersuchten Erze nicht herausgearbeitet werden, wohl deshalb, weil die Variationsbreite des  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehaltes zu gering ist. Bei jenen Proben, die im  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -Gehalt deutlich abfielen und erhöhten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt aufwiesen, wurde eine Abhängigkeit erwartet, was aber nur für die Probe von den Philippinen (Proben-Nr. 20) zutraf, während das kubanische Erz (Proben-Nr. 21) keinen Zusammenhang erkennen ließ. Die Ursache hierfür lag offensichtlich in der überaus starken Inhomogenität des kubanischen Erzes, die be-

sonders bei Ermittlung des Reflexionsvermögens in Erscheinung trat.

Die Mikrohärtewerte nach Vickers ließen keine signifikanten Unterschiede ableiten. Lediglich 3 Erzproben (Nr. 1, 2 und 3) die sicherlich einem Chromerzbezirk angehören und interessanterweise auch nach dem Reflexionsvermögen schon zu einer Gruppe zusammengefaßt wurden, zeigen die höchsten Härtewerte. Auffallend ist, daß gegenüber den Literaturangaben erhöhte Vickershärten bestimmt worden sind.

Die Gitterkonstanten, bestimmt an denselben Chromerzkörnern, die für die Reflexionsmessung und Mikrohärtigkeitsprüfung verwendet wurden, zeigten gegenüber errechneten Gitterkonstanten, welche nach stark vereinfachten Annahmen zur Berechnung der Zusammensetzung der Chromite aus den Analysendaten ermittelt wurden, überraschenderweise eine relativ gute Übereinstimmung.

Allgemein kann abgeleitet werden, daß auf Grund der Ergebnisse das Ziel einer objektiven Beurteilung von Chromerzen, innerhalb gewisser Variationsgrenzen derselben, nicht erreicht wurde. Es muß abschließend für die Bestimmung des Reflexionsvermögens und der Mikrohärtigkeit nochmals aufgezeigt werden, daß die Anschliffherstellung auf Holzscheiben, auf welche Chromoxid aufgebracht wurde, erfolgte.

Auf Grund der Vorschläge der IMA sind das Reflexionsvermögen und die Mikrohärtigkeit wesentliche Faktoren für die Identifizierung von opaken Erzminerale. Die vorliegenden Ausführungen sind in dem Sinne als Beitrag dazu aufzufassen, als hier von Chromiten bekannter chemischer Zusammensetzung und bekannter Fundorte das Reflexionsvermögen und die Mikrohärtigkeit nach Vickers angegeben wird. Ferner sind auch die dazugehörigen Gitterkonstanten bestimmt worden.

### Summary

Experience gathered during many years in the field of reflected light microscopy of chrome ore enables the identification of the origin of the different ores. It is very difficult to convey to somebody this experience within short time and therefore it was tried to determine quantitatively the reflectivity and the micro hardness in combination with the determination of the lattice constants and to change thereby from a subjective determination method to an objective method. On the base of 21 chrome ore samples of

various chrome ore deposits from all over the world the applicability of this determination method should be tested.

The data of the reflectivity determinations, which were the first steps in the investigations show to a certain degree the formation of groups, though the little differences of the reflectivity led from the beginning to a more or less fixed range of variation of values. The results obtained later

from the micro hardness and of the lattice constants determinations justify this summary.

Generally it can be stated that the determined datas of reflectivity are in nearly all cases below the datas published in literature. For most of the examined chrome ores a correlation between chemical composition, the composition of the chromites, the lattice constants and the reflectivity could not be found. The reason seems to be, that the range of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -content in the chrome ores was too small. For samples, which were considerably lower in  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  and higher in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -content a correlation was expected, but only in the case of Philippine chrome ore (sample No. 20) such a correlation occurred. In the case of Cuban chrome ore (sample No. 21) no correlation could be determined. The Cuban chrome ore was very unhomogeneous and this inhomogeneity handicapped the determination of reflectivity. The Vickers micro hardness values did not allow to make significant differentiation. Only 3 samples (Nr. 1, 2, 3), which belong to one group and which can be put together in respect to their reflectivity show the highest values of micro hardness. Compared with

datas published in literature the Vickers hardness determined on the samples was generally higher. The lattice constants which were determined on the same chrome ore grains, which were used for measuring the reflectivity and micro hardness showed a good correspondence with calculated lattice constants.

Generally it can be concluded, that on the basis of the results of these investigations it is not possible to find an objective method for the evaluation of chrome ores. It should be mentioned, that for the preparation of polished sections wood discs and chromium oxide were used.

Due to the proposals of IMA the reflectivity and the micro hardness are the essential properties for the identification of opaque minerals. This paper should be regarded as a contribution to get more informations about chromites of known chemical composition and of known origin in correlation with reflectivity and Vickers hardness. In addition to that, the corresponding lattice constants were determined.

### Résumé

L'expérience acquise au cours de longues années dans le domaine de l'étude au microscope sous incidence directe, des minerais de chrome, permet de déterminer l'origine de certains minerais. Étant donné qu'il est très difficile de développer en peu de temps ces investigations, on a essayé, au moyen d'évaluations quantitatives du pouvoir réfléchissant et de la microdureté, en combinaison avec la détermination des paramètres du réseau, de passer à partir de conclusions subjectives à des conclusions objectives. On a vérifié si de telles méthodes convenaient au but proposé, sur 21 échantillons de minerai de chrome provenant de divers gisements répartis sur le globe et qui ont été prélevés au hasard dans des lieux d'exploitation appartenant à des régions différentes.

Les déterminations du pouvoir réfléchissant effectuées dans la première partie de ce travail ont permis de reconnaître les données d'une formation de groupes, quoique depuis le début, d'après les faibles différences, on ait pu établir une classification et construire le champ du domaine de dispersion. Les résultats obtenus ensuite, à partir des essais de microdureté et des déterminations des paramètres du réseau, ont justifié cette classification. On peut dire dans l'ensemble que les valeurs de réflexion obtenues sont toutes inférieures à celles pouvant être prévues d'après la littérature. On n'a pas pu établir de relation entre les propriétés chimiques, la composition des chromites, les paramètres du réseau et le pouvoir réfléchissant pour la plupart des minerais étudiés, probablement parce que l'intervalle de variation de la teneur en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  est trop faible. Dans les échantillons dont la teneur en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  était nettement décroissante et qui présentaient une teneur élevée en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , on s'attendait à une relation, ce qui n'a

été confirmé que pour l'échantillon provenant des Philippines (échantillon n° 20), alors que pour l'échantillon de minerai cubain (échantillon n° 21) on n'a pas découvert de relation. Cela est dû probablement à la très forte hétérogénéité du minerai cubain, qui s'est surtout manifestée lors de la mesure du pouvoir réfléchissant.

Les valeurs de microdureté Vickers n'ont pas présenté de différences significatives. Il faut noter que trois échantillons de minerai (n° 1, 2 et 3) qui appartiennent certainement à une région de minerai de chrome et qui ont été déjà compris dans un même groupe d'après leur pouvoir réfléchissant, présentent les valeurs de microdureté les plus élevées. Il est remarquable que par rapport aux données de la littérature on a obtenu des valeurs de dureté Vickers plus élevées.

Les paramètres du réseau, déterminés sur les mêmes grains de minerai de chrome que ceux ayant servi à la mesure de la réflexion et aux essais de microdureté, ont accusé, par rapport aux paramètres de réseaux calculés selon des expressions très simplifiées, pour la détermination de la composition des chromites d'après des résultats d'analyse, une corrélation assez bonne, ce qui est surprenant.

En général on peut conclure que d'après ces résultats, le but proposé d'une estimation objective des minerais de chrome à l'intérieur de certaines limites de variation, n'a pas été atteint. Il faut encore signaler que pour la détermination du pouvoir réfléchissant et de la microdureté, les coupes polies ont été préparées sur des supports en bois sur lesquels on avait placé de l'oxyde de chrome.

D'après les propositions de l'IMA, le pouvoir réfléchissant et la microdureté sont des facteurs importants pour l'identification de minerais opaques. Les résultats de ce travail doivent être considérés comme une contribution dans ce domaine car ils fournissent

les valeurs du pouvoir réfléchissant et de la microdureté Vickers de chromites de composition chimique connue et provenant de gisements connus. De plus, on a également déterminé leur paramètre de réseau.

## Literaturverzeichnis

1. Albrecht, F., Die Härteanisotropie bei synthetischen Korund, Zschft. f. Kristallographie 106, (1954), S. 183 — 190.
2. Allen, R. u. G. E. Howling, Chrome ore and chromium London 1940.
3. Anonyme Veröffentlichung, Chromite in the Philippines, Republ. Philippines, U. S. Bur. Mines Informat. Circ. Nr. 15 (1956), S. 1 — 29.
4. ASTM, Special Technical Publication, Index to the X-ray powder data file (1960), Published by the Americ. Soc. f. Testing Materials Philadelphia.
5. Attinger, M. C., Hardness testing method for small cylindrical workpieces, Industrial Diamond Review 7 (1947), S. 264.
6. BASF, Merkblatt der Badischen Anilin & Soda Fabrik AG, 81368 (632), September 1964, (2. Neubearbeitung).
7. Beljankin-Lapin-Iwanow, Technische Petrographie, VEB-Verlag Technik, Berlin 1960.
8. Berek, M., Das Problem der quantitativen Mikroskopie der Erzminerale und seine Lösung. Zugleich ein Beitrag zu den Erscheinungen der Reflexion des Lichtes an anisotropen absorbierenden Kristallen, Zschft. Krist. 76 (1931), H. 4/5, S. 396 — 430, Zschft. Krist. 77 (1931), H. 1/2, S. 1 — 22.
9. Berek, M., Optische Meßmethoden im polarisierten Auflicht, Fortschr. Min. 22, (1937), S. 1 — 104.
10. Berek, M., Über den Einfluß der Oberflächenschichten bei senkrechtem Lichteinfall auf die Bestimmung der optischen Eigenschaften der Kristalle im Auflicht, Zschft. Kristal. 96/A, (1937), S. 357 — 364.
11. Bergsman, E. B., Nägot om Mikrohärdhets mätning, Jernkontorets Annaler 128 (1944), S. 3.
12. Bergsman, E. B., Micro-Hardness-Testing, Description of a Technique developed in Sweden, Metal Ind. (London) 69 (1946), S. 109 — 112.
13. Bergsman, E. B., Ein einfacher Mikrohärdtestapparat mit vielen praktischen Verwendungsmöglichkeiten, Schweiz. Archiv. angew. Wiss. Techn., 14 (1948), H. 10, S. 294 — 299.
14. Berkovich, E. S., Three-faceted diamond pyramid for microhardness testing, Industrial Diamond Review 11 (1951), S. 129 — 132.
15. Bernhardt, E. O., Die Mikrohärdprüfung. Anwendungsbeispiele aus der Technologie der Kaltverformung, Zschft. Ver. Dtsch. Ing. 84, (1940), S. 733 — 736.
16. Bernhardt, E. O., Der Zeiss-Mikrohärdprüfer, seine optischen Systeme, Zeiss Nachrichten, 3. Folge (1940), S. 280 — 291.
17. Bernhardt, E. O., Über die Mikrohärdte der festen Stoffe im Grenzbereich des Kick'schen Ähnlichkeitssatzes, Zschft. f. Metallkunde 33 (1941), S. 135 — 144.
18. Berry, L. G. u. R. M. Thompson, X-ray Powder Data for Ore Minerals, The Peacock Atlas, Geol. Soc. of Amer., Memoir 85, New York 1962.
19. Bischof, W. u. B. Wenderott, Anwendung und Grenzen der Mikrohärdprüfung, Archiv für Eisenhüttenwesen 15 (1942), S. 497.
20. Boericke, W. F., Engg. Min. J. 142, Nr. 11 (1941), S. 38 — 40.
21. Booth, C. u. D. Hedley, Einfluß der scheinbaren Dichte von Chromiten auf die Neigung zum Bersten von Chrommagnetsteinen, Trans. Brit. Ceram. Soc. 56, 1967, S. 185.
22. Borchert, H., Die Chrom- und Kupfererzlagerstätten des initialen ophiolithischen Magmatismus in der Türkei, Maden Tetkik Arama Yayınlarından (türk.) Nr. 102 (1958), S. 1 — 175.
23. Borchert, H., Das Ophiolitgebiet von Pozanti und seine Chromerzlagerstätten, Maden Tetkik Arama Yayınlarından (türk.), Nr. 104 (1959), S. 1 — 70.
24. Bowie, S. H. U. u. K. Taylor, A system of ore mineral identification, Mining Mag. 99 (1958), S. 265 — 277 u. 337 — 345.
25. Brace, W. F., Eindringhärte bei Mineralen und Gesteinen, Jb. Mineral. Mh. 1964, S. 257 — 269.
26. Bragg, W. H., The structure of the spinel groups of minerals, Phil. Mag. 30 (1915), S. 305 — 315.
27. Bragg, W. H. u. W. L. Bragg, The Crystalline State Bd. 1, London, Bell and Sons 1933.
28. Brinell, J. A., Mémoire sur les épreuves à bille en acier. II. Congr. int. des méthodes d'essai des matériaux de construction, Paris 1900.
29. Büchler-Hauschka, O., Zum 40-jährigen Bestand des Werkes Radenthein, Radex-Rundschau 1948, H. 5/6, S. 79 — 80.
30. Bückle, H., Diffusionsmessungen mit Hilfe des Mikrohärdprüfers, Zschft. f. Metallkunde 34, (1942), S. 130 — 133.
31. Bückle, H., Die Diffusion von Kupfer, Magnesium, Mangan und Silizium in Aluminium, Zschft. Elektrochem. ang. physik. Chem. 49 (1943), S. 238 — 242.
32. Bückle, H., Untersuchungen über die Lastabhängigkeit der Mikrohärdte, Zschft. f. Metallkunde 45, (1954), S. 622 — 632, 1. Teil und Zschft. f. Metallkunde (45) (1954), S. 694 — 701, 2. Teil.
33. Bückle, H., Echte und scheinbare Fehlerquellen bei Mikrohärdprüfungen, ihre Klassifizierung und ihre Auswirkung auf die Meßwerte, VDI Berichte 11 (1957), S. 29 — 43 u. 49 — 100.
34. Bückle, H., Mikrohärdprüfung und ihre Anwendung, Berliner Union Stuttgart 1965.
35. Capdecombe, L., Compt. Red. Acad. Sci-Paris (1936), vol 202, S. 1842 — 1845.
36. Chesters, J. H. u. C. W. Parmelee, Über das binäre System MgO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, J. Amer. Soc. Bd. 18 (1935), S. 94 — 100.
37. Chesters, J. H., Steelplant Refract. Sheffield, The United Steel Companies Ltd. 1957.
38. Clark, G. L., A. Ally u. A. E. Badger, Gitterabstände von Spinellen, Amer. Journ. Sci. 22 (1931), S. 539 — 546.
39. Clark, G. L. u. A. Ally, Röntgenuntersuchungen von Chromerzen, Amer. Min. 17 (1932), S. 60 — 74.
40. Dahne, A. u. M. Th. Mackowsky, Neues Verfahren zur Bestimmung des Reflexionsvermögens der Kohle, Brennstoffchemie 31 (1950), S. 129 — 138.
41. Debye, P. u. P. Scherrer, Physik. Zschft. Bd. 17, 1916, S. 271 und Bd. 18, 1917, S. 291.
42. Demirsoy, S., Entwicklung des Mikroskop-Photometers mit besonderer Berücksichtigung der Reflexionsmessung, Zeiss-Mitt., Bd. 4 (1967), H. 6, S. 254 — 279.
43. Dodge, N. B., W. H. Powers u. V. C. Di Leonardo, Automatic Reflectance Microscopy of Refractories, Am. Ceram. Soc. Bull. Nr. 7 (1967), S. 662.
44. Ehrenberg, H., Die Auflichtmikroskopie, Herrn Prof. Dr. P. Ramdohr zum 70. Geburtstag zugeeignet, H. Freund's Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. 1, Teil 2, Umschauverlag Frankfurt Main (1960), S. 3 — 186.

45. Ehrenberg, H., Reflexionsmessungen in der Erzmikroskopie. Eine Übersicht über die Methoden und neuerer Instrumente, Ztsch. wiss. Mikrosk. und mikrosk. Technik Stuttgart 66 (1964), S. 32 — 44.
46. Ergunalp, F., Chromite deposits of Turkey, Am. Inst. Min. Met. Eng. Min. Technol. 8 techn. Publ. Nr. 1746 (1944), S. 1 — 11.
47. Faruqi, F. A., Röntgen-, DTA-Untersuchungen und andere Eigenschaften keramischer Rohstoffe, 1. Mittlg.: Chromit, Pakistan Journ. Sci. Res. 16 (1964), S. 17 — 21.
48. Fisher, L. W., Chromite, Its Mineral and Chemical Composition Am. Mineralogist 14 (1929), S. 341 — 357.
49. Fleurence, A., Mikrohärtemessungen an Mineralen Keramischer Rohstoffe und feuerfester Erzeugnisse, Bull. Soc. Franc. Ceram. Nr. 70 (1965), S. 51 — 61.
50. Flint, D. E., J. F. De Albear u. P. W. Guild, Geology and chromite deposits of the Camagüey District Camagüey Province, Cuba, U. S. Geol. Surv. Bul. Nr. 954-B, (1948), S. 39 — 63.
51. Folinsbee, R. E., Determination of reflectivity of the ore minerals, Diss. Alberta, Canada 1948 (auch Econ. Geol. 44, 1949, S. 425 — 436).
52. Fourie, G. P., The chromite deposits in the Rustenberg area, Dept. of Mines Union of South Africa Bull. 27 (1959), S. 1 — 45.
53. Freund, H., Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. I, Teil 2, Auflichtmikroskopie, Umschau-Verlag Frankfurt/Main 1960.
54. Freund, H., Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. II, Mikroskopie der Bodenschätze, Teil 2, Erze, Aufbereitungsprodukte und Hüttenschlacken, Umschau Verlag Frankfurt/Main 1954.
55. Freund, H., Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. IV, Mikroskopie der Silikate, Teil 3, Sintertechnik, Keramik, Pulvermetallurgie, Umschau Verlag Frankfurt/Main 1965.
56. Freund, H., Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. III, Mikroskopie der metallischen Werkstoffe, Teil 2, Untersuchungsmethoden in der Metallkunde, Umschau Verlag Frankfurt/Main 1969.
57. Friedrich, O., Die mikroskopische Untersuchung der Erze des Eisens und der wichtigsten Stahlmetalle, H. Freund's (54) Handbuch der Mikroskopie der Technik, Band II, Teil 2, S. 234.
58. Gabler, F., Apparative Neuerungen auf dem Gebiet der Lichtmikroskopie, Berg- und Hüttenmännische Mh. 109 (1964), H. 3, S. 80 — 82.
59. Gabler, F. und O. Rüker, Neues Mikrophotometer, Lab. Sci. Milano 14, (1966), S. 1 — 15.
60. Gahm, J., Ein neuer Mikrohärteprüfer, Zeitschriften Nr. 62, 9/66.
61. v. Gehlen, K., Neuere Methoden der Erforschung der Genese von Erzlagernstätten, Erzmetall Bd. XVIII (1965), H. 10, S. 536 — 543.
62. Girschig, M. R., The Micro-Sclerometer; A new Micro-Hardness Tester, Metallurgia (Manchester) 36, (1947), S. 269 — 273.
63. Glocker, R., Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1958.
64. Gottardi, F., Mikrohärtigkeit von Kalzit, Atti Soc. Toscana Sci. Nat. (Pisa) Mem. 58 A, (1951), S. 161 — 177.
65. Grodzinski, P., Brit. Pat. 681 500 bzw. Industrial Distributors Limited, Diamond Research Department London E. C. List 101 und 102, (1950).
66. Grodzinski, P., Beitrag zur Härteprüfung an körnigem Magnesit, Radex-Rundschau (1953), H. 1, S. 3 — 8.
67. Haas, H., Verhalten von Chromerz bei höheren Temperaturen, Radex-Rundschau 1968, Heft 4/5, S. 266/67.
68. Haas, H., Beitrag zur Kenntnis des „Burstings“, Radex-Rundschau 1968, Heft 4/5, S. 296 — 304.
69. Hall, A. L., The Bushveld igneous complex of the Central Transvaal, Geol. Surv. South Africa, Mem. Nr. 28 (1932).
70. Hanemann, H., Zeitschrift für Metallkunde 29 (1937), S. 339 — 340.
71. Hanemann, H. u. E. O. Bernhardt, Ein Mikrohärteprüfer, Zschft. f. Metallkunde 32 (1940), S. 35 — 38.
72. Hanemann, H., Bestimmung der Härte des Martensits und Austenits mit dem Mikrohärteprüfer, Arch. Eisenhüttenwes. 15 (1941/42), S. 403 — 406.
73. Harcourt, G. A., Tables for the identification of ore-minerals by X-ray powder patterns, Amer. Min. 27 (1942), S. 63 — 113.
74. Harders/Kienow, Feuerfestkunde, Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg (1960), S. 656.
75. Harjes, W., H. Rohn u. O. Verworner, Der Zerdrückungsgrad, die Gangartverteilung und die Verwachsungsgröße des albanischen Chromerzes, Silikatechnik, 13 (1962), Nr. 3, S. 92 — 95.
76. Haughton, S. H., The mineral resources of the Union of South Africa, Pretoria 1936.
77. Helke, A., Beobachtungen an türkischen Minerallagerstätten, Teil 1, N. Jb., Min. Abh. 88 (1955), S. 55 — 224.
78. Henckmann, W., Zeitschr. prakt. Geol. (1941), 49.
79. Henckmann, W., Die Chromerze des Nahen Ostens, Zeitschr. prakt. Geol. (1942), 50, S. 18 — 24.
80. Hennicke, H. W. u. H. Vaupel, Vergleich einer Mikrohärtuntersuchung mit verschiedenen Eindruckkörpern, Ber. d. Dtschn. Keram. Ges. 45 (1968), H. 8, S. 418 — 422.
81. Henriques, A., The Vickers hardness of zinc blende, Arkiv Mineral. Geol. 2, (1957), S. 283 — 297.
82. Hiessleitner, G., Serpentin- und Chromerzgeologie der Balkanhalbinsel und eines Teiles von Kleinasien, Jb. geol. Bundesanst. Wien, Sonderbd. 1 (1951/52).
83. Hiessleitner, G., Neue Beiträge zur Geologie chromerzführender Serpentine des Südanatolischen Taurus, Bull. of the Mineral Research and Exploration Inst. of Turkey 46/47 Ankara, 1954/55, S. 17 — 45.
84. Hodges, P. A., Chrome mining in Southern Rhodesia, Min. Enging., (1954), S. 791 — 797.
85. Horninger, G., Beobachtungen am Erzinhalt von Gesteinen und am Chromerz aus Tampadel in Schlesien, Tschermarks Mineral. und Petrog. Mitteilungen 52 (1941), S. 315 — 364.
86. Van der Kaaden, G., On relationship between the composition of chromites and tectonicmagmatic position in peridotite bodies in the SW of Turkey, Congr. Geol. Internat. XX Session Mexico (1956), Section 8.
87. Kern, H., Zur Geochemie und Lagerstättenkunde des Chroms und zur Mikroskopie und Genese der Chromerze, Dissertation an der Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen der Bergakademie Clausthal, Techn. Hochschule 1964.
88. Knoop, C. G., A sensitive pyramidal diamond tool for indentation measurements, J. Res. Nat. Bur. Standards 23 (1939), S. 39.
89. Konopicky, K., Die Entwicklung der Magnesitsteine im Spiegel der Patente, Radex-Rundschau 1948, H. 5/6, S. 107 — 115.
90. Konopicky, K., Die Entwicklung der Produktion in den Betrieben der Österreichisch-Amerikanischen Magnesit AG, Radex-Rundschau 1948, H. 5/6, S. 81 — 83.
91. Konopicky, K., Feuerfeste Baustoffe, Verlag Stahl Eisen m. b. H., Düsseldorf 1957, S. 227.
92. Koritnig, S., Das Reflexionsvermögen opaker Mischkristalle, N. Jb. Miner. Mh. 8, (1964), S. 225 — 231.
93. Kötter, K., Die mikroskopischen Reflexionsmessungen mit dem Photomultiplier und ihre Anwendung auf die Kohlenuntersuchung, Brennstoffchemie 41 (1960), S. 263 — 272.
94. Kovenko, V., Gites de chromite et roches chromifères de l'Asie mineure (Turquie), Mem. Soc. geol. France Nr. 61 (1949), S. 1 — 45.
95. Krause, H., Erzmikroskopische Untersuchungen an türkischen Chromiten, N. Jb. f. Min. Abh. 90 (1957), S. 305 — 366.
96. Krifka, O. u. A. Schöberl, Temperaturwechselbeständige Chrommagnesitsteine als Baustoffe für SM-Öfen, Radex-Rundschau 1948, H. 3/4, S. 57 — 60.

97. Lebedva, S. I., Die Mikrohärtigkeit von Mineralien, Trudy Inst. Mineral. Geokhim. Kristallochim. Redikh Elem., Akad. Nauk SSSR 6 (1961), S. 89 — 100.
98. Leitz, E., G. m. b. H. Wetzlar, Photometerfilter, Eigenschaften, Daten, Liste 62 — 12 (1962).
99. Leitz, E., Anleitung und Regeln für das Arbeiten mit dem Kleinhärteprüfer DURIMET, Leitz-Wetzlar Liste 72 — 5 a, April 64.
100. Leow, J. H., Das Leitz-Mikroskopphotometer MPV und seine Anwendung für quantitative Reflexionsmessungen, Leitz Mitteilungen für Wissenschaft und Technik, Bd. IV, Nr. 6 (1968), S. 176 — 180.
101. Lips, E. M. H., Härtemessung an Gefügebestandteilen, Zeitschrift für Metallkunde 29 (1937), Heft 10, S. 339 — 340.
102. Losinski, M. G. u. W. Ss. Mirotworski, Über die Genauigkeit der Messung der Mikrohärtigkeit, Betriebs-Lab. UdSSR 30 (1964), S. 894 — 896.
103. Lynam, T. R. u. W. J. Rees, Mixtures of Chromite and Grecian magnesite, Part. II, Trans. Brit. Ceram. Soc. Bd. 36 (1937), S. 152 — 172.
104. Lynam, T. R. u. A. Nicholson, Petrological determination of suitability of chromite for chrome-magnesite bricks, Trans. Brit. Ceram. Soc. 56, 1957, S. 190 — 199.
105. MacGregor, I. D. u. Ch. H. Smith, The use of chrome spinels in petrologic studies of the ultrafamic intrusions Geol. Surv. Canada (reprint), Canad. contribution of the international Upper Mantle Project Nr. 4 (1963), S. 403 — 412.
106. McLean, J. D., Reproduzierbarkeit der Eichung eines Elrepho-Reflexionsmeßgerätes, Pulp. Paper Mag. Canada, 65 Nr. 10 (1964).
107. Meyer, E., Untersuchungen über Härteprüfungen und Härte, Ztschft. Ver. dtsch. Ing. 52 (1908), S. 645, 740, 835.
108. Mitsche, R. u. E. M. Onitsch, Über die Mikrohärtigkeit der Mineralien, Mikroskopie Zbl. für mikroskopische Forschung und Methodik, Bd. 3 (1948), H. 9/12, S. 257 — 309.
109. Mitsche, R., Die Anwendung der Mikroreflexionsmessung in der Metallographie, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 107, H. 2 (1962), S. 25 — 32.
110. Mitsche, R. u. H. Scheidl, Die Anwendung der Mikroreflexionsmessung in der Metallographie, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 109, H. 3 (1964), S. 82 — 85.
111. Mott, B. W., Micro-Indentation Hardness Testing, Butterworth's Scientific Public, London 1956.
112. Mott, B. W., Die Mikrohärtigkeitprüfung, Verlag Berliner Union, Stuttgart 1957.
113. Myschkin, S. N., Ogneupory Bd. 2 (1934), S. 243 — 248.
114. Nakhla, F. M., The hardness of minerals metallic in polished sections, Econ. Geol. 51 (1956), S. 811 — 827.
115. Neff, H., Grundlagen und Anwendung der Röntgenfeinstrukturanalyse, R. Oldenbourg München 1962.
116. Novochatskij, I. A., R. L. Gersman u. A. A. Savinskaja, Struktur fester Lösungen von Magnetit in Ferrochromit, Izvest Akad. Nauk SSSR, Metally Nr. 2 (1966), S. 27 — 30.
117. Österr. Amerikanische Magnesit AG, Herstellung eines hochfeuerfesten Chrommagnesit-Steines, Brit. Pat. 435448, v. 2. Okt. 1935.
118. Österr. Amerikanische Magnesit AG, Verfahren zur Herstellung von temperaturwechselbeständigen, hochfeuerfesten Steinen aus Gemischen von Magnesit und Chromit, DRP Nr. 158 213 angemeldet 5. 4. 1933.
119. Österr. Amerikanische Magnesit AG, Verfahren zur Herstellung feuerfester Erzeugnisse, DRP Nr. 160473 patentiert vom 29. 4. 37, Patenterteilung 15. 5. 1941.
120. Oettel, W. O., Neue Instrumente zur Mikrohärtigkeitprüfung, Metal Treatment Drop. Forging 30 (1963), S. 450 — 452.
121. Onitsch, E. M., Über die Mikrohärtigkeit der Metalle, Mikroskopie Zbl. für mikroskopische Forschung und Methodik, Bd. 2 (1947), H. 5/6, S. 131 — 151.
122. Onitsch, E. M., Der heutige Stand der Härteprüfung von Mineralien, Berg- und Hüttenmännische Mhft., Bd. 95, (1950), S. 13 — 15.
123. OrceI, J., Comp. Rend. Congr. Savants (1936), S. 133 — 136.
124. Palache, Ch., H. Berman u. C. Frondel, Dana System of Mineralogy, Bd. I, John Wiley & Sons, Inc. New York 1946.
125. Perkins, E., Engg. Min. J. 140, Nr. 6 (1939), S. 29 — 34.
126. Pickhardt, W. u. K. Robock, Weiterentwicklung einer Apparatur zur photoelektrischen Messung der Reflexion und Absorption, Brennstoffchemie 46 (1965), S. 3 — 7.
127. Piller, H. u. K. von Gehlen, On errors of reflectivity measurements and of calculations of refractive index  $n$  and absorption coefficient  $k$ , Am. Mineralogist Vol. 49 (1964), S. 868 — 882.
128. Piller, H., Influence of light reflection at the objective in the quantitative measurement of reflectivity with the microscope, Min. Mag. London Vol. 36 (1967), Nr. 278, S. 242 — 259.
129. Pirkl, H., Unveröffentlichte Montangeolog. Untersuchung von Chromitlagerstätten bei Baykan (1965).
130. Ponomarewa, M. N., N. W. Pawlow u. I. I. Tschuprynina, Die Bestimmung der Zusammensetzung einiger Mineralproben von Chromspinellen an Hand ihres Reflexionsvermögens, Akad. d. Wiss. d. UdSSR, Geol. d. Erzlagerstätten 6 (1964), S. 103 — 106.
131. Prod'homme, M., Mikrohärtigkeit von Gläsern, Physics Chem. Glasses 9 (1968), S. 101 — 105.
132. Rait, J. R., Basic Refractories, Illiffe & Sons Ltd. London 1950.
133. Ramdohr, P., Die Erzminerale und ihre Verwachsungen, Akademie Verlag Berlin 1955, S. 720.
134. Ramsthaler, P., Über einen neuen Mikrohärtigkeitprüfer, Mikroskopie Zbl. für mikroskopische Forschung und Methodik, Bd. 2 (1947), S. 345 — 352.
135. Rao, S. V. L., Vicker's Hardness of Moh's Scale Minerals, Indian Mineralogist 2, 1961, S. 36 — 43.
136. Rapp, A. u. H. Hanemann, Mikrohärtigkeitmessungen an Gefügebestandteilen von Lagermetallen, Zschft. f. Metallkunde 33 (1941), S. 64 — 67.
137. Rechenberg, H. P., Chromerzkonferenz 26. — 29. Sept. 1960 in Ankara, Zeitschr. Erzbergbau, Metallhüttenwesen 14 (1961), S. 145 — 146.
138. Rechenberg, H. P., The chrome ore deposits of Kavak, Eskisehir (Turkey) in Symposium on Chrome Ore held in Ankara Turkey 1960, Central Treaty Organization, Ankara, 1961, S. 146 — 156.
139. Reichert, C., A. Grabner u. A. Reuschel, Die Mikrohärtigkeit, 2. Aufl. Opt. Werke C. Reichert Wien, 1953 u. 1963.
140. Rigby, G. R., G. H. B. Lovell u. A. T. Green, An investigation of chrome ores, Third report on refractory materials, The Iron & Steel Institute Spec. Rep. Nr. 32, S. 43 — 153.
141. Rinne, F. u. M. Berek, Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop, 2. Aufl. Stuttgart (1953).
142. Rossmann, D. L., N. S. Fernandez, C. A. Fontanos u. Z. C. Zepeda, Chromite deposits on Insular Chromite reservation number one, Zambales, Philippines, Philippine Bur. Mines Spec. Proj. Pub. 19 (1959), S. 12.
143. Scheidl, H. u. R. Mitsche, Neue Beispiele aus der Mikroreflexionsmessung, Radex-Rundschau 1967, H 3/4, S. 596 — 607.
144. Schmidt, W. J., Chromitvorkommen im westlichen Zentralanatolien, Montanrundschau Nr. 10 (1954), S. 258 — 261.
145. Schneiderhöhn, H., Die mineralogischen Bodenschätze im südlichen Afrika, NEM Verlag Berlin 1931.
146. Schneiderhöhn, H., Erzmikroskopisches Praktikum Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele), 1952.
147. Schneiderhöhn, H., Die Erzlagerstätten der Erde, Bd. I. Die Erzlagerstätten der Frühkristallisation, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1958.
148. Schuhmacher, F., Z. Erzbergbau Metallhüttenw. 9 (1956), S. 499 — 503.

149. Schultz, G., Röntgenographische und optische Untersuchungen der  $Al_2O_3-Cr_2O_3$ -Mischkristallreihe, Tag. Ber. d. physik. Ges. DDR 1959, Phys.-Chem. Kristall. 1 herausgeg. 1960, S. 219 — 222.
150. Schulz, F. u. H. Hanemann, Die Bestimmung der Mikrohärtigkeit von Metallen, Ztschft. f. Metallkunde 33 (1941), S. 124 — 134.
151. Schürenberg, H., Untersuchungen an iranischen Chromerzlagern, Techn. Mitt. Krupp, Bd. 17 (1959), Nr. 1, S. 37 — 43.
152. Semlitsch, M. u. E. B. Bergsman, Mikrohärtigkeitsprüfung an metallischen Objekten bei Raum- und höherer Temperatur in H. Freund (56), Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. III, Teil 2, Untersuchungsmethoden in der Metallkunde, Umschau Verlag 1969, S. 347 — 370.
153. Simpson, E. S., Mineralog. Mag. 19 (1920/22), S. 99 — 106.
154. Smith, R. u. G. Sandland, Die Verwendung von Diamantpyramiden für die Härteprüfung, Journ. Iron Steel Inst. 9, (1925), S. 285.
155. Sokolov, G. A., Chromity Urala, ich sostav, uslovija, Kristallizacii i zakonomernosti rasprostranjenija, Trudy Inst. geol. Nauk (russ.) Nr. 97 (1948), S. 1 — 127.
156. Sporkert, K., Beitrag zur Fehlerbestimmung von Mikrohärtmessungen, Zeiss-Nachr. 5 (1945), S. 252 — 256.
157. Stach, E. u. H. Ch. Michels, Reflexionsmessungen an Kohleanschläffen mit dem Berek-Mikrophotometer, insbesondere am Eximit der Ruhrkohlenflöze, Geol. Jb. 71 (1955), S. 113 — 143.
158. Stevens, R. E., Composition of some chromites of the Western hemisphere, Am. Min. 29 (1944), S. 1 — 35.
159. Stoll, W. C., Geology and petrology of the Masinloc chromite deposit, Zambales Luzon Philippine Islands, Geol. Soc. America Bull. Vol. 69 (1958), S. 419 — 448.
160. Struntz, H., Mineralogische Tabellen, Akad. Verlagsges. Geest & Portig K. G., Leipzig 1966.
161. Taylor, E. W., Micro-Hardness Testing of Metals, Journ. Inst. Metals 74 (1948), S. 493 — 500.
162. Tertsch, H., Die Festigkeitserscheinungen der Kristalle, Springer Verlag Wien, 1949.
163. Tertsch, H., Beobachtungen über Vickers-Mikrohärte am Kalkspat, Mikroskopie Zbl. für mikroskopische Forschung und Methodik, Bd. 5 (1950), H. 7/8, S. 172 — 183.
164. Tertsch, H., Bemerkungen zur Verwendung von Mikrohärtprüfern nach der Vickersmethode, Mikroskopie Zbl. f. mikroskopische Forschung und Methodik, Bd. 7 (1952), H. 3/4, S. 131 — 134.
165. Tertsch, H., Methoden mikroskopischer Härteprüfung, Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. I, Teil 2, Instrumente für Auflicht-Mikroskopie von H. Freund (53), Umschau Verlag Frankfurt am Main (1960), S. 487 — 535.
166. Thayer, T. P., Chrome resources of Cuba, U. S. Geol. Surv. Bl. Nr. 935-A (1942), S. 1 — 74.
167. Thayer, T. P., Preliminary chemical correlations of chromite with the containing rocks, Econ. Geol. (1946) 51 S. 202 — 217.
168. Thayer, T. P., Principal features and origin of podiform chromite deposits and some observations on the Guleman-Soridag district, Turkey, Economic Geol. Vol. 59 (1964), S. 1497 — 1524.
169. Thilo, E. u. R. Sauer, Über die Farb- und anderen Eigenschaften der Spinellmischkristalle des Systems  $MgO \cdot Al_2O_3 - MgO \cdot Cr_2O_3$ , Chem. d. Erde 17 (1955), S. 165 — 175.
170. Toubeau, G., Messung der Mikrohärtigkeit nach Vickers an opaken Mineralien und ihre Bedeutung in der Mineralogie, Bull. Soc. belge Geol., Paleontol. Hydrol. 71 (1963), S. 242 — 267.
171. Trojer, F., Der Einfluß der Chromerzstrukturen auf das Bursting der Chrommagnetitsteine, Radex-Rundschau 1951, Heft 4, S. 160 — 164.
172. Trojer, F., Die Kristallkomponenten der gebrannten Magnesit und Chrommagnetitsteine in (55), S. 173 — 197.
173. Trojer, F., Die Herstellung reliefreier Anschläge, Karinthin, Klagenfurt 1952, Folge 19, S. 147 — 169.
174. Trojer, F., Zur Kenntnis des Eisenoxid- und Alkali-Burstings an grobkeramischen Baustoffen, Radex-Rundschau 1956, Heft 4/5, S. 189 — 196.
175. Trojer, F., Reflexionsmessungen in der Mikroskopie hüttenmännischer Produkte, Radex-Rundschau 1962, H. 1, S. 543 — 551 und Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 107 (1962), H. 2, S. 33 — 39.
176. Trojer, F., Die oxidischen Kristallphasen der anorganischen Industrieerzeugnisse, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermüller), Stuttgart 1963, S. 248.
177. Trostel, L. J., Absorption of magnesia by chromite spinel, J. Am. Ceram. Soc. 22 (1939), S. 46 — 50.
178. Uytendogaardt, W. u. S. H. U. Bowie, Aufzeichnungen über das IMA Commission on Ore Microscopy Treffen in Neu-Dehli am 14. 12. 1964, Econ. Geol. 60, 1965, S. 1326 — 1329.
179. Uytendogaardt, W., Der „Durimet-Pol“ ein neuer Kleinhärtprüfer für Eindruckhärtbestimmungen im polarisierten Auflicht, Leitzmittlg. für Wissenschaft und Technik, Bd. III, Nr. 7 (1966), S. 218 — 219.
180. Uytendogaardt, W., Principles of micro-indentation hardness measurement, Publication of the Department of Mineralogy and Petrology, Institute of Earth Sciences, Free University Amsterdam, Vortrag anlässlich der II. Intern. Sommerschule für quantitative Methoden in der Auflichtmikroskopie 1967 in Bensheim.
181. Vachromeev, S. A., Chromity Urala i ich Klassifikacija (russ.) Sverdlovsk 1935.
182. Vachromeev, S. A., I. A. Zimin, K. E. Kozevnikov, A. N. Laskov u. G. M. Mazaev, Trudy Vsesojuznogo naučno-issled., Inst. mineral'nogo Syr'ja (russ.) Nr. 85, 1936.
183. Van der Walt, C. F. J., Chrome ores of the Western Bushveld Complex, Transact. Geol. Soc. South Africa (1942), 44, S. 79 — 112.
184. Vigdorovic, V. N. u. L. G. Elanskaja, Mikroskopische Untersuchung von Mikrohärt-Eindruckstellen, Zav. Labor 33 (1967), S. 994 — 998.
185. Vitovec, F., Über den Einfluß von Prüflast und Kaltverformung auf die Mikrohärtigkeit, Berg- und Hüttenmännische Mhft., Bd. 96, (1951), H. 6, S. 133 — 136.
186. Warshaw, I., und M. L. Keith, Solid solution and chromium oxide in part of the system  $MgO-Al_2O_3-Cr_2O_3-SiO_2$ , Journ. Amer. Ceram. Soc. 37 (1954), S. 161 — 168.
187. Wasserstein, B., Some notes of the critical zone of the Bushveldgabbro at the Svakop-Chrome-Mine in the Rustenburg-District, Transact. Geol. Soc. South Africa (1937), 39, S. 215 — 222.
188. Watts, M., Chromite in Iran, Mine & Quarry Engng. 29, (1963), Nr. 1, S. 2 — 13.
189. Weber, K., Leitz-Mikroskop-Photometer MPV mit variabler Meßblende, Leitz-Mitt. Wiss. und Technik, Bd. 3, Nr. 4, (1965), S. 103 — 107.
190. Weiser, T., Untersuchungen mit der Elektronenmikrosonde über die Zusammensetzung von Chromiten, N. Jb. f. Mineralogie, Abhdlg. Bd. 107, (1967), S. 113 — 143.
191. Werner, A., Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien, Leipzig 1774.
192. Westbrook, J. H. u. P. J. Jorgensen, Effects of water desorption on indentation microhardness anisotropy in minerals, Am. Mineralogist Vol. 53 (1968), S. 1899 — 1909.
193. Wijkerslooth, P. de, Die Chromerzprovinzen der Türkei und des Balkans und ihr Verhalten zur Großtektonik dieser Länder, Maden Tetkik Arama Yajinlarindan 7 (1942), S. 54 — 75.
194. Wijkerslooth, P. de, Die Metamorphose des anatolischen Chromerzes und ihre Abhängigkeit von den magmatischen Ereignissen, Maden Tetkik Arama Yajinlarindan (türk.), Serie B, Nr. 10 (1946), S. 49 — 80.
195. Wijkerslooth, P. de, The chromite deposits of the Guleman-concession (Vilayet Elazig Turkey), K. Nederl. Akad. Wetens. Proc. Vol. 50 (1947), S. 215 — 224.
196. Wijkerslooth, P. de, Einiges über die Entstehung von Chromitkonzentrationen und Chromerzlagern an Hand von neuen Beobachtungen in Anatolien, N. Jb. f. Min. Mhft. (1954), S. 190 — 200.

197. Winchell, A. N., *Am. Mineralogist* 26 (1941), S. 422/8.
198. Winchell, H., The knoop microhardness tester as a mineralogical tool, *Am. Mineral* 30 (1945), S. 583 — 595.
199. Winchell, A. N., *Elements of optical mineralogy*, New York 1951, S. 82.
200. Young, B. B. u. A. P. Millman, Microhardness and deformation characteristics of ore minerals, *Bull. Inst. Min & Met.* 7, (1964), S. 437 — 466.
201. Zednicek, W., Der Einfluß des Zerdrückungsgrades eines Chromerzes auf das Bursting, *Radex-Rundschau* 1966, Heft 5, S. 316 — 322.
202. Zednicek, W., Die Mineralogie im Industrieinsatz, *Joanneum Mineralog. Mitteilungsblatt* 1/2, 1967 Graz, Festschrift zum 80. Geburtstag, Prof. Dr. F. Angel, S. 129 — 134.
203. Zengin, Y., The mode of distribution of chrome ores in peridotites in Turkey, *Bull. Miner. Res. Explor. Inst.* 49 Turkey (1957), S. 84 — 92.
204. Zubakov, S. M., Die Wechselwirkung von Chromit mit einigen Mineralen, *Trudy Inst. Stroitel. i. Stroimaterialov. Akad. Nauk Kazakh. S. S. R.* 1 (1958), S. 170 — 190.