

BEOBSACHTUNGEN ÜBER VICKERS-MIKROHÄRTE AM KALKSPAT

Von HERMANN TERTSCH, Wien

Mit 8 Abbildungen

In überaus verdienstvoller und richtunggebender Weise haben R. MITSCHKE und E. H. ONITSCH in mehrfachen Arbeiten (1) unter Verwendung des von C. Reichert herausgebrachten „Mikrohärteprüfgerätes“ die grundlegende Methodik solcher Untersuchungen entwickelt. Wie auch auf anderen Gebieten, so zeigte sich auch hierbei, daß die praktische Verwendung dieser Prüfmethode ganz neue Probleme aufscheinen ließ und daß der scheinbar so einfache Vorgang des Einpressens eines geeigneten Prüfkörpers in die Oberfläche des Probestückes in Wirklichkeit einen überaus verwinkelten physikalischen Vorgang darstellt.

Hier setzt nun das Interesse des Kristallphysikers ein, dem es seit langem geläufig ist, daß die „Härte“ eines Minerals eine von der Richtung abhängige Erscheinung ist. Das kommt auch deutlich in den „Verzerrungen“ der Vickers-Eindrücke zum Ausdruck, wie diese schon von F. SCHULZ und H. HANEMANN (2) beschrieben wurden (siehe auch [3]).

Es scheint darum notwendig, aus der Fülle der offenen Fragen über die Mikrohärtigkeit an Einkristallen gerade jene der unleugbaren Anisotropie der Vickers-Härte in ihrer Abhängigkeit von der untersuchten Kristallfläche herauszugreifen und einer möglichst weitgehenden Prüfung zuzuführen. Die nachfolgenden Beobachtungsdaten wollen nur Anregungen geben, nicht aber abschließende Ergebnisse, stehen wir doch gerade in dieser Frage erst ganz am Beginn der Entwicklung des Vickers-Härteproblems.

Für die Stoffwahl war maßgebend, daß das Material eine möglichst klare Bezugnahme auf die Symmetrie der untersuchten Fläche gestattet; das heißt, Kristalle mittleren Symmetriegrades waren am günstigsten. Außerdem sollten möglichst große und klare Einzelkristalle vorliegen. In beiden Belangen erwies sich der Kalkspat von Großarl (Salzburg) am geeignetsten.

Um für alle zu untersuchenden Flächen möglichst gleiche Ausgangsverhältnisse zu schaffen, wurden, wie das in der Metallographie allgemein üblich ist, geeignete Flächenlagen angeschliffen bzw. nachgeschliffen und sorgfältig poliert. Damit war auch die unbedingt erforderliche streng ebene Auflagerung der Fläche auf dem Mikroskopisch gesichert. Es wurden dabei folgende an- bzw. nachgeschliffene und polierte Flächen untersucht: die Spaltfläche (1011), die Basisfläche (0001), das Prisma 1. Art (1010) und das verwendete Prisma 2. Art (1120)¹⁾.

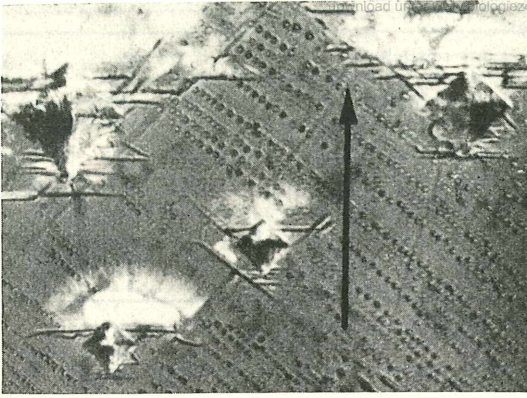
Das Material verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Herrn Prof. Dr. H. LEITMEIER, Vorstand des Mineral-petrographisch. Institutes der Universität, die Beobachtungen selbst erfolgten an dem Mikrohärteprüfgerät der Firma C. Reichert, das mir in entgegenkommendster Weise zur Verfügung gestellt wurde, wofür ich Herrn Dr. REICHERT zu wärmstem Dank verpflichtet bin. Hinsichtlich technischer Fragen der Untersuchung habe ich den Herren HEINZ und ADAMEK besonders zu danken.

Die Spaltfläche (1011)

Es wurde hier wie auch in der Folge mit 5 Prüfungsgewichten gearbeitet (17, 34, 51, 69, 87 g). Bei allen Prüfungsgewichten waren die Eindrücke bei gleicher Orientierung durchaus ähnlich und unter Verwendung des gleichen Druckes bei der Durchmessung der jeweils

¹⁾ Obwohl schon lange bekannt ist, daß durch Anschleifen und Polieren die äußere Schicht des Kristalls strukturell verändert („verschmiert“) wird, wurde doch wegen der gewünschten Gleichheit der Vorbedingungen der künstliche Anschliff gewählt. Bezüglich Einzelheiten vgl. G. J. FINCH (4) und MITSCHKE-ONITSCH (1).

a



b

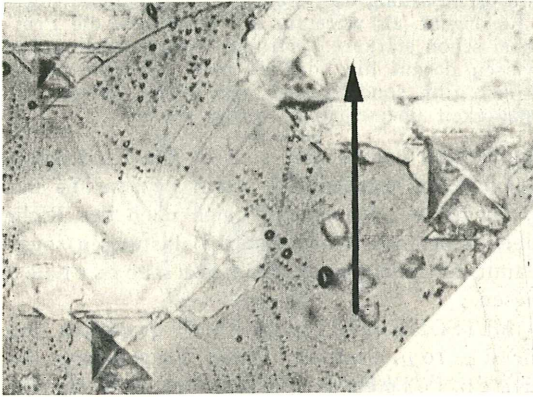


Abb. 1. Vickers-Eindrücke auf der Spaltfläche des Kalkspates bei 87,51 u. 17 g Prüflast, Vergrößerung 460:1. a die Diagonalen parallel und senkrecht zum Hauptschnitt (Pfeil). b die Diagonalen unter 45° zum Hauptschnitt (Pfeil).

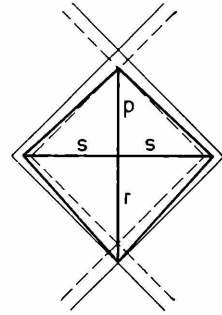


Abb. 2.

Zur Vermessung deltoidischer Vickers-Eindrücke.

5 Eindrücke für ein Druckgewicht ziemlich gleich. — Die Arbeitsweise hielt sich genau an den von MITSCHKE-ONITSCH (1) angegebenen methodischen Gang. Dabei bestätigte sich die Wahrnehmung jener Forscher, daß die Meyer-Gerade nur angenähert wirklich linearen Charakter hat.

1. Zunächst wurden 5 Serien von je 5 Eindrücken so vorgenommen, daß die „Diagonalen“ der Eindrücke parallel und senkrecht zum Hauptschnitt (kurze Diagonale der Spaltfläche) liegen.

Die Form der Eindrücke war überaus kennzeichnend und für alle Belastungen gleich (Abb. 1 a). Unter allen Umständen besaßen sie Deltoidform mit der Symmetrale parallel dem Hauptschnitt. Die kürzeste Pyramidenkantenspur (Teil einer „Diagonale“) war gegen die Polecke gekehrt, die längste von ihr abgewendet. Die seitlichen Diagonalen (senkrecht zum Hauptschnitt) zeigten mittlere Werte und waren in ihren Abmessungen rechts und links völlig oder nahezu vollkommen gleich. Bei allen Eindrücken auf der Spaltfläche sah man auf der zur Polecke gewendeten Seite deutliche Aufblätterungen mit einer Riefung parallel der Spur der Gleitfläche (T012) (lange Diagonale der Spaltfläche). Vgl. hiezu das Aussehen der Schlag- und Druckfiguren auf der Spaltfläche! (3).

Die Ausmessung erfolgt so, daß die Spitze des Eindrucks (Kreuzung der Diagonalen) genau zentriert wurde und von hier aus die Diagonalen (d) mit dem Meßokular bestimmt wurden. Wie Abb. 2 erkennen läßt, mißt man mit den beiden verschiebbaren Meßwinkeln eigentlich die doppelte Kantenlänge des Eindrucks. Es ist so, als läge einmal eine kleine Eindruckspyramide mit $2p$ als Diagonale vor, das andere Mal eine große mit $2r$.

Prüf- last in g	(r) lang			(s) seitlich			(p) kurz		
	d_μ (Δ)	MH	n	d_μ (Δ)	MH	n	d_μ (Δ)	MH	n
87	39,1 ($\pm 2,5$)	105,5	1,965	33,7 ($\pm 1,2$)	142	1,90	31,2 ($\pm 3,2$)	157	1,855
69	34,6 ($\pm 1,7$)	106,7	1,965	29,2 ($\pm 0,3$)	150	1,90	27,7 ($\pm 0,5$)	166,8	1,855
51	30,2 ($\pm 0,2$)	105,1	1,965	25,5 ($\pm 0,4$)	145,4	1,90	23,5 ($\pm 0,2$)	169,2	1,855
34	24,2 ($\pm 0,2$)	108	1,965	20,9 ($\pm 0,4$)	144,6	1,90	18,9 ($\pm 0,2$)	176,8	1,855
17	17,6 ($\pm 0,3$)	102,8	2,075	14,0 ($\pm 0,5$)	160,7	1,90	12,4 ($\pm 0,5$)	204,6	1,670

Der Exponent n der Meyer-Geraden war, wie schon bemerkt, nur bei den höheren Belastungen konstant. Bemerkenswert ist aber, daß für die d_s -Werte das n für den Gesamtbereich der Belastung konstant blieb.

Bei den hier vorliegenden Messungsergebnissen fällt, abgesehen von der Änderung des n bei 17 g Belastung, die Reihe mit 87 g Belastung auf, weil sie die größten Fehlerwerte für die d_μ -Messung (Δ) aufweist. Es scheint, als wäre für die Spaltfläche die Prüflast von 87 g schon ungünstig, da sich dabei schon stärkere Zertrümmerungserscheinungen zeigen. Auch MITSCHKE-ONITSCH weisen darauf hin, daß es nicht nur eine untere Grenze für die Verwendbarkeit der Prüflast gibt, sondern auch eine obere Grenze, die nicht ohne Nachteil für die Messungsgenauigkeit überschritten werden darf.

Als wesentlich geht aus obiger Zahlentafel hervor, daß sich in den Eindrücken je nach der Richtung Unterschiede ergeben, die schon jenseits der Fehlergrenzen der Einmessung liegen. Da diese „Verzerrung“ sich nach der Richtung bei allen Belastungen gleich ergibt, ja bei den schwächsten Belastungen sogar noch deutlicher hervortritt, ist schon damit ein unleugbarer Härteunterschied nach den gemessenen Richtungen bewiesen.

Entsprechend dem Vorschlag von MITSCHKE-ONITSCH wurde graphisch und rechnerisch die MH (Mikrohärte) für $d = 10 \mu$ ermittelt. Unter Verwendung des unmittelbar aus den Messungen folgenden n ergaben sich für die einzelnen Richtungen die Werte:

$$r: {}^{2,075}MH_{10\mu} = 100,3; \quad s: {}^{1,90}MH_{10\mu} = 161,4; \quad p: {}^{1,67}MH_{10\mu} = 219,0.$$

Gälte die n -Zahl von 34 g bis 87 g Belastung für den ganzen Meßbereich, dann ergäbe sich: $r: {}^{1,965}MH_{10\mu} = 107,5; \quad s: {}^{1,90}MH_{10\mu} = 161,4; \quad p: {}^{1,855}MH_{10\mu} = 193,0.$

2. In ähnlicher Weise wurde die Anisotropie der Vickers-Härte auf der Spaltfläche geprüft, wenn die „Diagonalen“ des Eindruckes unter 45° gegen den Hauptschnitt geneigt sind.

Auch hier waren bei allen Prüflasten die Eindrücke durchaus ähnlich. Da die Symmetrieebene der Spaltfläche (Hauptschnitt) nun den Winkel zwischen den Diagonalen halbiert, ergab sich als Verzerrung ein gleichschenkeliges Trapez, dessen längere Parallelseite der Polecke zugekehrt war. Die Diagonalen zeigten dabei einen kürzeren und längeren Schenkel, rechts und links streng symmetrisch verteilt (Abb. 3 und 1 b).

Da die Richtungen der „Diagonalen“ hier im groben den Richtungen der beiden anderen Spaltflächen entsprechen, war auch hier, wie in der ersten Stellung, der gegen den Pol gerichtete Teil des Eindruckes (mit der langen Parallelseite) etwas aufgeblättert, so daß auch hier eine Orientierungsmöglichkeit nach der Seite der Polecke (Aufblätterungsseite) entwickelt schien. Wenn auch die symmetrische Verzerrung unverkennbar war und die symmetrische Verteilung der Diagonalenäste in ihren Abmessungen eine erfreuliche Übereinstimmung zeigte, war doch das Gesamtbild dieser anisotropen Verzerrung infolge der geringen Unterschiede in den Maßzahlen für die langen, gegen die Polkanten gekehrten Äste (p) und die kürzeren, gegen die Randkanten gewendeten (r) durchaus nicht so deutlich und damit zwingend, wie in jenem Falle, wo die Diagonalen parallel und senkrecht zum Hauptschnitt verlaufen.

Prüflast in g	(p) lang			(r) kurz		
	$d\mu$	MH	n	$d\mu$	MH	n
87	40,1	99,3	2,06	34,6	136,2	1,955
51	33,9	82,2	2,06	28,4	117,0	1,955
17	19,2	86,2	2,06	15,9	124,7	1,955
6,8	—	—	—	10,0	126,0	1,955
4,5	10,0	83,5	2,06	—	—	—

Es wurden nur drei Messungsreihen mit den Prüflasten 17, 51, 87 g, jede mit fünf Einzeleindrücken durchgeführt.

Es darf nicht verschwiegen werden, daß die Meyer-Gerade hier größere Unsicherheiten zeigte als bei der früheren Orientierung. Im allgemeinen bewegte sie sich in Steigungen, die der Randeckenrichtung der ersten Versuchsreihe eigentümlich sind. Immer war das n ziemlich hoch und die MH für 10μ demgemäß klein.

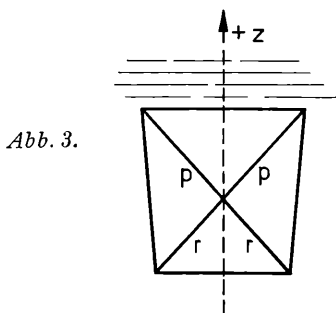


Abb. 3.

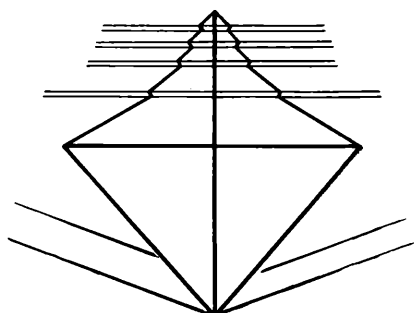


Abb. 4.

Abb. 3. Form und Lage des Eindrucks mit Diagonalen unter 45° zum Hauptschnitt.

Abb. 4. Stark schematisierter Vickers-Eindruck auf $(10\bar{1}0)$ mit der „Zuschärfung“ gegen die obere Ecke.

Die Prismenfläche $(10\bar{1}0)$

Wieder wurden zwei gesonderte Messungsreihen durchgeführt, entsprechend der Lage der Diagonalen gegenüber der Symmetrieebene (Hauptschnitt).

1. Die Diagonalen parallel und senkrecht zur Symmetrieebenenspur

Die recht klaren Eindrücke zeigten bei allen Belastungsstufen wieder ausgesprochene Deltoidformen mit der Symmetrale parallel dem Hauptschnitt. Die seitlichen Kanteneindrücke (Querdiagonalen) waren wieder praktisch vollkommen gleich. Interessant war das in allen Fällen zu beobachtende Auftreten von Rissen nach den Gleit- (nicht Spalt-) Flächen.

Die obere Hälfte des Eindrucks (gegen das anschließende Spaltrhomboider gekehrt) zeigte solche Risse seltener, aber fast immer waren die seitlichen Begrenzungsflächen des Eindrucks etwas gekrümmt, so daß eine Art Zuschärfung des Endes des kurzen Diagonalenteiles (p) zu sehen war. Genauer Zusehen ergab, daß sich diese Ecke des Eindrucks stufig aus den Seitenlinien entwickelt, wobei diese Stufen längs Querrissen parallel $(\bar{1}012)$ zur Ausbildung kommen (Abb. 4). (Vgl. das gleichartige Auftreten von Querrissen in der Spaltfläche).

In der unteren Hälfte der Eindrucksfigur liefen ganz regelmäßig, gewöhnlich paarweise, von der unteren Ecke und etwas höher Risse nach den anderen Flächen des Gleit-rhomboeders (1012), wie sich leicht an den Winkeln der Spuren erkennen ließ.

Die Ausmessung und Auswertung erfolgte genau in der Seite 173 beschriebenen Weise. So mag es genügen, die daraus folgenden MH-Werte anzuführen.

$$r: {}^{2,38}\text{MH}_{10\mu} = 39,0; \quad s: {}^{2,09}\text{MH}_{10\mu} = 98,3; \quad p: {}^{1,65}\text{MH}_{10\mu} = 204,0.$$

Die n -Werte sind nicht nur hoch, sondern auch ziemlich unsicher, insofern als die Meyer-Gerade nur in grober Annäherung als Gerade besteht, ohne daß man instande wäre, für verschiedene Belastungshöhen gewisse Tendenzen in der Steighöhe zu erkennen, wie bei der Spaltfläche für niedrige Prüflasten.

Im Vergleich mit den Zahlenergebnissen der Spaltfläche ist es bezeichnend, daß die Werte für die drei verschiedenen Richtungen innerhalb des Pyramideneindrucks hier noch stärker auseinanderfallen als bei der Spaltfläche, daß sich aber anderseits die Messungswerte doch für beide Flächenarten ungefähr in der gleichen Größenordnung bewegen.

Wenn man den nicht gemessenen, sondern errechneten und konstruierten ${}^n\text{MH}_{10\mu}$ -Werten eine volle diagnostische Bedeutung zumißt, muß man sagen, daß sich die Mikrohärte auf der Prismenfläche gegen den Eindruck kleiner, weicher zeigt als bei der Spaltfläche. Das ist darum besonders bemerkenswert, weil die Schleifhärte der Prismenfläche (1010) nach ROSIWAL beträchtlich höher ist als jene der Spaltfläche.

2. Die Diagonalen unter 45° gegen die Symmetrieebenenspur

Ähnlich wie bei der Spaltfläche ist auch hier eine trapezartige Verzerrung zu erkennen, doch ist sie nur wenig ausgeprägt, weshalb auch in diesem Falle nur drei Prüflasten angewendet wurden, bloß um einige Sicherheit in der Bestimmung des n zu erhalten.

Im Gegensatz zu den Beobachtungen an der Spaltfläche kehrten die Eindrucktrapeze ihre kurze Parallelseite dem positiven Ast der z -Achse (Pol) zu. Von den Ecken der Langseite, also im unteren Teile, liefen häufig auch Risse nach den Gleitflächen wie in der ersten Stellung.

Die Bestimmung der Meyer-Geraden bot zwei Merkwürdigkeiten: 1. die ungewöhnlich hohen n -Werte, 2. die Tatsache, daß für die gegen $+z$ gekehrten kürzeren Kanten-spuren diese Meyer-Gerade mit erstaunlicher Genauigkeit wirklich einen linearen Verlauf zeigte. Jedenfalls gaben die zwischen 17 g und 87 g ausgeführten Messungen einwandfrei die ungewöhnlich hohe Steigung (n).

$$\text{Lange Kante: } {}^{2,50}\text{MH}_{10\mu} = 46,4; \quad \text{kurze Kante: } {}^{2,42}\text{MH}_{10\mu} = 102,0.$$

Den hohen n -Werten entsprechend, ist auch hier die ${}^n\text{MH}_{10\mu}$ recht gering, so daß wieder im Eindruck das Prisma weicher erscheint als die Spaltfläche.

Das verwendete Prisma (1120)

Da durch die Fläche dieses Prismas keine Symmetrieebene geht, sondern auf ihr eine zweizählige Deckachse senkrecht steht, ist eine einfach-symmetrische Verzerrung ausgeschlossen. Das Quadrat der Vickers-Pyramide kann bloß parallel-grammatisch verzerrt werden, also im allgemeinsten Fall die Form eines Rhomboides annehmen oder unter besonderen Bedingungen zu einem Rhombus oder zu einem Rechteck entarten. Eine parallelogrammatische Verzerrung ist aber nur mit der Wirkung einer zweizähligen Deckachse vereinbar und läßt sich keinesfalls durch ein fehlerhaftes, schiefes Einpressen der Diamantpyramide in die Fläche erklären.

Das Verhalten des verwendeten Prismas ist demnach beweisend für die Anisotropie der Vickers-Härte und wurde schon an Antimonkristallen von F. SCHULZ und H. HANEMANN (2) beobachtet und abgebildet. Es war nun von Interesse zu prüfen, wie sich die gleichartige Fläche beim Kalkspat verhält.

Es wurden mehrfache Versuche unternommen, um die günstigsten Bedingungen für eine möglichst deutliche, dimetrische Verzerrung herauszufinden, denn bald zeigte sich, daß die erwartete Verzerrung gar nicht so auffällig und damit leicht meßbar war, wie das im Hinblick auf die Bedeutung derartiger Verzerrungsbeobachtungen wünschenswert war. — Als Ausgangsrichtung diente hierbei die Kante $[(11\bar{2}0) - (10\bar{1}1)]$, gleichzeitig die Richtung der Randkante des Spaltrhomboeders. Werden die Diagonalen parallel und senkrecht zu dieser Kante orientiert, dann erhält man einen Eindruck mit schwach rhombischer Verzerrung, also mit zwei ungleichen Diagonalen, die sich gegenseitig halbieren.

Bessere Erfolge erzielt man, wenn die Diagonalen unter 45° gegen die Ausgangskante liegen. In diesem Falle ergibt sich als Verzerrung ein deutliches Rechteck. Andere Lagen der Diagonalen gegen die Kante liefern keine deutlicheren Erscheinungen.

1. Die Diagonalen unter 45° zur Kante $[(11\bar{2}0) - (10\bar{1}1)]$ (Abb. 5)

Da in dem rechteckig verzerrten Pyramideneindruck die Diagonalen nicht mehr senkrecht aufeinander stehen, ergab sich eine meßtechnische Schwierigkeit in der Ausmessung der Eindrücke. Die Meßwinkel des Härteprüfgerät-Okulars gestatten zwar mit hinreichender Genauigkeit die Messung der Strecken AA' bzw. BB' in Abb. 6, nicht aber jene von CC' , also von der wirklichen Diagonale, denn die Schnitte der Meßwinkel bewegen sich in der Linie $ABB'A'$ und können den Punkt C nie erreichen. Es gibt zwei Möglichkeiten, CC' nach Lage und Länge durchzumessen: 1. durch Verwertung der Messungen AA' und BB' und 2. durch Drehung des Okulars um den Winkel δ und unmittelbare Ablesung der Strecke CC' .

Zur ersten Möglichkeit ist zu bemerken: Man verschiebt die Meßwinkel so weit, bis ihre Schenkel an den kurzen Rechteckseiten anliegen. Ihre Schnitte liefern die außerhalb des Rechteckes liegenden Punkte A und A'. Dann verkleinert man den Meßwinkelabstand so weit, daß die Schenkel nun den Langseiten des Rechteckes anliegen. Man gewinnt damit die auf den Langseiten liegenden Punkte B und B'. Aus der Abb. 6 ergibt sich, daß ACBD ein Quadrat ist, also $CD = AB$. AB ist aber $\frac{AA' + BB'}{2}$, wobei AA' und BB' unmittelbar an der Meßskala abgelesen werden. Die Seite C'D des rechtwinkligen Dreieckes $CC'D$ ist, wie aus der Abbildung ersichtlich, das arithmetische Mittel von AA' und BB' , also $C'D = \frac{AA' + BB'}{2}$. Damit ist aber auch die Diagonale CC' gegeben $= \sqrt{CD^2 + C'D^2}$. Der $\propto \delta$ aber, um den die Diagonale herausgedreht erscheint, ist gegeben durch $\tan \delta = CD : C'D$.

Wenn an dem Meßgerät die Möglichkeit besteht, abzulesen, um welchen Winkel das Meßokular gedreht werden muß bis die Richtung AA' in die Lage CC' kommt, dann

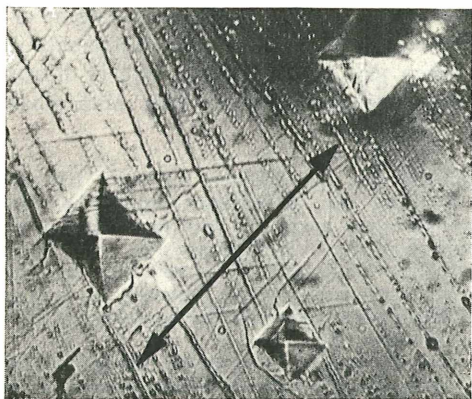


Abb. 5.

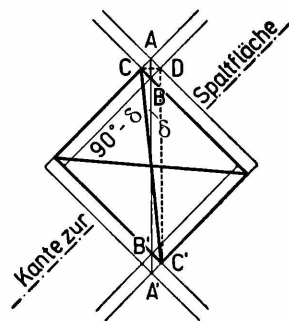


Abb. 6.

Abb. 5. Vickers-Eindrücke auf dem verwendeten Prisma $(11\bar{2}0)$ des Kalkspates bei 87, 51 und 17 g Prüflast, Vergrößerung 460:1.

Die Diagonalen (ursprünglich) unter 45° zu der durch den Pfeil angedeuteten Kante zum Spaltrhomboeder. (Beachte die Verdrehung der Diagonalen aus der Rechtwinkeligkeit!)

Abb. 6. Zur Ausmessung rechteckig verzerrter Vickers-Eindrücke.

kann man in gewohnter Weise die Länge CC' unmittelbar messen und den notwendigen Drehwinkel an einer geeigneten Skala ablesen. Beide Arten der Messung dienen gegenseitig zur Kontrolle. — Der Winkel zwischen den beiden Diagonalen ist ($90^\circ - 2\delta$).

Die Eindruckbilder sind bei allen Prüflasten nicht sehr ausgeprägt, doch deutlich als Rechtecke erkennbar, deren kurze Parallelseiten der Kante gegen das Spaltrhomboeder parallel laufen. Die kurzen Seiten sind immer recht scharf und geradlinig, die Langseiten dagegen schwach eingebuchtet. Gelegentlich sieht man von den Ecken, aber auch von den Langseiten ausgehend Risse, deren Neigung gegen die Kante auf die Gleitfläche (1012) hindeuten, dagegen keine Risse, die den mit den Kurzseiten parallelen Spuren der angrenzenden Spaltflächen parallel wären. Überhaupt scheinen bei dem ganzen Eindruckverfahren die Spaltflächen kaum eine Rolle zu spielen, während sich die Gleitflächen fast überall bemerkbar machen.

Bei der Wichtigkeit der Überprüfung gerade dieser Art der Verzerrung sind in der folgenden Zahlentafel 3 alle zur Gewinnung von MH notwendigen und verwendeten Meßwerte eingetragen. Die Bedeutung der dort benützten Buchstabenbezeichnungen sind der Abb. 6 zu entnehmen.

Zahlentafel 3

Prüflast in g	AA' Δ in μ	BB' Δ in μ	Aus AA', BB' berechnet		Mit Drehung gemessen	
			CC'	δ	CC'	δ
87	40,4 ($\pm 1,34$)	34,8 ($\pm 0,83$)	37,8	$4^\circ 20'$	37,5	4°
69	35,6 ($\pm 0,25$)	30,8 ($\pm 0,08$)	33,2	$4^\circ 10'$	33,1	4°
51	30,3 ($\pm 0,67$)	25,6 ($\pm 0,75$)	28,0	$4^\circ 40'$	30,2	4°
34	24,8 ($\pm 0,48$)	21,4 ($\pm 0,50$)	23,2	4°	23,9	4°
17	16,9 ($\pm 0,50$)	14,4 ($\pm 0,33$)	15,7	$4^\circ 30'$	16,2	4°

Die vorstehende Zahlentafel läßt, besonders bei den niedrigen Prüflasten, eine etwas größere Streuung als sonst erkennen, die oberste Prüflast immer ausgenommen, die offenbar schon an der oberen Grenze der geeignetsten Drucke liegt. Die Eintragung der Werte in das doppeltlogarithmische Zählblatt ergab aber trotzdem eine recht erfreuliche Konstanz von n . Mit ziemlicher Genauigkeit fügten sich alle Meßpunkte in die gleiche Meyer-Gerade ein, am wenigsten noch jene für 51 g, doch auch in diesem Falle konnte man mit der Beziehung zur Meyer-Geraden zufrieden sein. Man erhält recht genau: $n = 1,852$.

Weniger schön ist dagegen der Vergleich der aus den Werten AA' und BB' errechneten Diagonalgröße CC' mit den nach Drehung des Meßokulars unmittelbar gemessenen CC'-Werten. Während sie für hohe Prüflasten recht gut mit den errechneten Werten stimmen, zeigt sich bei 51 g eine ungewöhnliche Abweichung, die, wenn auch beträchtlich geringer, sich bei den niederen Drucken wiederholt. Wie weit hier der nur behelfsmäßige Versuch, durch Drehung des Meßokulars eine direkte Messung zu ermöglichen, störend einwirkte, ist noch nicht zu erkennen, doch scheinen die errechneten CC'-Werte verlässlicher zu sein.

Es soll nicht verschwiegen werden, daß sich die beiden Diagonalen, die bei einem Rechteck zahlenmäßig vollkommen gleich sein sollten, bei der unmittelbaren Messung ganz wenig verschieden zeigten, doch blieben die Unterschiede innerhalb der Fehlergrenzen und gestatteten darum keine völlig klare Entscheidung. Diese Ungleichheit würde bedeuten, daß eigentlich gar kein Rechteck vorliegt, sondern ein diesem nahestehendes Rhomboid, was ja gleichfalls der Flächensymmetrie entspräche.

Die Bestimmung der MH für die Orientierung der Diagonalen unter 45° zu der Kante [(1120)—(1011)] gibt folgende Werte:

Prüflast in g.....	87	69	51	34	17
MH.....	112,8	116,0	121,5	117,3	128,2
$n = 1,852$, Diagonalenwinkel $(90^\circ - 2\delta) = 82^\circ$					

Daraus folgt ein $^{1,852}MH_{10\mu} = 91,0$ bei 4,9 Prüflast.

2. Die Diagonalen parallel und senkrecht zur Kante $[(11\bar{2}0) - (10\bar{1}1)]$

Entsprechend der neuen Lage ergibt sich eine rhombische Verzerrung mit ungleich langen, einander halbierenden Diagonalen, die aber aufeinander senkrecht stehen, also keine Drehung verraten.

Die längere Diagonale liegt senkrecht zu der Kante gegen das Spaltrhomboeder, auch hier scheint es, als wäre die Eindrucksfigur in der Richtung quer über die Kante gedehnt, doch sind die Unterschiede der beiden Diagonalen recht gering. Auffallend war das Fehlen irgendeines Risses, mochte eine kleine oder große Prüflast verwendet werden. Die Ausmessung brachte recht gute Meyer-Geraden, allerdings wieder mit hohem n . Es wurden nur drei Meßreihen durchgeführt.

Aus den Serienmessungen ergibt sich:

Lange Diagonale: $^{2,23}MH_{10\mu} = 71,4$; kurze Diagonale: $^{2,11}MH_{10\mu} = 102,0$.

Irgendwelche Andeutungen einer rhomboidischen Verzerrung wurden nicht beobachtet. Die Messungen zeigen wieder ziemlich hohe Fehlergrenzen.

Die Basisfläche (0001)

Trotz verschiedenen Versuchen, günstige Meßbedingungen zu erreichen, sind doch alle Messungen fehlgeschlagen, da es nicht gelang, Eindrücke zu erhalten, die nicht in ihren Umrissen sehr stark gestört waren. Das gilt auch für die kleinsten Prüflasten. Orientiert man die Diagonalen parallel und senkrecht zu einer Kante gegen das Spaltrhomboeder, so erhält man immer das in Abb. 7 skizzierte Bild. Stets ist das Eindruckquadrat an den

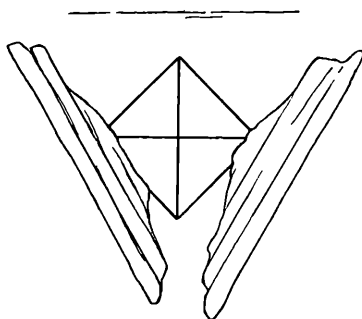


Abb. 7. Skizze der gewöhnlichen Eindrucksform auf
der Basisfläche des Kalkspates.

Enden der zur Rhomboederkante parallelen Diagonale stark gestört. Es liegen beiderseits stark aufgesplitterte breite Streifen nach den Richtungen der beiden anderen Rhomboederkanten (Gleitflächen- oder Spaltebenenspur)²⁾, dagegen war bei dieser Orientierung der Eindrucksfigur nie die Spur der dritten Gleit- (oder Spalt-) Fläche zu sehen. Es erscheint seltsam, daß die senkrecht zur Rhomboederkante stehende Diagonale sehr häufig vollständig erhalten war und auch durch die querlaufende Diagonale genau halbiert wurde.

²⁾ In der Basisfläche sind die Spuren der Gleitfläche $(10\bar{1}2)$ und der Spaltfläche $(10\bar{1}1)$ streng parallel.

Ebenso schmiegt sich die Schenkel der Meßwinkel des Okulars sehr genau den im oberen Teil der Figur meist noch erhaltenen Umrißlinien des Eindruckes an, ohne daß eine Abweichung von der Rechtwinkeligkeit zu erkennen war. — Das würde darauf hindeuten, daß auf der Basisfläche eine unverzerrte Eindrucksfigur entsteht, was theoretisch (vgl. Seite 182) nicht unmöglich erscheint.

Eindrücke anderer Orientierung lieferten keine günstigeren Meßmöglichkeiten, ja sie waren randlich meist noch stärker gestört.

Die immerhin bemerkbaren, vorgeschriebenen Erscheinungen lockten dazu, wenigstens ganz im groben Meßversuche bei verschiedenen Prüflasten vorzunehmen. Die Ergebnisse waren so schlecht, daß man trotz angewandeter Sorgfalt die erhaltenen Werte nicht als maßgebend ansehen kann. Das zeigte sich besonders deutlich in dem Verhalten der Meyer-Geraden, die sich als eine deutlich ausgebauchte Kurve darstellte, so daß die Bestimmung des n keinen Sinn mehr gab. Für die hohen Prüflasten wäre ein $n = 1,57$, für die niederen ein $n = 2,40$ anzunehmen gewesen, mit einem deutlich stetigen Übergang. — Demgemäß ist es auch nicht möglich, eine $^mMH_{10\mu}$ zu ermitteln, obwohl ja bei einer unverzerrten Eindrucksfigur nur eine einzige Größe (Diagonalstrecke) in Betracht käme.

Aus all den Mißerfolgen kann man nur eines mit Sicherheit schließen, daß nämlich die Basisfläche des Kalkspates für eine verlässliche Bestimmung der Vickers-Härte völlig unwendbar ist.

Allgemeine Folgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen über die Anisotropie der Vickers-Härte am Kalkspat erlauben gewisse Schlußfolgerungen, verlangen aber auch dringend die Beantwortung einiger noch gänzlich ungeklärter Fragen.

1. Zunächst bestätigen diese Untersuchungen die auch schon von anderer Seite gemachten Erfahrungen, daß die Vickers-Härte durch den Kristallbau anisotrop beeinflusst wird oder zum mindesten werden kann, denn das Ausmaß dieser Anisotropie der Vickers-Härte ist natürlich von Mineral zu Mineral verschieden, und der Kalkspat scheint da besonders empfindlich zu sein.

2. Die Unterschiede der Eindruckhärte nach verschiedenen Richtungen sind beträchtlich größer als die Fehlergrenzen der einzelnen Messungsreihen, so daß die Verzerrungen nicht durch die unvermeidlichen Meßungenauigkeiten bedingt und erklärbar erscheinen.

3. Die meßbaren, anisotropen Verzerrungen der Eindrucksfiguren stehen immer in Beziehung zu der Symmetrie der gedrückten Fläche.

Dieses Tatsachenmaterial ist also auch im Falle des Kalkspates wieder voll bestätigt. Anders steht es leider um die Versuche, dieses Tatsachenmaterial kristallphysikalisch zu deuten.

Die Schwierigkeit beginnt schon bei der Frage: Wie liegen eigentlich die Drucke, die sich in der Verzerrung der Vickers-Eindrücke als anisotrop beeinflussen?

Hier muß vor allem festgehalten werden, daß sich diese Druckrichtungen nicht in der gedrückten Fläche selbst befinden, sondern im Gegenteil sehr steil gegen diese gerichtet sind.

Der senkrecht auf eine Fläche ausgeübte Druck der Diamantpyramide kann sich an den Kanten (und Flächen) dieser Vickers-Pyramide nur so auswirken, daß die Eindrucksrichtung sich in zwei Komponenten parallel und senkrecht zur drückenden Kante (Fläche) zerlegt, von denen nur jene senkrecht zur Kante in Frage kommt (Abb. 8). Bei jedem Eindruck sind also gleichzeitig vier, streng tetragonal verteilte Drucke wirksam, deren Richtungen mit der Pyramidenachse einen, durch den Flächenwinkel gegebenen, bestimmten Winkel einschließen (im gegebenen Falle rund 15°).

Während also bei den Ritz- und Schleifhärteversuchen z. B. die Richtungen quer zur Symmetrieebene für die Spaltfläche und das Prisma 1. Art gleich sind, ist das hier durchaus nicht der Fall, denn die beiden Richtungen, links und rechts der Symmetrieebene, liegen in Ebene, die senkrecht zur Symmetrieebene einmal durch (1010) und dann durch (1011) gehen, also zueinander ungefähr 45° geneigt sind.

Die verzerrten Kantenspuren des Eindruckes sind nur die Projektionen der wahren Richtungen auf die gedrückte Fläche und haben demnach mit den Ritz- oder Schleifspuren der gleichen Fläche nicht das geringste zu tun. Es muß betont werden, daß überhaupt der grundsätzliche Unterschied in dem Zustandekommen von Härtespuren der Ritz- und Schleifhärte gegenüber jenen der Eindruckhärte jeden Versuch einer zahlenmäßigen Bezugnahme aufeinander vollkommen ausschließt.

Das ergibt sich auch aus der Tatsache, daß das Prisma 1. Art von den geprüften Flächen sich hinsichtlich der Vickers-Härte viel weicher zeigt als die Spaltfläche und daß sogar das Prisma 2. Art, das in der Schleifhärte nach ROSIWAL doppelt so hart ist wie die Spaltfläche, in der Pyramidendruckhärte weit hinter der Spaltfläche zurückbleibt.

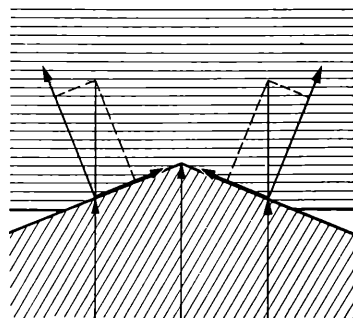


Abb. 8. Die Verteilung der Druckrichtungen beim Einpressen der Diamantpyramide.

Noch schwieriger und bisher gänzlich ungeklärt ist die Frage: „Wie ist eine anisotrope Verzerrung des Vickers-Eindruckes physikalisch überhaupt möglich?“

Es ist doch vollständig ausgeschlossen, daß die Diamantpyramide durch „verschieden gerichtete, vom Kristallbau abhängige Widerstände“ in verschiedenem Maße „zusammengepreßt“ wird. Reicherts Mikrohärteprüfer sagt nichts über das Aussehen des Eindruckes während des Einpressens. Die Diamantpyramide mit 4 gleichen Kanten, 4 gleichen Flächen und der Druckrichtung parallel ihrer (tetragonalen) Achse kann während des Einpressens nur gleich lange und gleich geneigte Kantenspuren liefern — und trotzdem nach dem Aufhören des Druckes diese oft so bedeutenden Verzerrungen!

Zunächst darf nicht vergessen werden, daß schon die Tatsache des Einpressens eines Prüfkörpers in die Fläche mit einer Verschiebung („Wulstbildung“, „Fließzone“) einzelner Teile des Kristallbaues verbunden sein muß, denn die verdängten Kristallteile müssen eine Ausweichmöglichkeit haben. Wo das nicht der Fall ist, gibt es keinen Eindruck. In der Tat zeigen die einzelnen Kristalle eine untere Druckgrenze, unterhalb derer kein Eindruck zustande kommt. Man kann dies nur so deuten, daß ein während des Einpressens erzielter Eindruck nach Aufhören des Druckes elastisch wieder vollkommen rückgängig gemacht wird, oder wenn Spuren erhalten bleiben, sind diese ungeformte, einfache Trümmerspuren, bedingt durch allfällige Baufehler an der Oberfläche des Kristalls.

Damit rückt das Problem des elastischen Zurückfederns nach Aufhören des Druckes, das schon mehrfach damit in Zusammenhang gebracht wurde, in den Vordergrund des Interesses. Die Eindrücke sind dauernde Verformungen, also das, was allgemein als plastische Deformation der elastischen Verformung gegenübergestellt wird. Die Formen und Richtungen der Eindruckspuren zeigen, daß in diesen Druckrichtungen die Elastizitätsgrenze schon über-

schrritten wurde und darum ein völliges Rückgängigmachen der elastischen Beanspruchung nicht mehr möglich ist.

Wenn demnach in verschiedenen Richtungen ungleiche Verformungen trotz gleicher Drucke auftreten, kann dies seinen Grund nur darin haben, daß die Elastizitätsgrenze und damit die Möglichkeit einer dauernden Verformung in verschiedenen Richtungen verschieden hoch liegt. Wo diese Elastizitätsgrenze schon überschritten wurde, ist ein elastisches Zurückfedern nach Aufhören des Druckes unmöglich, wo sie dagegen noch nicht erreicht wurde, kann in größerem oder geringerem Maße eine Rückfederung eintreten.

Damit wäre ungezwungen auch die Tatsache dem Verständnis näher zu bringen, daß so häufig die Umrißlinien aus- oder eingebuchtet sind, ja daß sogar, wie dies SCHULZ-HANEMANN (2) am Antimon beobachteten, geschwungene Umrißlinien auftreten.

Eine Einbuchtung würde bedeuten, daß in der Ebene senkrecht zu der Umrißlinie noch ein elastisches Zurückfedern möglich war, während in Ebenen schräg dazu schon eine plastische, das heißt dauernde Verformung eintrat. Der umgekehrte Fall ergäbe sich bei ausgebuchteten Umrißlinien, und der gleiche Gedankengang läßt sich auch bei den geschwungenen Umrissen durchführen.

Verfolgt man den Gedanken weiter, dann ergibt sich eine außerordentliche Abhängigkeit der Verzerrungen von dem elastischen und plastischen Verhalten des untersuchten Kristalls und damit wäre auch die starke Einflußnahme von Gleitebenen (nicht von Spaltflächen) verständlich, wie sich das besonders beim Kalkspat zeigt.

Es wäre also nötig, die Elastizitätsverhältnisse des geprüften Körpers genau zu kennen. Gerade für den Kalkspat liegen nun die ausgezeichneten Untersuchungen von W. VOIGT (5) vor, die eine klare Übersicht über die „Dehnungsoberfläche“ des Kalkspates ermöglichen. Die dort mitgeteilten Angaben zeigen sehr starke Unterschiede im elastischen Verhalten des Kalkspates je nach der Richtung und sind durchaus in Übereinstimmung mit dem Gedanken, die Verzerrungen als Folgen verschiedener Rückfederung auf elastischer Grundlage anzusehen.

In diesem Zusammenhang ist das Verhalten der Basisfläche, die eigentlich jeder wirklichen Messung widerstand, bezeichnend. Soweit sich das aus den arg verwüsteten Eindrücken noch entnehmen läßt, besitzen diese keine Verzerrung. Die „Dehnungs-oberfläche“ zeigt nun in den in Betracht kommenden Druckrichtungen nahe der z-Achse nahezu gleiche Vektoren, und der zentrale Schnitt normal zur Hauptachse ist ein Kreis. Hier wäre also kein Anlaß, die Symmetrie des Eindruckes der Diamantpyramide irgendwie zu verzerren.

Man kann sich auch vorstellen, daß die durch eine einzelne Symmetrieebene veranlaßte, symmetrische Verzerrung dadurch wieder aufgehoben wird, daß in der gleichen Richtung noch zwei andere, dazu um 120° geneigte Ebenen ihrerseits eine gleiche Verzerrung erfordern würden, was zu einer Unterdrückung jeder Verzerrung führt.

Damit im Zusammenhang steht auch die Tatsache, daß man bei den meist hochsymmetrischen, kubischen Metallen kaum etwas von einer Eindrucksverzerrung zu sehen bekommt. Die vielfache gegenseitige Durchdringung der Symmetrieelemente kubischer Kristalle macht eine einseitige Verzerrung unmöglich.

Es wäre wünschenswert, diesem durchaus nicht neuen Gedanken des elastischen Rückfederns bei bekanntem elastischem Verhalten des Minerals zahlenmäßig näher an den Leib zu rücken. Jedenfalls ist die Bezugnahme auf das bekannte elastische Verhalten des Kalkspates so deutlich, daß man hierin wohl einen möglichen, vielleicht sogar zureichenden Grund für die tatsächlich zu beobachtende Anisotropie der Vickers-Eindrücke erblicken kann.

Gleichzeitig wird damit aber leider auch deutlich, daß das Problem der Eindruckhärte womöglich noch verwickelter ist als jenes der Ritz- oder Schleifhärte.

Ist man auch dem dort wirkenden Einfluß der Scherfestigkeit ausgewichen, so erweisen sich die Eindruckhärten derartig eng mit dem elastischen Verhalten der Kristalle gekoppelt, daß man ohne dessen genaue Kenntnis kaum je zu einer wirklichen Deutung der Eindruckhärten kommen wird.

Leider ist nun aber das elastische Verhalten der meisten Minerale gänzlich unbekannt, und es müßten demnach parallel mit den Härteuntersuchungen auch solche über die Elastizitätsverhältnisse angestellt werden, was eine sehr schwierige Arbeit auf lange Sicht bedeutet.

Die Tatsache, daß zur Charakterisierung der Vickers-Härte die Angabe der Prüflasten bei bestimmten Eindruckgrößen nicht genügt, sondern auch noch der Wert für n (Steigung der Meyer-Geraden) erforderlich ist, läßt es ausgeschlossen erscheinen, aus den bei einer einzelnen Fläche in verschiedenen Richtungen gewonnenen MH-Werten eine mittlere Härte senkrecht zur Fläche errechnen zu wollen.

Fast noch schwieriger ist eine Reihung der Flächen nach ihrem Härteverhalten. Wenn sich auch die beobachteten MH-Minima bei $(10\bar{1}0)$ finden, scheint doch im allgemeinen das verwendete Prisma $(11\bar{2}0)$ die geringste Eindruckshärte aufzuweisen.

Für die Praxis ergibt sich aus den vorliegenden, durchaus nicht abschließenden, sondern nur orientierenden Untersuchungen, daß die Anisotropie der Vickers-Härte bei Kristallen eine Tatsache ist, die man nicht vernachlässigen darf und die zu recht bedeutenden Schwankungen in der Festlegung der $^{n}MH_{100}$ führen kann.

Zusammenfassung. Es werden am Kalkspat von Großarl die angeschliffenen und polierten Flächen $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}0)$, $(11\bar{2}0)$ und (0001) auf ihre Anisotropie in der Vickers-Härte untersucht und die dabei recht bedeutenden Wertunterschiede gemessen und der Versuch gemacht, die Tatsache der Anisotropie der Eindruckshärte aus dem elastischen und plastischen Verhalten der Kristalle zu deuten.

Summary

By the aid of the "Micro Hardness Tester" developed by C. Reichert and based on the working method by MITSCHKE and ONITSCH calcareous spar crystals have been measured on the planes $(10\bar{1}1)$, $(10\bar{1}0)$, $(11\bar{2}0)$, (0001) , with regard to their Vickers Hardness. According to the symmetry of the plane and the orientation of the impression pyramid to the plane characteristic "distortions" of the original quadratic impression were observed and measured; it was exactly proved, in particular by the behaviour of the $(11\bar{2}0)$ plain, that the sort of distortion depended on the structure of the crystal and that a real anisotropy of the Vickers-Hardness therefore exists.

The attempt of theoretically interpreting the observations and measurements of the various distortions leads to the realisation of the extraordinary importance of the elastic behaviour of the crystals in this matter. The kind of distortion can be explained by the possibility or impossibility of the elastic withdrawal in various directions; but this also demonstrates that without an exact knowledge of the elastic behaviour it is impossible to solve the Vickers Hardness problem.

Literatur

1. Mitsche R. und Onitsch E. H., *Mikroskopie* **3** (1948): 257 (mit ausführlicher Literaturangabe). — 2. Schulz F. und Hanemann H., *Z. Metallk.* **33** (1941): 124; Hanemann H. und Bernhardt E. O., *Z. Metallk.* **32** (1940): 135. — 3. Tertsch H., *Die Festigkeitserscheinungen der Kristalle*, Springer-Verlag, Wien 1949. — 4. Finch G. J., *Sci. Progr.* **31** (1937): 609; *Trans. Faraday Soc.* **33** (1937): 425. — 5. Voigt W., *Lehrbuch der Kristallphysik* (mit Ausnahme der Kristalloptik). B. G. Teubner, Leipzig-Berlin 1910.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mikroskopie - Zentralblatt für Mikroskopische Forschung und Methodik](#)

Jahr/Year: 1950

Band/Volume: [5](#)

Autor(en)/Author(s): Tertsch Hermann Julius

Artikel/Article: [Beobachtungen über Vickers-Mikrohärte am Kalkspat. 172-183](#)