CARL ZEISS
JENA

ZEISS

Mikrohärteprüfer nach Hanemann Mod. D 32

GEBRAUCHSANLEITUNG

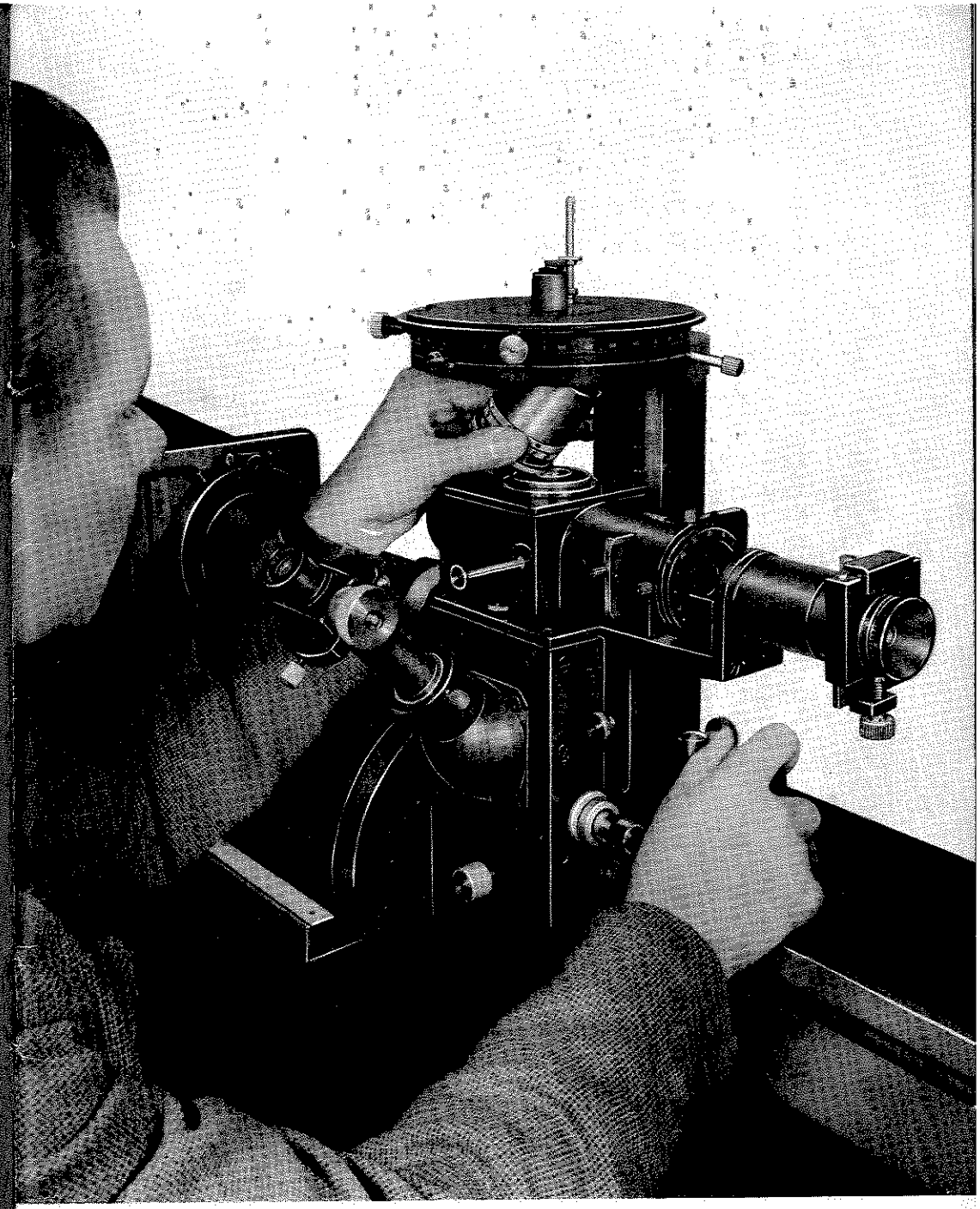
Die Bilder sind nicht in allen Einzelheiten für die Ausführung des Gerätes repräsentativ. Jede eventuelle Veränderung – sei es Bauteile der Bilder oder Verzeichnisse – davon – sofern sie vorhanden sind – gehört zur Verfügung. Die Wiedergabe von Bildern oder Text ohne vorige Genehmigung ist nicht gestattet. Das Recht der Übersetzung ist vorbehalten.

VEB CARL ZEISS JENA

Abteilung für Mikrochemie

Druckwerk Zeiss-Werk Jena

Feinmechanik 550



Mikrohärteprüfer nach Hanemann Mod. D 32

Gebrauchsanleitung

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Besondere Hinweise	3
2.	Beschreibung der Geräte	4
2.1	Mikrohärteprüfer Mod. D 32	4
2.2	Meßokular	6
2.3	Meßbereich	7
2.4	Gesamtausrüstung	7
3.	Behandlung	8
4.	Vorbereitende Arbeiten	9
4.1	Einsetzen des Mikrohärteprüfers ins „Neophot"	9
4.2	Justieren der Lastanzeige	10
4.3	Eichen der Lastanzeige	11
4.4	Bestimmen des Mikrometerwertes	12
4.5	Zentrieren der Eindrücke nach einem Probeeindruck	13
5.	Ausführung der Härtemessung	14
5.1	Vorbereiten der Schliffe	14
5.2	Wählen der Prüflast	18
5.3	Erzeugen der Prüfeindrücke	19
5.4	Ausmessen der Prüfeindrücke	22
5.41	Wählen der Optik	22
5.42	Einstellen des Meßbildes	23
5.43	Eigentliches Ausmessen	24
6.	Zusammenstellung der Arbeitsgänge	27
7.	Auswertung	29
7.1	Bezeichnungsweise	29
7.2	Auswertung des nichtreduzierten Härtewertes	29
7.3	Ermittlung des auf den Standardeindruck reduzierten Härtewertes	32
7.4	Fehlergrößen der Mikrohärtemessung	35
8.	Sonderverfahren	38
9.	Störungen am Mikrohärteprüfer und Maßnahmen zur Abhilfe	38
10.	Schrifttumsverzeichnis	40

1. Besondere Hinweise

Der Mikrohärteprüfer ist ein Präzisionsgerät, dessen hohe Genauigkeit und Meßempfindlichkeit eine sachgemäße Behandlung erfordert. Man bedenke, daß infolge unsachgemäßer Bedienung das Gerät unbrauchbar werden kann, und beachte daher unbedingt die folgenden Verhaltungsmaßregeln:

Vor Benutzung des Härteprüfers Gebrauchsanleitung genau lesen. Härteprüfer vor **Fall, Stoß** und heftigen **Erschütterungen** bewahren. Bei Nichtgebrauch Härteprüfer in **hängender** Lage (Diamant nach unten) aufbewahren.

Zerlegen des Härteprüfers führt unweigerlich zu einer vollkommenen Dejustierung, die nur in unserem Werk, meist unter erheblichen Kosten, behoben werden kann. Falls infolge falscher Handhabung Störungen am Härteprüfer auftreten sollten, die sich mit den Abhilfemaßnahmen in Abschnitt 9 nicht beheben lassen, Gerät **keinesfalls auseinandernehmen,** sondern uns einsenden.

Federn nicht überlasten! Frontlinsenfassung **niemals von Hand** in das Gehäuse drücken! (Der höchst zulässige Hub der Federung beträgt etwa 1 mm.)

Belastungsvorrichtung daher **nicht über das Ende** der Lastanzeigeskale hinaus belasten.

Härteprüfer nur bei **ganz geöffneter Aperturblende** und eingeschalteter Beleuchtung benutzen.

Bei der Betätigung von Fein- und Grobtrieb **stets Lastanzeigeskale beobachten.**

Zum Reinigen von Diamant und Frontlinse nur reines Benzin oder Xylol benutzen, **keinesfalls Alkohol!** (Alkohol löst die Kittung des Diamanten und der Frontlinse.)

Vorsicht bei der Härteprüfung von schmierenden bzw. bröckligen Proben wegen Verschmutzung und bei Material von gleicher oder größerer Härte als der des Eindringkörpers wegen der Gefahr der Beschädigung!

2. Beschreibung der Geräte

2.1 Mikrohärteprüfer Mod. D 32

Praktisch durchführbar ist das Verfahren der Mikrohärteprüfung erst, seit die erforderliche Treffsicherheit des Härtemeßeindruckes mit unserem Mikrohärteprüfer erzielt werden konnte. Der Grundgedanke von Prof. H. Hanemann besteht in einer Vereinigung der benutzten Vickers-Pyramide mit der Frontlinse des abbildenden Objektivs. Damit entfällt das sonst notwendige und mit dem Fehler des mechanischen Spieles behaftete Auswechseln von Härteprüfer und Objektiv.

Die Bauweise des Mikrohärteprüfers Mod. D 32 nach Hanemann geht aus Bild 1 hervor. Die Diamantpyramide ist in der üblichen Form der vierseitigen Vickers-Pyramide mit einem Pyramiden-Böschungswinkel von $\beta = 22°$ angeschliffen und im übrigen als kurzes Stäbchen *(1)* mit so geringem Durchmesser ausgeführt, daß sie in einer zentralen Bohrung der Frontlinse *(2)* gefaßt werden kann. Dabei bleibt von der freien Öffnung der Frontlinse ein ausreichender, ringförmiger Teil für Beleuchtung und Abbildung erhalten. Das Objektiv entspricht in seinen optischen Daten dem normalen Apochromaten 32×/0,65, ist jedoch entsprechend der Ausblendung der mittleren Partie für einen besonders guten Korrekturzustand der Randzone berechnet.

Weiterhin ist der Härteprüfer mit einer optischen Vorrichtung zur Anzeige der Prüflast versehen. Das Objektiv ist nicht fest am Mikroskop angebracht, sondern hängt frei in zwei Scheibenringfedern *(3)*, die das Objektiv reibungsfrei parallel der optischen Achse führen. Eine Prüflast, die am Diamanten wirkt, läßt die Aufhängung durchfedern; der Hub stellt ein Maß für die Größe der Prüflast dar. Zum Messen dieser Bewegung dient ein zweites optisches System, das Hilfsobjektiv *(6)*, das am Hinterglied des Objektivs *(4)* im optisch nichtausgenutzten Mittelfeld der Austrittspupille angebracht ist; es erhält sein Licht wie das eigentliche Objektiv vom Vertikalilluminator her. Mit einem Spiegel *(5)* versehen, beleuchtet es die Skale *(12)* und bildet sie im Okular ab. Das Hilfsobjektiv ist mit dem Hauptobjektiv fest verbunden und nimmt an dessen Bewegungen teil, während die Skale fest im Gehäuse steht. Das Wirken einer Prüflast wird daher als ein Auswandern des Bildes der Skale im Okular abgelesen. Der Ausschlag der Lastanzeigeskale kann geeicht werden und ermöglicht dann eine genaue Feststellung und Bemessung der wirksamen Prüflasten.

Die Vorrichtung zur optischen Lastanzeige ist mit zwei Justierbewegungen ausgerüstet, eine zur Höhenverstellung des Nullpunktes der Skale, die andere zum Einstellen der Bildschärfe des Skalenbildes. Die Justierbewegungen werden an den beiden Ringen mit Stiftlöchern betätigt. Der untere Ring *(8)* bewirkt über die Mutter *(10)* eine Höhenverstellung des Halters der Skale und damit die Einstellung des Skalennullpunktes. Der obere Ring *(7)* ist mit dem Exzenterring *(11)* gekuppelt; er bewirkt eine Querbewegung der Skale, mit der eine Veränderung des Abstandes zwischen Skale und Objektiv sowie die Scharfeinstellung des Skalenbildes verbunden sind.

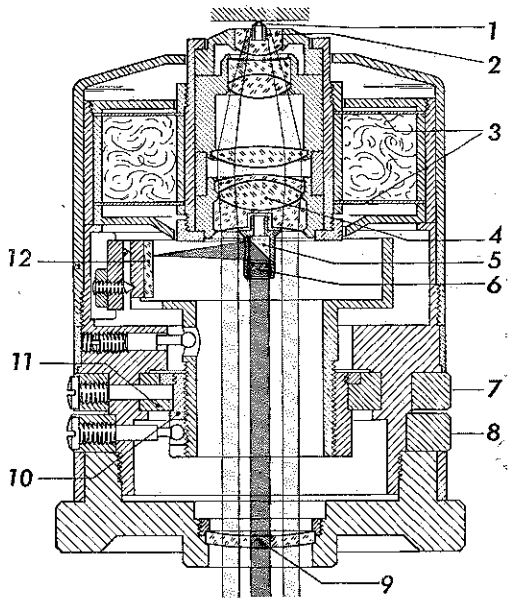


Bild 1. Schnitt (schematisch) und Strahlengang des Mikrohärteprüfers Mod. D 32

1 Prüfdiamant
2 Frontlinse
3 Scheibenringfedern
4 Hinterglied des Objektivs
5 Spiegel
6 Hilfsobjektiv
7, 8 Ringe mit Stiftlöchern
9 Korrektionslinse
10 Mutter der Nullpunkteinstellung
11 Exzenterring der Scharfeinstellung
12 Lastanzeigeskale

Um die sehr störenden Schwingungen zu vermeiden, die das federnd aufgehängte Objektiv schon bei geringen Erschütterungen ausführen würde, ist der Zwischenraum zwischen den beiden Federn *(3)* mit einer genau bemessenen Menge unversponnener Kunstseide locker angefüllt, durch die eine sehr wirksame Dämpfung der Schwingungen erreicht wird.

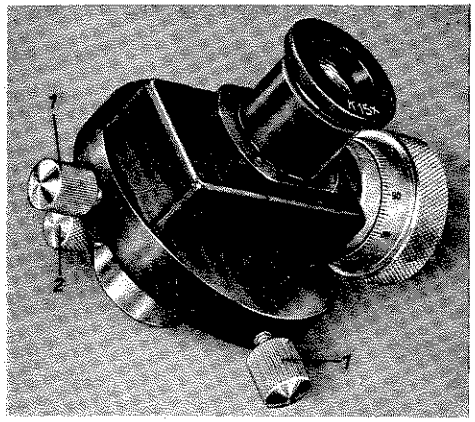
Das Gerät ist auf der Unterseite mit der Korrektionslinse *(9)* gegen das Eindringen von Staub abgeschlossen.

Die optischen Daten des Mikrohärteprüfers Mod. D 32 sind:

Eigenvergrößerung	32×
numerische Gesamtapertur	0,65
Apertur des ausgeblendeten Mittelbereichs	0,30

2.2 Meßokular

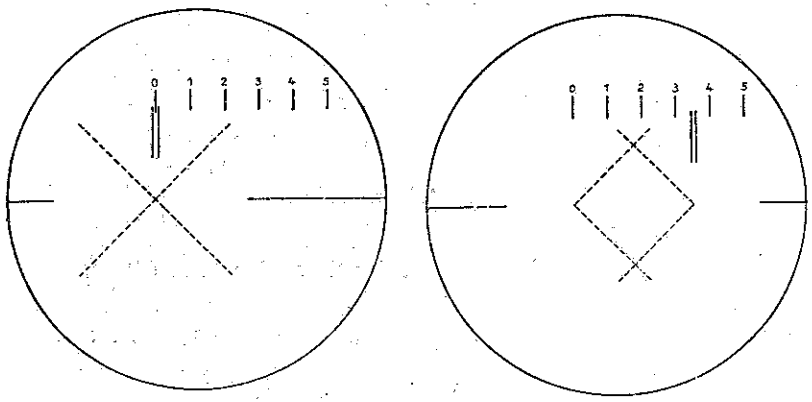
Das Meßokular (Bild 2) ist als Okularschraubenmikrometer ausgeführt und ähnelt in seiner Bauweise dem normalen Okularschraubenmikrometer.



300246 b

Bild 2. Okularschraubenmikrometer des Mikrohärteprüfers. *1* Zentrierschrauben, *2* Klemmschraube

Von diesem weicht es ab in der Zentrierbarkeit des Okulars am Tubus und der Ausführung der Strichplatten. Es besitzt zwei Strichplatten (eine feststehende und eine verschiebbare), die mit je einer Winkelfigur versehen sind. In der Nullstellung des Mikrometers ergänzen sich beide Figuren zu einem Fadenkreuz (Bild 3a), in jeder anderen Meßstellung bilden sie ein Quadrat (Bild 3b) und dienen so zum Ausmessen der quadratischen Eindrücke. Eine ganze Trommelumdrehung (= 100 Intervalle) entspricht einem Intervall der Meßokularteilung. Die optische Ausrüstung des Mikrometers besteht aus einem Kompensations-Okular 15×. Wegen der gegenüber den normalen



a Nullstellung 110146 b Meßstellung 110146

Bild 3. Strichfigur des Meßokulars

Okularen abweichenden Lage der Blende des Meßokulars ist an Stelle des normalen Okulartubus der mitgegebene, um 27 mm kürzere Tubus am „Neophot" einzusetzen, wenn man die Eindrücke mit normalen Objektiven ausmessen will. Beim Ausmessen mit dem Mikrohärteprüfer selbst wird dagegen der normale Tubus benutzt, da der Mikrohärteprüfer mit einer entsprechenden Korrektionslinse versehen ist.

2.3 Meßbereich

Der Meßbereich des Mikrohärteprüfers ist im wesentlichen begrenzt, einerseits durch die Empfindlichkeit der Lastanzeige sowie durch die Sehfähigkeit und Übung des Benutzers, andererseits durch das Auflösungsvermögen des Objektivs, mit dem das Ausmessen des Prüfeindruckes erfolgt. Die Größe der Kristalle spielt ebenfalls eine ausschlaggebende Rolle.

Die kleinste Prüflast, die mit dem Mikrohärteprüfer zu erzeugen möglich ist, beträgt etwa 0,2 g. Allerdings lassen sich derartig erzeugte Eindrücke nicht mehr einwandfrei messen, auch nicht an weichen Werkstoffen mit genügend großen Kristallen.

Bemerkenswert ist, daß die Härtemessungen auf härteste Kristallarten, wie sie in der Schleifmittelkunde und der Metallurgie der Hartmetalle vorkommen, ausgedehnt werden können, ohne daß bisher ein einziger Fall einer Beschädigung des Prüfdiamanten bekanntgeworden wäre.

Auch ist es möglich gewesen, nicht nur die Härten unter besonderen Verhältnissen am Graphit, sondern neuerdings nach ähnlichem Verfahren auch am Diamanten zu messen.

2.4 Gesamtausrüstung

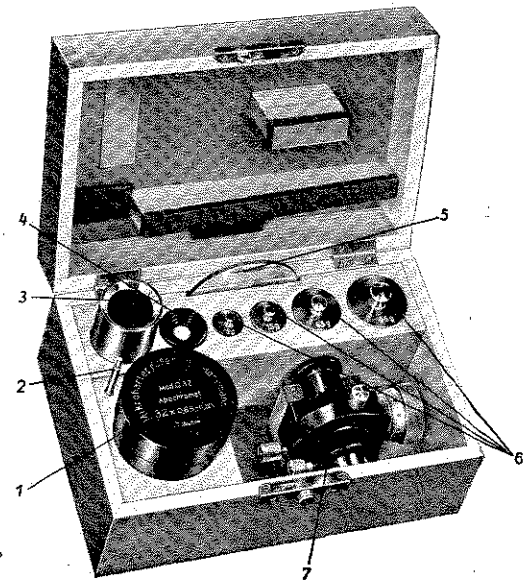


Bild 4. Gesamtausrüstung des Mikrohärteprüfers Mod. D 32

1 Mikrohärteprüfer
2 Stiftschlüssel
3 Kurzer Tubus
4 Stufengewicht 5 g
5 Einlegeblende
6 Gewichtssatz 5, 15, 45, 95 g
7 Okularschraubenmikrometer

300247 b

Der Mikrohärteprüfer Mod. D 32 ist mit sämtlichem Zubehör in einem Holzbehälter untergebracht (Bild 4). Bei Nichtgebrauch des Gerätes wird die Aufbewahrung in verschlossenem Behälter empfohlen, um Beschädigungen und Verschmutzungen zu vermeiden.

3. Behandlung

Der Mikrohärteprüfer mit seinen zwei optischen Systemen ist sehr empfindlich und deshalb besonders pfleglich zu behandeln. Heftige Erschütterungen, besonders durch Hinfallen, und auch schon Öffnen oder Zerlegen des Gerätes würden mit Sicherheit zu einer Dejustierung oder gar zur Zerstörung führen. Neujustierungen aber sind nur in unserem Werk möglich. Bei auftretenden Störungen müssen darum unbedingt die Abhilfemaßnahmen in Abschnitt 9 beachtet werden. Niemals versuche man, darüber hinaus selbst Abhilfe zu schaffen, sondern sende uns zur Vermeidung kostspieliger Reparaturen den Härteprüfer ein.

Bei Nichtgebrauch soll der Härteprüfer stets hängend aufbewahrt werden, also mit nach unten gerichteter Diamantpyramide (vgl. Abschn. 4.3). Das Reinigen der Optik hat sich auf die freiliegende Fläche der Front- wie der Korrektionslinse zu beschränken. Das Innere des Härteprüfers ist staubdicht abgeschlossen und bedarf keiner Säuberung. Korrektions- und Frontlinse werden am besten mit einem sauberen Pinsel abgestaubt. In hartnäckigen Fällen kann die Frontlinse auch mit einem sauberen, in Xylol oder Benzin angefeuchteten Leinenläppchen gereinigt werden (Bild 5). Zum Reinigen der Frontlinse darf niemals Alkohol benutzt werden, da er die Kittung der Frontlinse und des Diamanten auflösen würde.

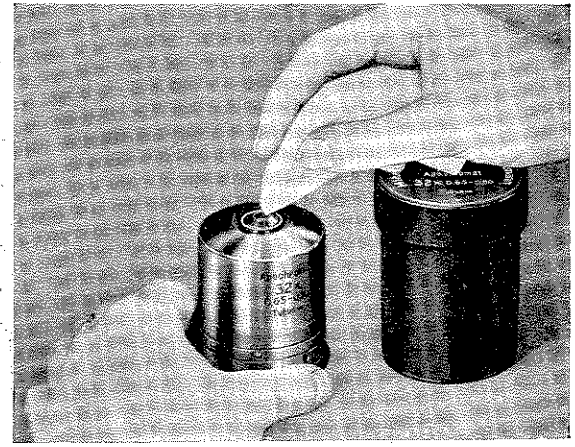


Bild 5. Reinigen der Frontlinse 300235 a

Bei dem bläulich-violetten Schimmer auf den inneren Linsenflächen handelt es sich um den Zeiss-T-Belag, der die Aufgabe hat, die Reflexe der Linsenflächen abzuschwächen.

Am Okular dürfen auch nur die von außen zugänglichen Flächen der Optik gesäubert werden. Das Innere ist ebenfalls staubdicht abgeschlossen. Man unterlasse das Herausschrauben des Okulars aus dem Schneckengang, damit nicht von dieser Seite her Staub auf die Strichplatte fallen kann.

4. Vorbereitende Arbeiten (Bildtafel I)

4.1 Einsetzen des Mikrohärteprüfers am »Neophot«

Der Mikrohärteprüfer wird am „Neophot" in den Vertikalilluminator an Stelle eines normalen Objektivs eingesetzt, nachdem der Kreuztisch in seine höchste Stellung gebracht worden ist. Hierzu führt man das Gerät

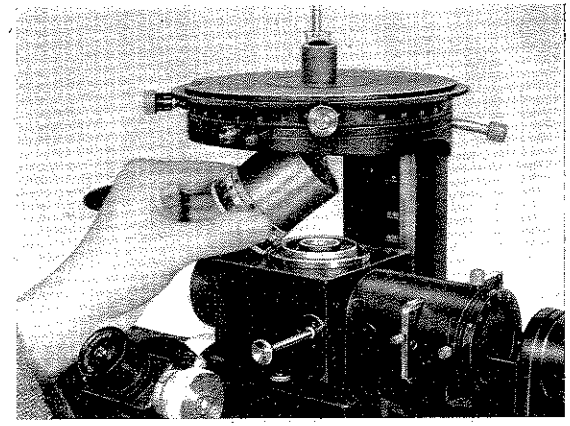


Bild 6. Einführen des Mikrohärteprüfers am »Neophot«

300236 a

zweckmäßig schräg, mit dem Diamanten voran, unter den Kreuztisch ein (Bild 6) und richtet es erst dort in die senkrechte Stellung auf. Der Vertikalilluminator wird bei Härtemessungen stets nur mit Planglas benutzt.

Beim Gebrauch des Härteprüfers muß das „Neophot" schwingungsfrei aufgestellt sein.

Die Objektive der Härteprüfer sind in zwei ziemlich weichen Federn aufgehängt, so daß sie auf Erschütterungen recht empfindlich ansprechen. Die Schwingungen machen sich bemerkbar sowohl als

periodische Unschärfen des beobachteten Gefügebildes als auch als Auf- und Abschwingen des Bildes der Lastanzeigeskale. Sie sind zwar infolge der Dämpfung so weit wirksam unterdrückt, daß sie unter normalen Verhältnissen nicht stören. Unter ungünstigen Umständen können jedoch die Erschütterungen eine Frequenz haben, die mit der Eigenfrequenz des Härteprüfers in Resonanz ist. In diesem Fall, der allerdings sehr selten eintreten wird, bleibt als einzige Abhilfe ein Ortswechsel und die Aufstellung des Gerätes in einem ruhigen Gebäudeteil.

4.2 Justieren der Lastanzeige

Nachdem das Meßokular in den ausgewechselten kürzeren Okularstutzen eingesetzt und in richtiger Stellung (Mikrometertrommel rechts) am Tubus festgeklemmt ist, wird bei eingeschalteter Beleuchtung bereits im Okular die Skale der Lastanzeige zu erkennen sein. Durch Drehen des Härteprüfers ist das Skalenbild zunächst aufrecht zu stellen und dann durch

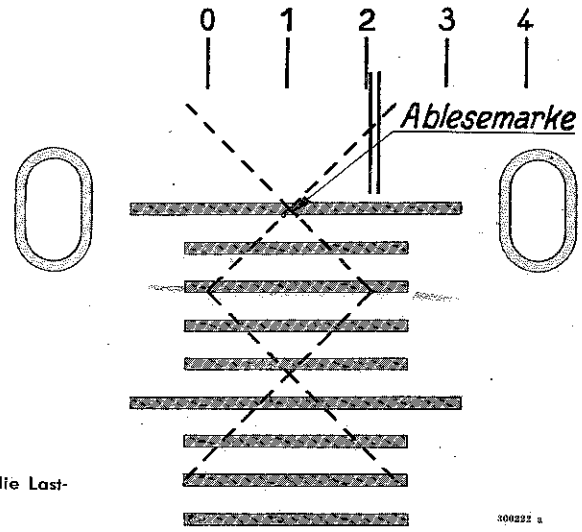


Bild 7. Ablesemarke für die Lastanzeige im Okular

Betätigen des oberen Ringes das Bild der Lastanzeigeskale im Okular auf beste Schärfe einzustellen. Zweckmäßig hält man hierbei den Härteprüfer mit der linken Hand fest und dreht den Ring unter Zuhilfenahme des Stiftschlüssels (*2* Bild 4). Die Höhenlage des Nullpunktes der Skale wird schließlich grob eingestellt, indem man in gleicher Weise den unteren

Ring dreht. Es empfiehlt sich, den Nullstrich der Skale nicht auf das Okularfadenkreuz, sondern einen kleinen Betrag darüber einzustellen (Bild 7). Als Ablesemarke dient dann der obere Eckpunkt des Meßquadrates, der sich in seiner Höhenlage leicht mit großer Genauigkeit durch Betätigen des Okularschraubenmikrometers verstellen läßt.

4.3 Eichen der Lastanzeige

Die Lastanzeige wird durch Aufsetzen eines Satzes von Eichgewichten auf die Frontlinsenfassung des Härteprüfers geeicht.

> Es muß hierbei berücksichtigt werden, daß die Prüflast des Härteprüfers in der Spitze der Diamantpyramide wirkt, also genau in der optischen Achse verläuft. Darum sind Vorkehrungen zu treffen, daß auch die Last der Eichgewichte in die optische Achse fällt. Eine seitliche Versetzung der Last würde ein Kippmoment auf das Objektiv ausüben und die damit verbundene Schiefstellung des Objektivs die Eichung unsicher machen.

Das Aufbringen der Eichgewichte geschieht daher in folgender Weise: Zunächst wird die mitgelieferte Tischeinlegeblende (*5* Bild 4) in den Kreuztisch des „Neophots" gesetzt und nach Augenmaß zum Härteprüfer zentriert. Nunmehr hängt man das Stufengewicht 5 g *(4)* in die Öffnung der Tischblende ein und setzt es durch Absenken des Kreuztisches auf das Objektiv ab. Beim ersten Absetzen ist das Stufengewicht zwar noch nicht zum Objektiv zentriert; die Zentrierung stellt sich aber von selbst ein, da das ringförmige Gewicht beim Aufsetzen auf die kegelige Fläche der Frontlinsenfassung in die richtige Lage rückt. Wird das Gewicht nun durch Betätigen des Grobtriebs wieder abgehoben und ein zweites Mal auf die Frontlinse abgesetzt, so ist es genau zentriert, so daß der Schwerpunkt des Eichgewichtes in der optischen Achse liegt. In entsprechender Weise verfährt man, wenn in das Stufengewicht 5 g die Zusatzgewichte eingesetzt werden (Bild 8). Sie sind mit Zentrierungen versehen, die in das Stufengewicht passen, und ergänzen sich mit diesem zu 10, 20, 50 und 100 g. Die Ausschläge der Lastanzeige werden an der Ablesemarke im Okular abgelesen, dabei sind die Zehntelteilstriche zu schätzen. Der Zusammenhang zwischen Eichlast und Ausschlag der Lastanzeige muß als Eichkurve dargestellt werden, die wegen der nahezu linearen Federcharakteristik eine praktisch vollkommen gerade Linie sein kann. In diesem Fall genügt daher die Bestimmung der Federkonstanten und eine rechnerische Ermittlung der zu einer bestimmten Prüflast gehörigen Lastanzeige.

Eine Tabelle, in der die gebräuchlichsten Prüflasten und Lastanzeigen zusammengestellt sind, kann gute Dienste leisten.

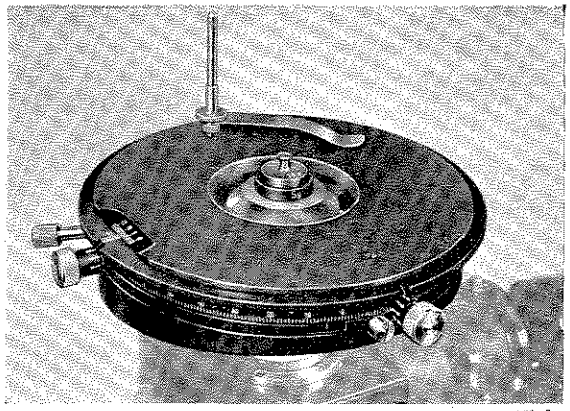


Bild 8. Eichen der Lastanzeige durch Aufsetzen von Eichgewichten

Das Nacheichen der Lastanzeige wird nur in größeren Zeitabständen und vor besonders genauen Messungen erforderlich sein. Es soll der Feststellung dienen, wie weit die Federkonstante der Lastanzeige sich verändert hat. Um dem Setzen der Federn zu begegnen, soll der Härteprüfer, wie schon erwähnt, bei Nichtbenutzung stets hängend, also mit nach unten gerichteter Diamantpyramide, aufbewahrt werden. Die geringen Veränderungen, die die Federaufhängung dann im Lauf der Zeit unter dem Eigengewicht der Optik erfährt, sind denen der Gebrauchslage entgegengesetzt gerichtet.

4.4 Bestimmen des Mikrometerwertes

Um die Diagonallänge der Eindrücke festzustellen, werden diese ausgemessen. Die hierfür notwendige Eichung des Okularschraubenmikrometers muß selbstverständlich für jedes zum Ausmessen benutzte Objektiv, also hier für den Mikrohärteprüfer selbst, sowie für den Apochromaten 60×/0,95, gegebenenfalls auch für den Apochromaten 32×/0,65 (vgl. Abschnitt 5.41), vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wird in bekannter Weise ein Objektmikrometer mit Metallteilung in Hundertstelmillimeter auf den Kreuztisch gelegt und das Bild der Teilung im Okular ausgemessen.

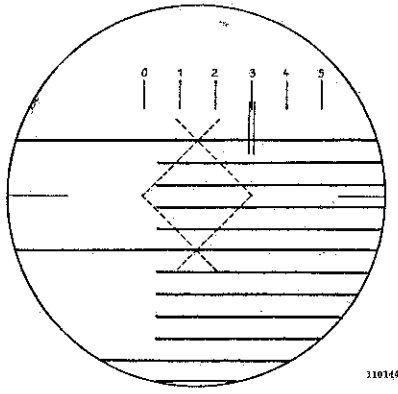


Bild 9. Bestimmung des Mikrometerwertes des Meßokulars

Beispiel (Bild 9): Bestimmung des Mikrometerwertes für Apochromat 60×/0,95. 5 Teilstriche oder 50 μ des Objektmikrometers entsprechen einer Trommelablesung von 308 Teilstrichen. Dann ist der Mikrometerwert des Meßokulars $\delta = 0{,}1625$, d. h., ein Teilstrich entspricht 0,1625 μ der Diagonalen (willkürlich gewählte Zahlenwerte!).

4.5 Zentrieren der Eindrücke nach einem Probeeindruck
(vgl. Abschnitt 6)

Das Zentrieren der Eindrücke läßt sich an einem beliebigen, metallographisch einwandfreien Schliff ausführen. Zu vermeiden sind lediglich Objekte mit stark ausgebildeten Strukturen oder dunkler Ätzfärbung, da hier das Auffinden des ersten Eindruckes Schwierigkeiten bereiten kann. Das Objekt wird in der üblichen Weise auf den vorher zentrierten Kreuztisch gelegt, den man außerdem zuvor nach Augenmaß mit Hilfe der Kreuztischbewegung in die Mitte koaxial zum Mikrohärteprüfer rückt. Falls mit Prüflasten gearbeitet werden soll, die das Eigengewicht der Probe übersteigen, ist die Probe in bekannter Weise mit einer Tischfeder festzuhalten.

Bevor eine Gefügebeobachtung vorgenommen wird, muß man sich unbedingt vergewissern, daß die Beleuchtung eingeschaltet und die Aperturblende ganz geöffnet ist sowie daß sich die Zentrierschrauben des Okulars in einer mittleren Stellung befinden. Wird nun der Tisch mit Hilfe des Grobtriebs gesenkt — und zwar unter stetiger Beobachtung im Okular —, so erscheint das Gefügebild ziemlich plötzlich in voller Helligkeit.

> Abweichend von den Verhältnissen bei normalen Objektiven ist eine Ausleuchtung des Bildfeldes nur in der Höhe der Einstellebene möglich. In Einstellungen, die darüber- oder darunterliegen, fällt das abzubildende Objekt in den ausgeblendeten Mittelbereich des beleuchtenden Strahlenkegels. Aus diesem Grund entsteht ein helles Bild der Leuchtfeldblende auf dem Objekt nur in der Einstellebene des Objektivs. In dieser Stellung überstrahlt das vom Objektiv entworfene Bild des Objektes das wesentlich lichtschwächere der Lastanzeigeskale. Diese wird aber sofort wieder sichtbar, sobald die Ausleuchtung des Objektes bei Annäherung oder Entfernung vom Objektiv aufgehoben wird. Es ist also zu beachten, daß das Objekt nur für einen kurzen Augenblick in voller Helligkeit erscheint, wenn der Tisch gesenkt wird. Dieser Augenblick darf keinesfalls übersehen werden, da sonst die Gefahr besteht, daß das Objekt stoßweise auf den Diamanten aufsetzt und empfindliche Teile des Härteprüfers beschädigt werden.
>
> Die oben angeführte Vorschrift ist so zu verstehen, daß der Härteprüfer nur mit ganz geöffneter Aperturblende benutzt werden soll. Bei teilweise geschlossener Aperturblende ist der allein wirksame ringförmige Teil der Austrittspupille des Objektivs nicht ausgeleuchtet, so daß kein Objektbild entsteht. Damit fehlt auch das Warnsignal, das die Annäherung des Diamanten an das Objekt ankündigt.

Unter Beobachtung dieser Vorsichtsmaßregeln wird nun das Gefügebild scharf eingestellt sowie eine größere, nicht zu dunkel geätzte Gefügestelle ausgesucht und mit Hilfe des Kreuztisches in Bildmitte gerückt. Darauf senkt man den Kreuztisch weiter und nähert das Objekt dem Objektiv so lange, bis das Gefügebild verschwunden ist und das Bild der Lastanzeigeskale deutlich erscheint. In dieser Stellung muß die Ablesemarke des Okulars auf den Nullstrich der Lastanzeigeskale eingestellt werden (Bild 7). Die Belastungsbewegungen werden zweckmäßig mit dem Grobtrieb ausgeführt. Nur letzte Feinheiten oder ganz geringe Belastungen, etwa in der Größenordnung von einem Intervall der Lastanzeigeskale, stellt man besser mit dem Feintrieb ein.

Wird das Objekt weiterhin dem Objektiv genähert, so ist der Augenblick des Aufsetzens des Diamanten am Auswandern des Skalenbildes zu erkennen. Für die erste Zentrierung ist die Größe der Prüflast zunächst belanglos. Es genügt, wenn die Belastung so gewählt wird, daß die Skale um einige Teilstriche auswandert. Nachdem so ein erster Eindruck erzeugt ist, wird der Härteprüfer durch langsames Zurückdrehen des Grobtriebs wieder entlastet und das Objekt so weit vom Objektiv entfernt, daß wieder das Gefügebild und mit ihm das Bild des ersten Eindruckes erscheint. Dieser wird beim ersten Mal nicht genau im Fadenkreuz des Okulars liegen. Zum Zentrieren stellt man daher das auf Fadenkreuzstellung gebrachte Okular (Stellung der Trommel auf Teilstrich 0) durch Betätigen der beiden Justierschrauben (*1* Bild 2) so ein, daß das Fadenkreuz genau mit dem Bild der Pyramidenspitze des Eindruckes zusammenfällt. Vorher wird das Okular — nach Lösen seiner Klemmschraube *(2)* — derart gedreht, daß die Meßschenkel des Fadenkreuzes parallel zu den Quadratseiten des Eindruckes verlaufen.

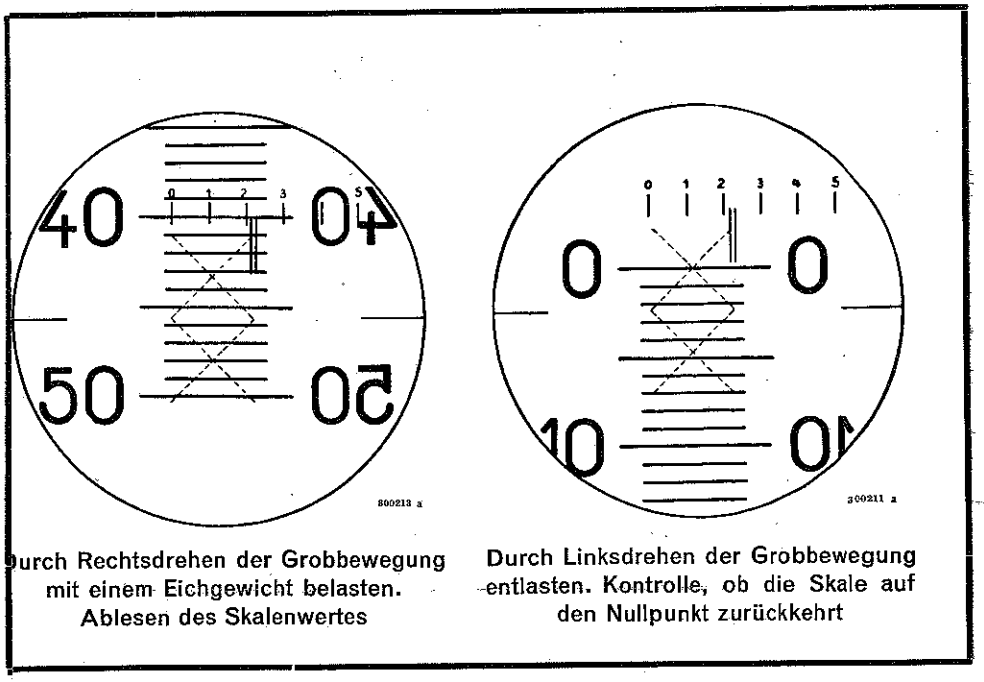
Nach dieser Justierung ist der Mikrohärteprüfer gebrauchsfertig, da alle Eindrücke jetzt genau die Stelle des Objektes treffen werden, die vom Okularfadenkreuz angezeigt ist.

Vor jeder Belastung muß die Nullstellung der Lastanzeige durch entsprechendes Betätigen der Einstelltrommel des Meßokulars nach Bild 7 hergestellt werden.

5. Ausführung der Härtemessung (Bildtafel II)

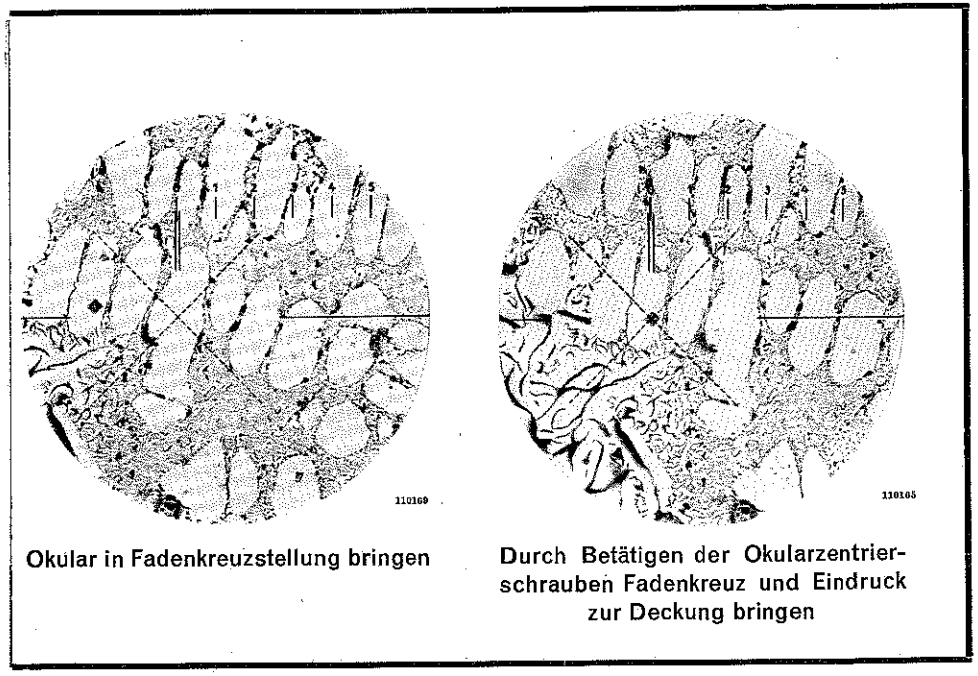
5.1 Vorbereiten der Schliffe

Für die Herrichtung der Proben zu den Härtemessungen gelten grundsätzlich die gleichen Regeln wie für die Herstellung metallographischer oder petrographischer Anschliffe. Es ist besonders auf Kratzerfreiheit zu achten.



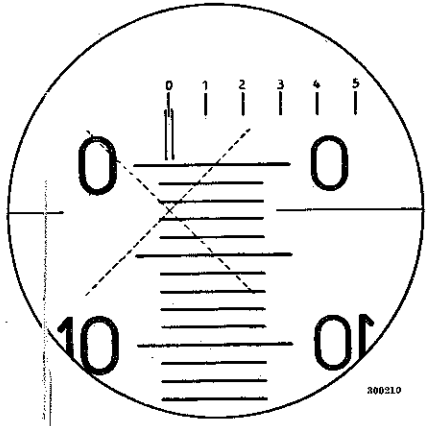
urch Rechtsdrehen der Grobbewegung mit einem Eichgewicht belasten. Ablesen des Skalenwertes

Durch Linksdrehen der Grobbewegung entlasten. Kontrolle, ob die Skale auf den Nullpunkt zurückkehrt



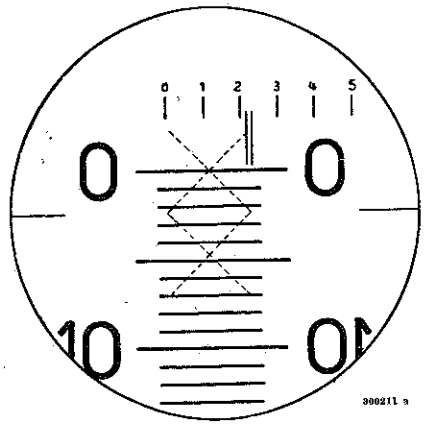
Okular in Fadenkreuzstellung bringen

Durch Betätigen der Okularzentrierschrauben Fadenkreuz und Eindruck zur Deckung bringen

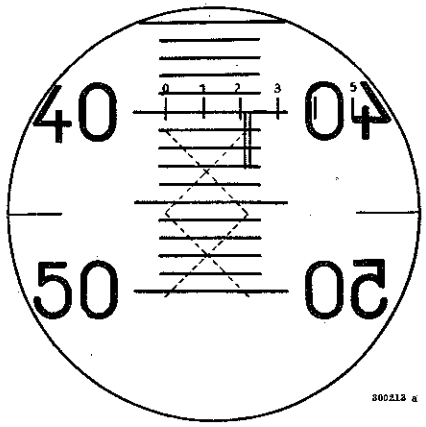


Einstellen des Nullpunktes der Skale

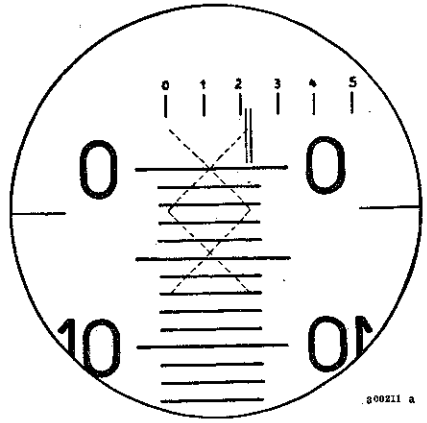
Eichen der Lastanzeige



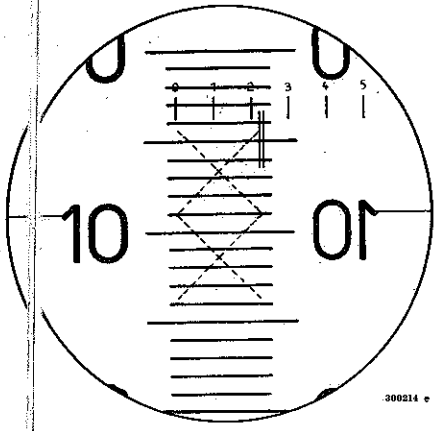
Einstellen der Ablesemarke auf den Nullpunkt der Skale



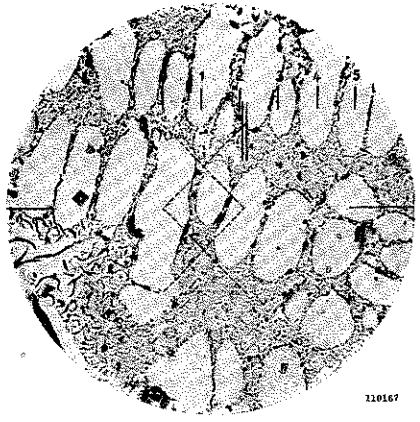
Durch Rechtsdrehen der Grobbewegung mit einem Eichgewicht belasten. Ablesen des Skalenwertes



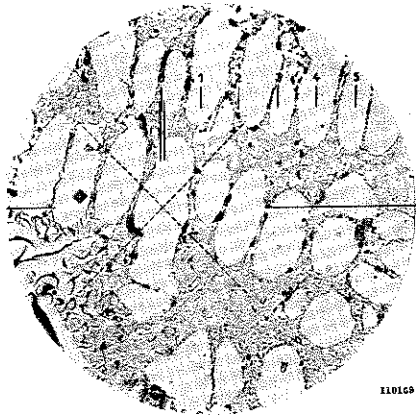
Durch Linksdrehen der Grobbewegung entlasten. Kontrolle, ob die Skale auf den Nullpunkt zurückkehrt



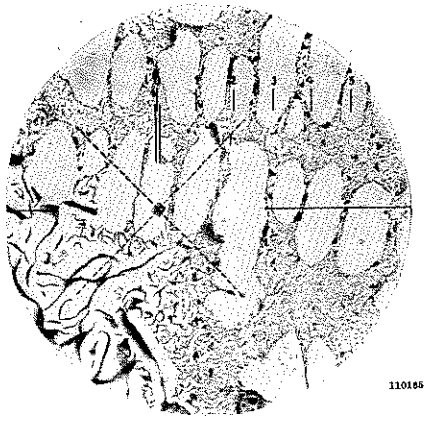
Durch Rechtsdrehen am Grobtrieb mit beliebiger Prüflast belasten



Durch Linksdrehen am Grobtrieb entlasten. Weiterdrehen, bis Gefüge und erster Eindruck erscheinen



Okular in Fadenkreuzstellung bringen



Durch Betätigen der Okularzentrierschrauben Fadenkreuz und Eindruck zur Deckung bringen

Bildtafel I

Vorbereitende Einstellungen

Die Beleuchtung und Abbildung erfolgt bei der Härteprüferoptik nur unter großen Aperturwinkeln, während die unter kleinen Aperturwinkeln verlaufenden Strahlen ausgeblendet sind. Die Bildgüte des Mikrohärteprüfers wird daher sehr empfindlich beeinflußt durch ein Oberflächenrelief der Objekte. Während ein gewisses Relief sonst bei der metallographischen Beobachtung gerade erwünscht ist, ist für die Beobachtung mit dem Mikrohärteprüfer eine möglichst ebene, reliefarme Schliffoberfläche vorteilhafter. Damit ist der weitere Vorteil verbunden, daß die Eindrücke in ebenen Schliffflächen eine bessere quadratische Gestalt haben als in Schliffen mit starkem Oberflächenrelief.

Für die Schliffherstellung gilt daher die von dem üblichen Verfahren abweichende Regel, daß das Vorpolieren mit geschlämmtem Schmirgel möglichst abgekürzt werden soll und die Schliffgüte durch längeres Feinpolieren mit Tonerde (gegebenenfalls Magnesia) erreicht werden muß (weitere Hinweise für die Schliffherstellung in Abschnitt 10).

Bei der Beobachtung der Eindrücke mit Objektiven höherer Apertur ist meistens der Kontrast zwischen Eindruck und Umgebung ziemlich gering. Es ist nicht zweckmäßig, die Eindrücke in dunkel gefärbten Gefügebestandteilen anzubringen, da sie sich vom dunklen Untergrund nur sehr schlecht abheben. Bei der Ätzbehandlung der Schliffe sind daher dunkle Ätzfärbungen möglichst zu vermeiden. Besser sind schwache Ätzungen, bei denen die Gefügebestandteile gerade gut wahrgenommen werden können. Mit besonderer Sorgfalt ist das Einbetten der Schliffe vorzunehmen. Die folgenden Hinweise sollen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sondern nur einige Winke für zweckmäßige Verfahren geben und auf Fehlerquellen aufmerksam machen (Näheres über Einbettungen in Abschnitt 10).

Eine häufige Aufgabe der Mikrohärtemessung ist die Feststellung der Härte einer Oberflächenschicht. Dazu wird ein Querschliff senkrecht zur Oberfläche angefertigt. Die Härtemessungen sind in unmittelbarer Nähe der Schliffkante auszuführen. Dafür ist nun Vorbedingung, daß die Kante keinen Abfall hat. Um die Kantenkrümmung zu vermeiden, muß der Schliff eingebettet werden. Bei größeren Stücken mit einfach geformten Oberflächen benutzt man meist ein entsprechend geformtes Gegenstück aus gleichem oder ähnlichem Werkstoff, in das die Probe einzupassen ist. Die Paßfuge wird durch Verstemmen geschlossen. Dabei ist zu beachten, daß infolge der Kaltverformung beim Verstemmen eine beträchtliche Härtesteigerung eintreten kann. Das Verstemmen muß also mit großer Vorsicht geschehen. Besser ist in vielen Fällen ein Auskochen der eingebetteten Probe in Karnaubawachs, das die Fugen ausfüllt. Gern benutzt wird als Einbettung kompliziert geformter oder dünnwandiger Teile eine Chromschicht,

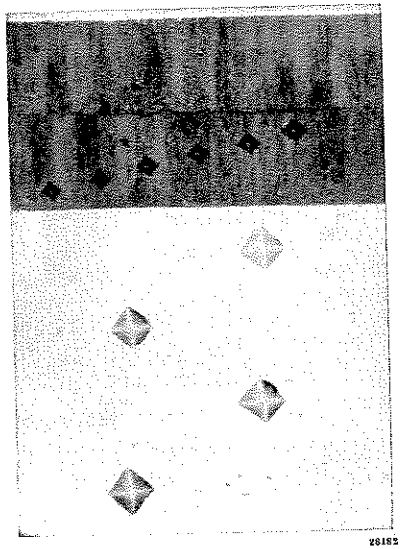


Bild 10. Härteverlauf in einer Eloxalschicht auf Hydronalium Hy 25. Zwei gleiche Eloxalschichten gegeneinander gespannt. Prüflast 20 g. 300:1

die durch Verchromen aufgebracht wird. Bei Stahl ist es möglich, daß dieses Verfahren zu erheblichen Fehlmessungen führt, da der Stahl im galvanischen Bad Wasserstoff aufnimmt und an der Oberfläche beträchtlich härter werden kann. Häufig können Querschliffe durch eine ebene Oberfläche auch so ohne Kantenabfall hergestellt werden, daß zwei gleichartige Oberflächen gegeneinander gespannt werden (Bild 10). Querschliffe dünner Bleche führt man in ähnlicher Weise aus, indem mehrere Lagen fest zusammengespannt und in Karnaubawachs ausgekocht werden.

Besondere Maßnahmen zur Einbettung sind bei der Härteprüfung von pulverförmigen oder körnigen Werkstoffen zu treffen. Ein recht zweckmäßiges Verfahren, das allerdings das Vorhandensein einer Kunststoffpresse voraussetzt, besteht in einer Einbettung des Pulvers in Kunststoff. Es setzt außerdem eine gewisse Festigkeit und Wärmebeständigkeit des körnigen Werkstoffs voraus. Die beheizte Preßform kann sehr einfach sein, da sie nur dazu dient, kleine, zylindrische Körper zu pressen. Zunächst verteilt man die einzubettende körnige Probe gleichmäßig auf dem Boden der Preßform in einer lockeren Schicht. Hierauf wird die pulverförmige Preßmasse, z. B. Bakelit S, in genügender Menge in die Form eingestreut und das Ganze gepreßt. Dabei fließt die plastisch werdende Preßmasse um die einzubettenden Körner. Wird die fertige Pille an der Unterseite angeschliffen, so gelingt es leicht, eine große Zahl von Einzelkörnern im Anschliff zu treffen und für eine Härtemessung herzurichten (Bild 11). Ähnlich können auch kleine kristalline Körner mit ebenen Wachstums- oder Spaltflächen eingebettet werden. Die Körnchen legt man dann mit der ebenen Begrenzungsfläche nach unten in die Form und umpreßt sie mit Kunststoff. Durch kurzes Polieren lassen sich die ebenen Grenzflächen wieder freilegen; sie können auf Härte geprüft werden, ohne daß es erforderlich wäre, in allen Fällen einen Schliff herzustellen. Dieses Verfahren ist besonders vorteilhaft bei Schleifmitteln,

wie Siliziumkarbid, deren Kristalle eine ausgesprochene Tracht besitzen. In jüngster Zeit sind Kunststoffe bekanntgeworden, die bei ihrer Verwendung keine Pressen mehr erfordern. Sie werden daher zweckmäßig in den soeben geschilderten Fällen benutzt.

Der festigende Einfluß der Schleif- und Polierbehandlung wird von E. O. Bernhardt (s. Abschnitt 10) beschrieben. Um die Fälschung der Härtemessung infolge der Oberflächenveränderungen beim Polieren zu vermeiden, empfiehlt sich die Härtemessung an ungestörten Kristallflächen in all den Fällen, in denen es praktisch möglich ist, solche Flächen zu erzeugen. In der Mineralogie ist daher die Härtemessung an Spaltflächen oder an natürlich gewachsenen Kristallflächen besonders zu empfehlen. In der Metallographie ist es das Verfahren des elektrolytischen Polierens, das ungestörte Oberflächen liefert. Longard weist in einer Veröffentlichung (s. Abschnitt 10) nach, daß die Mikrohärtewerte, gemessen an elektrolytisch polierten Oberflächen, niedriger liegen als die an mechanisch polierten Oberflächen ermittelten.

Die zum Härteprüfer gelieferte Tischeinlegeblende hat eine freie Öffnung von 20 mm. Blenden mit kleinerer Öffnung sind in Verbindung mit dem Mikrohärteprüfer unzweckmäßig, da dann die Frontlinsenfassung leicht

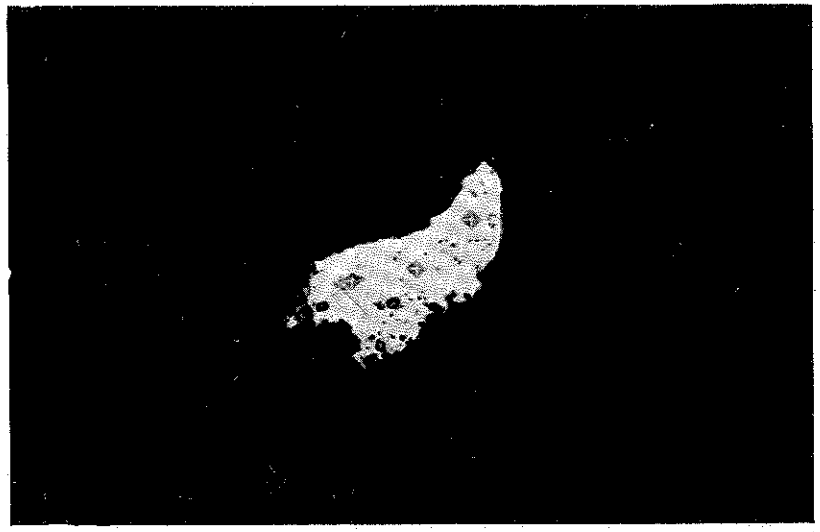
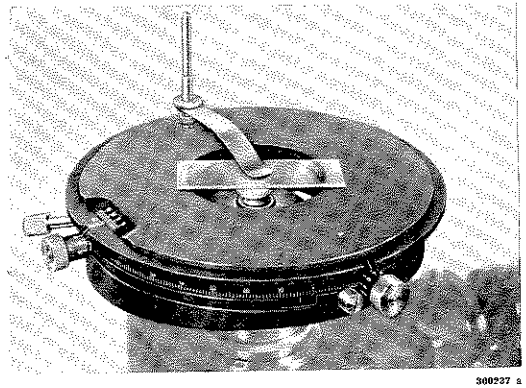


Bild 11. Bleiglanzkristall eingebettet. $H_m = 70$ kg/mm²



300237 a

Bild 12. Kleine Probe, an einen Objektträger gekittet und in die Einlegeblende eingehängt

an die Blende anstoßen kann. Daraus folgt, daß sich nur Proben größer als 20 mm auf die Blende legen lassen. Kleinere Proben werden entweder mit einer Schliffpresse auf einen Glasobjektträger gedrückt und so in die Blende eingehängt, daß der Objektträger auf der Blende liegt (Bild 12), oder man bettet die Probe mit Kunststoff in eine entsprechend große Form. Zum Aufpressen wird vielfach Plastilin benutzt. Besser ist Klebewachs, da der Schwefelgehalt des Plastilins manche Werkstoffe, z. B. die meisten Kupfererze, angreift.

5.2 Wählen der Prüflast

Für die Wahl der Prüflast gelten folgende Gesichtspunkte:

Mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Messung soll die Prüflast grundsätzlich so groß wie möglich gewählt werden. Als untere Grenze für die Prüflast ist äußerstenfalls ein Wert von 0,2 bis 0,3 g[1]) anzunehmen. In diesem Fall ist allerdings sowohl die Messung der Prüflast selbst als auch die Ausmessung der sehr kleinen Eindrücke mit so großen Fehlern behaftet, daß dieser Wert in den seltensten Fällen anwendbar sein dürfte.

Andererseits wird der Größe der Prüflast nach oben hin durch folgende Gesichtspunkte eine Grenze gesetzt:

Die Größe der Eindrücke hat in einem gewissen Verhältnis zur Größe der Einzelkristalle zu stehen. Insbesondere bei der Härtebestimmung harter Kristallarten, die in einer weicheren Grundmasse eingebettet sind, muß die Korngröße ein Vielfaches der Eindrucksgröße sein, sonst würden der harte Kristall durchgedrückt und Eigenschaften der Grundmasse mitgemessen werden.

[1]) Die hier und im folgenden angewendeten Meßeinheiten für Prüflast und Mikrohärte, g bzw. kg und kg/mm², werden neuerdings vielfach durch p bzw. kp und kp/mm² ausgedrückt. Da in dieser Richtung bis jetzt noch keine gesetzliche Festlegung getroffen worden ist, wurden die bisherigen Bezeichnungen in dieser Druckschrift beibehalten.

Bei spröden Werkstoffen tritt unter höheren Belastungen eine Splitterbildung ein. Eindrücke, von deren Ecken Anrisse ausgehen, lassen erkennen, daß im Werkstoff die Trennfestigkeit überschritten worden und die Verformung nicht allein durch plastisches Fließen erfolgt ist. Da der so gewonnene Härtewert gefälscht sein kann, muß die Prüflast so niedrig bemessen werden, daß eine stärkere Rißbildung an den Eindrücken nicht auftritt.

Wegen der Ungültigkeit des Kickschen Ähnlichkeitsgesetzes ist die Mikrohärte keine Materialkonstante, sondern in gewissem Maß von den Versuchsbedingungen abhängig. Bei der Festlegung des Auswerteverfahrens wurde daher die Standardgröße des Diagonalwertes der Eindrücke auf 5, 10 und 20 μ festgesetzt. Falls die Meßeindrücke von der festgesetzten Standardgröße abweichen, muß durch Inter- oder Extrapolation eine Umrechnung vorgenommen werden. Da aber eine Extrapolation stets unsicher ist, soll die Wahl der Prüflast so erfolgen, daß die Eindrucksgröße von vornherein möglichst im Bereich von 5, 10 oder 20 μ liegt.

5.3 Erzeugen der Prüfeindrücke

(vgl. Abschnitte 6.16 bis 6.19)

Die Meßeindrücke werden gemäß Abschnitt 4.5 ausgeführt. Eine Überlastung der Federaufhängung des Objektivs ist unter allen Umständen zu vermeiden. Die Lastanzeige darf deshalb nie über den Teilstrich 50 hinaus belastet werden. Als Warnsignal dient eine dreifache Zickzacklinie, die sich an das Ende der Lastanzeigeskale anschließt (Bild 13) und die bei Überlastung in auffälliger Weise im Okular erscheint.

Falls bestimmte Stellen des Gefüges geprüft werden sollen, können sie vorher mit einem schwächeren Objektiv ausgesucht werden. Bei der Bestimmung der Härteverteilung in größeren Querschnitten empfiehlt es sich, die Eindrücke nacheinander auszuführen und das Ausmessen später vorzunehmen. Um die Eindrücke wiederzufinden, muß ihre Anordnung nach einem bestimmten System getroffen werden. Vorteilhaft ist die Anordnung in rechtwinkligen Koordinaten, ausgehend von einer geraden Kante oder einer Ecke des Querschnittes. Das Einrichten nach dem Koordinatensystem läßt sich mittels der beiden Spindeln am Kreuztisch leicht bewerkstelligen. Die Spindelstellungen müssen beim Erzeugen der Eindrücke im Protokoll

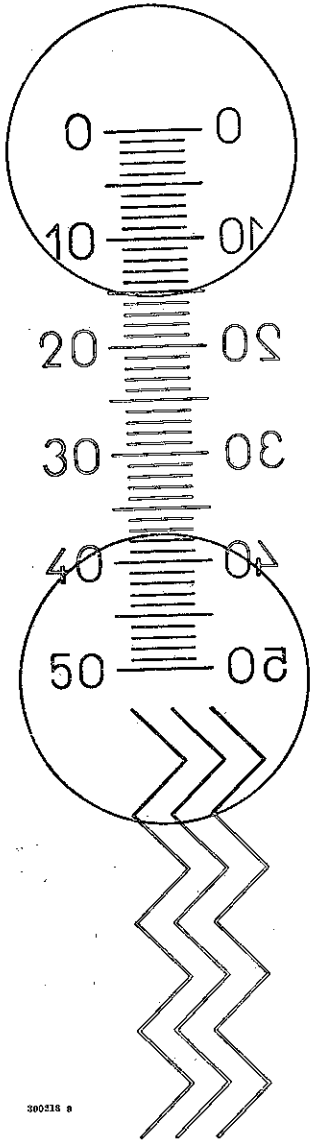


Bild 13. Ausführung der Lastanzeigeskale mit Warnsignal gegen Überschreiten des Lastbereichs

(Bild 19) niedergelegt werden; das ermöglicht später das Wiederfinden der Eindrücke beim Ausmessen.

In Abschnitt 4.3 wurde bereits erwähnt, daß die Aufstellung einer Tabelle für Prüflasten und Lastanzeigen empfehlenswert ist. Im folgenden seien noch einige Hinweise gebracht, die das Aufbringen der Prüflasten mit größter Genauigkeit erleichtern sollen.

Es liegt auf der Hand, daß die Hilfsoptik des Härtemessers, mit der die Lastanzeige abgebildet wird, aus Raumgründen nur eine geringe Apertur haben kann, so daß ihr Auflösungsvermögen nicht sehr hoch ist. Damit hängt es zusammen, daß ein bestimmter, runder Wert der Prüflast, der nicht einer ganzzahligen Anzeige entspricht, ungenau eingestellt wird, weil Unterteilungen der Lastanzeigeskale geschätzt werden müssen. Es ist daher vorteilhafter, die Prüflasten nach ganzen Intervallen der Lastanzeigeskale zu bemessen und die sich ergebenden unrunden Lastwerte in die Rechnung einzusetzen. Die Einstellung der Lastanzeigeskale derart, daß die Ablesemarke auf Mitte Teilstrich oder Mitte Intervall fällt, läßt sich allerdings mit sehr hoher Genauigkeit ausführen. Für kleinere Prüflasten wird damit eine Nullmethode nahegelegt, bei der man den Ausschlag der Lastanzeige nicht mehr an der Lastanzeigeskale selbst abliest, sondern vorher durch Verschieben der Ablesemarke am Okular einzustellen hat.

Das Verfahren sei an einem Beispiel erläutert.

Bevor die Prüflast wirkt, wird die Nullstellung der Lastanzeigeskale in folgenden zwei Stellungen des Okularmikrometers abgelesen (Bild 14):

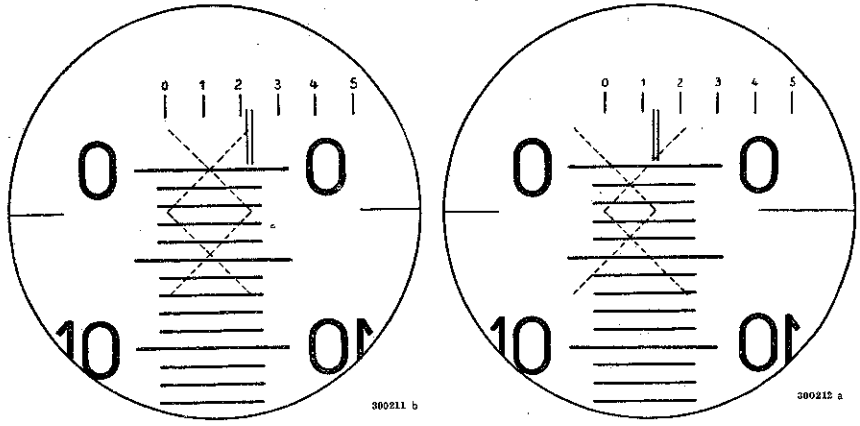


Bild 14. Übertragung der Ausschläge der Lastanzeigeskale auf Meßbewegungen des Okulars

In Stellung 1 werde eine Trommelstellung des Okularmikrometers von 2 20 abgelesen, in Stellung 2 eine solche von 1 26. Einem Intervall der Lastanzeigeskale, dem seinerseits lt. Eichung eine Last von 2,35 g entsprechen möge, entspricht also eine Verstellung der Ablesemarke des Okularmikrometers von 94 Teilstrichen. Damit läßt sich die Lasteichung des Härteprüfers von der ungenaueren Lastanzeigeskale auf das genauere Okularmikrometer übertragen.

$$1\ \text{g} \triangleq \frac{94}{2{,}35} = 40 \text{ Teilstriche Trommelablesung}$$

Gewünscht sei eine Prüflast von 0,4 g. Dem entspricht eine Verstellung des Okularmikrometers um $40 \times 0{,}4 = 16$ Teilstriche gegen die Nullstellung, so daß die Trommel in die Stellung 2 20 + 16 = 2 36 Teilstriche zu bringen ist. Die Ablesemarke steht nunmehr um einen kleinen Betrag über dem Nullstrich der Lastanzeigeskale. Dieser Betrag entspricht sehr genau dem Prüflastwert von 0,4 g. Beim Belasten wird so lange am Feintrieb verstellt, bis die Ablesemarke wieder genau auf Mitte Nullstrich der Lastanzeigeskale steht. Die Messung der Prüflast ist durch diese Nullmethode weitgehend von dem geringeren Auflösungsvermögen der Lastanzeigeoptik unabhängig geworden.

Es mag zunächst widersinnig erscheinen, daß es so möglich sein soll, Verschiebungen eines Skalenbildes mit weit höherer Genauigkeit zu messen, als es dem Auflösungsvermögen der abbildenden Optik entspricht. Tatsächlich ist aber das Auflösungsvermögen nur ein Maß dafür, wie nahe beieinanderliegende Objekte getrennt wiedergegeben werden und wie weit die Abbildung objektähnlich ist. Der Ort des Bildes eines nicht mehr ähnlich abgebildeten Objektes ist vom Auflösungsvermögen praktisch unabhängig. Kleine Verschie-

bungen können daher mit größter Genauigkeit gemessen werden (vgl. „Pointierungsgenauigkeit" in der Astronomie), vorausgesetzt, daß stets auf dieselbe Stelle des Beugungsbildes eingestellt wird. Diese Erscheinung ist auch die Ursache für die ungewöhnlich hohe Treffsicherheit der Mikrohärteprüfer, die weniger mit dem Auflösungsvermögen als vielmehr in erster Linie mit der — förderlichen oder leeren — Vergrößerung zusammenhängt.

Die Wahl einer ausreichenden Belastungsdauer kann bei der Mikrohärteprüfung eine ebenso entscheidende Bedeutung wie bei den makroskopischen Verfahren der Härtemessung besitzen. Da diese eine Mehrzahl von Kristallen erfassen, von denen einzelne unter dem Einfluß der Prüflast nachfließen, dauert es allerdings eine längere Zeit, bis der Meßvorgang zur Ruhe kommt. Bei der Mikrohärtemessung an einem Einzelkristall kann hingegen die Messung sehr schnell zum Stillstand kommen. Bei größeren Prüflasten läßt sich unbedenklich nach dem Belasten sofort wieder entlasten. Ein Zeiteinfluß ist jedoch bei vielen Werkstoffen, besonders bei Gläsern, zu beobachten, wenn mit sehr kleinen Prüflasten gearbeitet wird. Es finden dann Vorgänge der Platzwechselplastizität in kleinsten Bereichen statt, die die Eindrucksgröße je nach Belastungsdauer beeinflussen. Das gleiche gilt selbstverständlich auch bei großen Eindrücken in Werkstoffen, in denen bei Raumtemperatur Kriechvorgänge möglich sind.

5.4 Ausmessen der Prüfeindrücke

(vgl. Abschnitte 6.20 bis 6.24)

5.41 Wählen der Optik

Das Ausmessen der Prüfeindrücke kann unmittelbar nach dem Erzeugen jedes einzelnen Eindruckes erfolgen; der Härteprüfer wird dabei selbst als Objektiv benutzt. Vorteilhafter ist jedoch, zunächst im Bildfeld oder an anderweitig leichtauffindbaren Stellen eine größere Anzahl von Eindrücken herzustellen, die anschließend mit einem geeigneten Objektiv ausgemessen werden. Gegen die Anwendung des Mikrohärteprüfers selbst als Objektiv spricht die Tatsache, daß infolge der Mittenabblendung Abbildungsverhältnisse geschaffen werden, deren Einfluß auf die scheinbare Größe der Eindrücke nicht ganz übersichtlich ist. Deswegen sollte das Mikrohärteprüferobjektiv nur zum Ausmessen größerer Eindrücke und allenfalls zur Feststellung von Härteunterschieden benutzt werden sowie für werkstattmäßige Schnellmessungen.

Zum Ausmessen ist grundsätzlich jedes stärkere Hellfeld-Objektiv des „Neophot" geeignet. Allerdings zeigt der Mikrohärteprüfer unter Umständen gewisse Differenzen hinsichtlich der Zentrierung gegenüber

anderen „Neophot"-Objektiven. Dadurch kann es vorkommen, daß nach dem Einsetzen eines Objektivs der Härteeindruck nicht in der Mitte des Sehfeldes erscheint. In diesem Fall muß er mit dem Kreuztisch zum Strichkreuz des Okulars zentriert werden.

Für die Messung kommen in erster Linie Trockensysteme in Betracht, da es meist nicht erwünscht ist, an die Meßstelle Immersionsöl zu bringen, das man bei weiteren Härteprüfungen nicht entfernen kann, ohne den Schliff vom Mikroskop abzunehmen. Das Ausmessen erfolgt daher vorteilhaft mit den Apochromaten 32×/0,65 und 60×/0,95.

5.42 Einstellen des Meßbildes

Nachdem die Wahl des Meßobjektivs getroffen ist und die Eindrücke im Bildfeld aufgefunden sind, muß die Einstellung des Bildes mit besonderer Sorgfalt vorgenommen werden. Es zeigt sich nämlich, daß die scheinbare Größe der Eindrücke erheblich von den Abbildungsbedingungen abhängen kann. Schon der Kontrast, mit dem die Eindrücke sich von der Unterlage abheben, ist sehr stark von der Beleuchtungsapertur abhängig. Bei Objektiven mit hohen Aperturen geht diese Erscheinung so weit, daß die Eindrücke bei geöffneter Aperturblende völlig verschwinden.

Die Erklärung hierzu gibt die Tatsache, daß bei größeren Aperturwinkeln das Licht auch von den schrägliegenden Pyramidenflächen nahezu vollkommen in das Objektiv reflektiert wird. Den maximalen Kontrast erreicht man dann, wenn der Aperturwinkel der Beleuchtung kleiner als der Pyramidenböschungswinkel (22°) ist.

Die Beleuchtungsapertur muß demnach bei allen Messungen unbedingt auf demselben Wert gehalten werden, um einheitliche Abbildungsverhältnisse zu schaffen. Die Abblendung der Aperturblende ist bei den stärkeren Systemen ziemlich weit zu treiben, weiter, als es in der Mikrophotographie mit denselben Objektiven sonst üblich ist. Als Anhaltspunkt diene, daß beim Apochromat 60×/0,95 meist eine Aperturblendenstellung von 3 notwendig ist, um eine genügend kontrastreiche Wiedergabe der Eindrücke zu erzielen. Weiterhin läßt sich der Kontrast durch Zuziehen der Leuchtfeldblende steigern. Man achte daher auch auf eine konstante Einstellung dieser Blende.

Die Einstellung der richtigen Bildschärfe kann im Anfang Schwierigkeiten bereiten. Durch Übung läßt sich aber im Lauf der Zeit die Unsicherheit der Einstellung weitgehend beseitigen.

Es ist häufig zu beobachten, daß die scheinbare Größe der Eindrücke einem erheblichen Wechsel unterworfen ist, je nach der Ebene, auf die das Bild scharf eingestellt ist. Demnach ist es erforder-

lich, eine Einstellung zu wählen, die stets reproduzierbar in einer bestimmten Höhe liegt. Als Anhaltspunkt kann hierfür das Aussehen und der Kontrast der Eindrücke benutzt werden sowie die Erscheinung, daß beim Verändern der Scharfeinstellung gewisse markante Stellen des Eindruckes, z. B. Pyramidenkanten oder Pyramidenspitze, einem Hell-Dunkel-Wechsel unterworfen sind. Am besten stellt man so ein, daß die Pyramidenkanten in den äußersten Eindrucksecken dunkel und möglichst scharf erscheinen.

5.43 Eigentliches Ausmessen

Bevor das Ausmessen vorgenommen wird, ist das Okular durch Drehen an der Okularfassung auf beste Schärfe der Strichfigur einzustellen. Das eigentliche Ausmessen kann auf verschiedene Weise geschehen. Das Verfahren, das im folgenden an erster Stelle beschrieben wird, weicht von der üblichen Arbeitsweise beim Ausmessen der Vickers-Härteeindrücke ab.

Bekanntlich werden Vickers-Härteeindrücke übereck ausgemessen, ein Verfahren, das deshalb zulässig ist, weil Vickers-Eindrücke meist sehr groß sind, von der quadratischen Form wenig abweichen und scharfe Ecken haben. Somit ist die Diagonallänge ein ausreichend genaues Maß für die Flächengröße des Eindruckes. Im Gegensatz hierzu werden Mikrohärteeindrücke fast ausschließlich an Einzelkristallen angebracht und haben wegen der Anisotropie des Fließvorgangs meist eine vom Quadrat abweichende Gestalt. Der für die Härtebestimmung entscheidende Wert ist die Größe der Eindrucksfläche. Die mittelbare Bestimmung der Flächengröße durch Messung der Diagonallängen ist mit einem um so größeren Fehler behaftet, je stärker die Gestalt der Eindrücke verzerrt ist. Bei der Mikrohärtemessung zieht man daher die unmittelbare Flächenmessung vor. Dies ist die Veranlassung, daß das Meßokular für die Mikrohärtemessung als Planimeterokular entwickelt wurde.

Die Flächenmessung mit dem Meßokular geht so vor sich, daß zunächst einmal durch Drehen des (vorher zentrierten) Mikroskoptisches oder auch des Okulars auf dem Okularstutzen die Seiten des Eindruckes und die Meßschenkel des Okulars möglichst genau parallel zueinander ausgerichtet werden. Der weitere Verlauf der Messung erfolgt analog dem Messen mit einer Schieblehre oder einem Schraubenmikrometer, indem man zunächst die feststehende Winkelmarke mit der ihr zugekehrten Ecke des Eindruckes zur Deckung bringt — man benutzt zur Grobeinstellung den Kreuztisch, zur Feineinstellung die Zentrierschrauben des Okulars (s. Abschnitt 6.22) — und dann die bewegliche Winkelmarke durch Drehen der Schraubenspindel des Meßokulars bis an die ihr gegenüberliegende Eindrucksecke heranbringt.

Bei der Einstellung beider Meßwinkel ist zu berücksichtigen, daß das Meßquadrat von den Innenkanten der Meßschenkel begrenzt wird, wie es Bild 15 schematisch zeigt. Das Okular ist so justiert, daß bei Nullstellung der Mikrometertrommel die Meßschenkel nicht ein genaues Fadenkreuz bilden, sondern um die Strichstärke versetzt sind und damit ein Quadrat der Größe 0 einschließen, wie es schematisch in Bild 16 dargestellt ist.

Die Genauigkeit dieser Einstellung wird durch Strichelung der Einstellmarken erhöht; sie ist größer als die der Einstellung eines ausgezogenen Striches auf Berührung mit der Eindruckskante, wie das bei dem früheren Meßokular der Fall war. Ist der Eindruck nicht genau quadratisch, so stellt man die beiden Meßwinkel so ein, daß sie ein dem Eindruck flächengleiches Quadrat bilden. Mit etwas Übung läßt sich diese Einstellung mit genügender Genauigkeit erreichen. Aus Bild 17 geht hervor, daß das Meßquadrat die unregelmäßigen Umrisse des Eindruckes derart umschließen und ausgleichen muß, daß die über die Meßschenkel überstehenden *(a)* und die am Meßquadrat fehlenden Flächenanteile *(b)* des Eindruckes schätzungsweise flächengleich sind. Abgelesen wird am Okularmikrometer bei dieser Flächenmessung der Längenwert einer Diagonale. (Dies ist die Diagonale eines idealen, zur Eindrucksfigur flächengleichen Quadrates.)

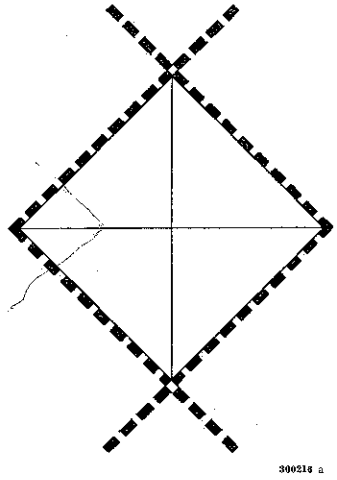


Bild 15. Einstellen des Meßquadrates auf den Eindruck

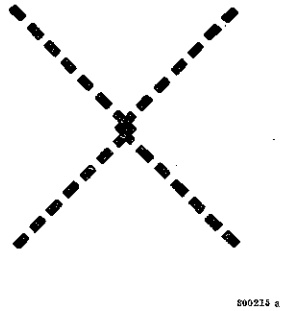
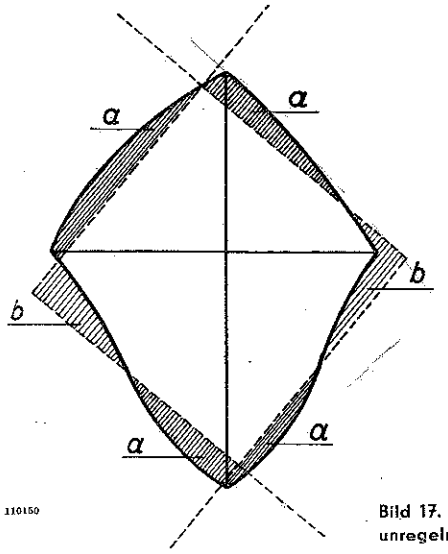
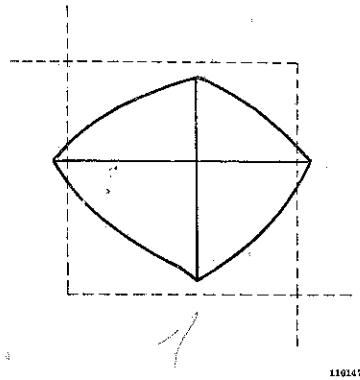


Bild 16. Stellung der Strichfigur des Meßokulars bei Trommelstellung 0



110150

Bild 17. Messen der Flächengröße eines unregelmäßigen Eindruckes



110147

Bild 18. Messen der Diagonallänge der Eindrücke. Mittelwertbildung beider Diagonalen

Manchen Beobachtern, insbesondere solchen, die von der Vickers-Härtemessung her das Ausmessen der Eindrücke übereck gewöhnt sind, wird die beschriebene Flächenmessung vielleicht zunächst Schwierigkeiten bereiten. Mit dem Meßokular lassen sich auch Messungen der Diagonallänge unmittelbar vornehmen. Es ist dann lediglich erforderlich, das Okular um 45° gegen den Eindruck zu drehen und den Mikrometerwert sinngemäß neu zu bestimmen oder den oben bestimmten Mikrometerwert δ mit $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ zu multiplizieren. Die Einstellung kann entweder so erfolgen, daß paarweise die Ecken der einen, dann der anderen Diagonale an den Meßschenkeln zur Anlage gebracht werden und darauf der Mittelwert der beiden Trommelablesungen gebildet wird. Mit einiger Übung gelingt auch ein optisches Ausgleichen, wie in Bild 18 dargestellt, und unmittelbares Ablesen des Mittelwertes.

Die geringen subjektiven Einstellfehler und Streuungen, mit denen diese Art der unmittelbaren Messung der Diagonallängen ausgeführt werden kann — im Gegensatz zu den größeren Streuungen bei der Flächenmessung —, dürfen nun nicht zu dem Trugschluß verleiten, daß das Verfahren der Diagonallängenmessung grundsätzlich genauer wäre als das Planimetrieren. Aus den Erwägungen über die Notwendigkeit einer Flächenbestimmung geht hervor, daß die Diagonallänge nur ein mittelbares und unvollkommenes Maß der Flächengröße ist, so daß es keinen Sinn hat, die Diagonalen mit höherer

Genauigkeit zu bestimmen, ohne die Beziehungen zwischen Diagonallängen und Flächeninhalten zu kennen.

Als drittes Verfahren zur Ausmessung der Eindrücke sei der Vollständigkeit halber das Ausmessen des photographischen Bildes genannt. Es wurde bereits in Abschnitt 5.42 erwähnt, daß die scheinbare Größe eines Eindruckes sehr von der Einstellung abhängen kann. In noch stärkerem Maß gilt dies für das Ausmessen des photographischen Bildes, da hier mit der Aufnahme eine bestimmte Einstellung festgehalten ist, die sich später beim Ausmessen nicht mehr verändern läßt. Aus diesem Grund ist das photographische Verfahren nur zulässig bei kleinen Abbildungsmaßstäben und großen Eindrücken; beim Ausmessen kleiner Eindrücke nur dann, wenn es sich um Härtevergleiche handelt und die zu vergleichenden Eindrücke einer Aufnahme dicht beieinanderliegen.

6. Zusammenstellung der Arbeitsgänge

6.01 Lichtwurflampe einschalten.

6.02 Objekttisch mit den Zentrierschrauben, am besten unter Anwendung eines Fadenkreuzokulars, zentrieren.

6.03 Mikrohärteprüfer einsetzen und Objekttisch mittels Kreuztischbewegung nach Augenmaß koaxial zum Mikrohärteprüfer einstellen.

6.04 Meßokular mit Meßtrommel nach rechts einsetzen und festklemmen. Durch Drehen an der Okularfassung Okular scharf auf Meßfigur einstellen.

6.05 Zentrierschrauben des Meßokulars in eine mittlere Stellung bringen. Nullpunkt der Lastanzeigeskale nicht auf das Okularfadenkreuz, sondern einen kleinen Betrag darüber einstellen. Leuchtfeldblende am „Neophot" entsprechend zuziehen und zentrieren.

6.06 Objekt auflegen und mit Tischfeder festklemmen.

6.07 Aperturblende ganz öffnen.

6.08 Am Vertikalilluminator angreifende Feineinstellung in ihre mittlere Stellung bringen.

6.09 Objekt möglichst mit Grobeinstellung einstellen.

6.10 Gewünschte Objektstelle durch Betätigen des Kreuztisches unter das in der Nullstellung des Meßokulars von den Meßwinkeln gebildete Fadenkreuz bringen.

6.11 Mit Grobeinstellung Kreuztisch vorsichtig senken, bis das Bild der Skale deutlich zu sehen ist.

6.12 Ablesemarke des Okulars nach Bild 7 auf Nullstrich der Lastanzeigeskale bringen.

6.13 Eindruck mit mittlerer Last durch Betätigen der Grobeinstellung anfertigen und diesen durch Linksdrehen der Grobeinstellung scharf einstellen.

6.14 Mit Zentrierschrauben Okular so zentrieren, daß das Fadenkreuz genau auf die Pyramidenspitze des Eindruckes kommt. Dabei nötigenfalls Okular nach Lösen seiner Klemmschraube so drehen, daß die Kreuzarme des Fadenkreuzes parallel zu den Quadratseiten des Eindruckes verlaufen.

6.15 Durch Einstellen der Lastanzeigeskale prüfen, ob ihr Nullpunkt sich noch nach Bild 7 einstellen läßt. Andernfalls Lastanzeigeskale mit Rändelring entsprechend verstellen und Arbeitsgänge 6.13 und 6.14 wiederholen. Leuchtfeldblende entsprechend zuziehen und zentrieren.

6.16 Zu prüfende Objektstelle mit Hilfe der Tischbewegung unter das Fadenkreuz bringen (vgl. Arbeitsgang 6.10).

6.17 Durch Betätigen der Grobeinstellung einen Eindruck mit der gewünschten Prüflast anfertigen.

6.18 Grobeinstellung zurückdrehen, bis keine Bewegung des Fadenkreuzes gegenüber der Skale mehr stattfindet, und kontrollieren, ob Einstellmarke wieder auf Null steht. Andernfalls abzulesenden Wert von der Prüflast abziehen.

6.19 Grobeinstellung weiter zurückdrehen, bis Eindruck scharf abgebildet wird.

6.20 Für *Schnellmessungen* Mikrohärteprüfer selbst zum Messen belassen oder, für *genauere Messungen,* durch anderes Objektiv (am besten Apochromat 60×/0,95) ersetzen. In letzterem Fall verkürzten Okulartubus statt des normalen am „Neophot" einsetzen.

6.21 Eindruck so einstellen, daß Pyramidenkanten in den äußersten Eindrucksecken dunkel und scharf erscheinen.

6.22 Feststehende (linke) Winkelmarke durch Betätigen des Kreuztisches mit der linken Eindrucksecke zur Deckung bringen. Bei genauen Messungen ist noch eine Feineinstellung mit den Zentrierschrauben des Meßokulars zu empfehlen. Leuchtfeldblende entsprechend zuziehen und zentrieren.

Bildtafel II

Ausführung einer Härtemessung

6.23 Durch Drehen an der Meßtrommel bewegliche (rechte) Winkelmarke mit der rechten Eindrucksecke zur Deckung bringen und gemessene Strecke ablesen (volle Umdrehungen an dem im Sehfeld befindlichen Maßstab, ihre Bruchteile in Hundertsteln an der Trommelteilung).

6.24 Es ist immer zweckmäßig, die Messung nach den Arbeitsgängen 6.21 bis 6.23 mehrmals (bis zu 10mal) zu wiederholen, gegebenenfalls an mehreren (bis zu 10) Eindrücken, die mit derselben Last ausgeführt wurden.

7. Auswertung

Da die Form der Pyramide des Mikrohärteprüfers mit der Pyramidenform des Vickers-Verfahrens übereinstimmt, werden die Mikrohärtemessungen grundsätzlich in der gleichen Weise ausgewertet wie Vickers-Härtemessungen.

7.1 Bezeichnungsweise

P	Prüflast in g
m	Ablesung der Eindrucksgröße in Trommelstrichen
δ	Mikrometerwert
d	Diagonallänge der Eindrücke in μ
β	Pyramidenwinkel (22°)
a	Konstanten des Meyerschen Potenzgesetzes
k	Konstanten des Meyerschen Potenzgesetzes
n	Exponent des Meyerschen Potenzgesetzes
H_m	Mikrohärte allgemein in kg/mm²
$H_{5\mu}$	Mikrohärte (in kg/mm²), reduziert auf die Diagonale 5 μ
$H_{10\mu}$	,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, 10 μ
$H_{20\mu}$	,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, 20 μ

7.2 Auswertung des nichtreduzierten Härtewertes

Die Mikrohärte ist $$H = \frac{2\,P \cos \beta}{d^2} \qquad (1)$$

Der Härtewert ist also gleich der spezifischen Flächenpressung in der gemeinsamen Berührungsfläche zwischen Pyramide und Probe. Er wird in ähnlicher Weise wie bei der Brinell-Härtemessung nicht auf die Fläche des Basisquadrates, sondern auf die größere pyramidenförmige Berührungsfläche bezogen. Falls P in kg, d in mm eingesetzt werden, ergibt sich der Härtewert unmittelbar in kg/mm². Da die Last jedoch zweckmäßig in g

Bild 19. Beispiel für das Protokoll einer Härtemessung (Auswertung der Bilder 20 und 21)

Mikrohärtemessung an Werkstoff × ×
Mikrohärteprüfer Mod. D 32
Federkonstante der Lastanzeige 0,426 g/Teilstrich
Meßobjektiv Apochromat 60×/0,95, Aperturblende 2,5
Mikrometerwert des Meßokulars $\delta = 0{,}1625\ \mu$/Teilstrich

Nr. d. Eindruckes	Koordinaten längs	Koordinaten quer	Okularmikrometer-Ablesung m in Teilstrichen einzeln	Okularmikrometer-Ablesung m in Teilstrichen Mittel	Diagonale d in μ	d^2 μ²	Prüflast P in g	Mikrohärte H_m in kg/mm²
1	0,5	0,2	12,5	12,6	2,05	4,2	0,5	220
2		0,3	12,5					
3		0,4	12,5					
4		0,5	13,0					
5		0,6	12,5					
6	0,7	0,2	21,0	21,2	3,45	11,9	1,0	156
7		0,3	21,5					
8		0,4	21,0					
9		0,5	21,0					
10		0,6	21,5					
11	1,0	0,2	29,0	29,2	4,74	22,5	2,0	165
12		0,4	29,5					
13		0,6	28,5					
14		0,8	29,0					
15		1,0	30,0					
16	1,2	0,2	46,0	45,6	7,4	54,7	5,0	169
17		0,4	44,5					
18		0,6	45,5					
19		0,8	46,0					
20		1,0	46,0					
21	1,5	0,2	68,0	67,1	10,9	119	10,0	156
22		0,4	67,0					
23		0,6	67,0					
24		0,8	67,0					
25		1,0	66,5					
26	1,7	0,2	95,5	95,3	15,5	240	20,0	154
27		0,4	95,0					
28		0,6	95,5					
29		0,8	95,5					
30		1,0	95,0					
31	2,0	0,2	166,5	166,0	27,0	729	50,0	127
32		0,5	165,0					
33		0,8	165,5					
34		1,1	166,0					
35		1,4	167,0					
36	2,5	0,5	232	233	37,9	1435	100,0	129
37		1,0	233					
38		1,5	233					
39		2,0	234					
40		2,5	233					

Mikrohärte $H_{5\mu} = 174$, $H_{10\mu} = 157$, $H_{20\mu} = 141$ kg/mm²

22. IX. 40
Bdt.

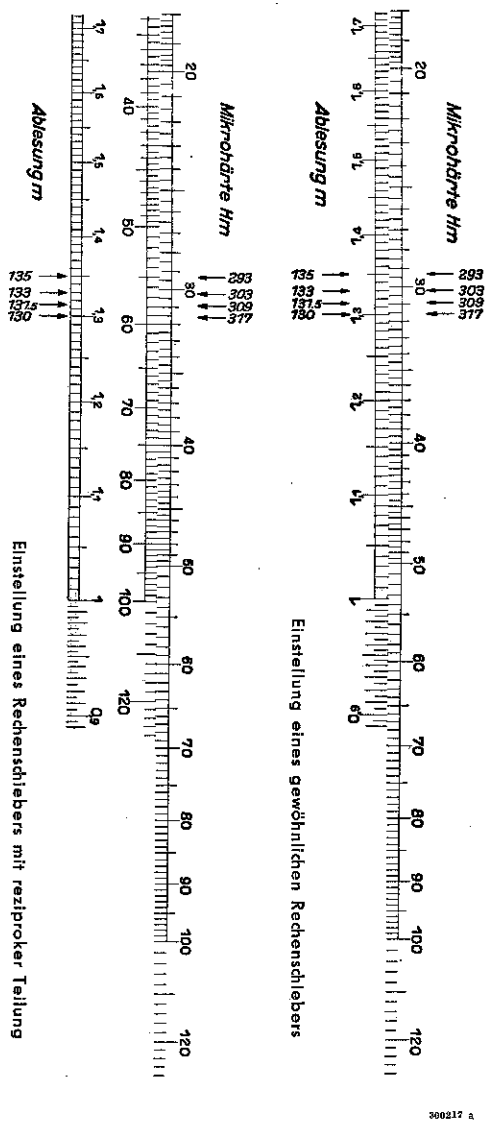


Bild 20 Bild 21

und die Eindrucksgrößen in μ gemessen werden, wird für die Rechnung die Formel (1) benutzt in der Form

$$H_m = \frac{1855\ P}{d^2}\ (\mathrm{kg/mm^2}) \quad (1a)$$

Die Diagonale des Eindrukkes ergibt sich aus Mikrometerablesung und Mikrometerwert zu

$$d = m\,\delta \quad (2)$$

Als Anhaltspunkt zur schnellen, überschläglichen Berechnung der Härtewerte und zur Kontrolle der Stellenzahl diene der Hinweis, daß der Härtewert aus (1) auch dann in richtiger Stellenzahl erhalten wird, wenn die Last in mg und die Eindrucksfläche in μ^2 eingesetzt werden; kg/mm² und mg/μ^2 sind dimensionsgleich.

Für die numerische Berechnung des Härtewertes ist eine höhere Genauigkeit als die des Rechenschiebers nicht erforderlich. Die Anwendung des Rechenschiebers für die Auswertung ist allgemein zu empfehlen. Ein Fall, in dem durch Rechenschiebergebrauch eine bedeutende Vereinfachung des Rechengangs erzielt werden kann, ist die Auswertung von großen Meßreihen, die mit

einer einzigen Prüflast ausgeführt werden. Der Härtewert ist dann umgekehrt proportional dem Quadrat der Mikrometerablesung.

Rechenbeispiel:

Für eine Trommelablesung $m = 131{,}5$ möge sich durch Rechnung ein Härtewert $H_m = 309$ kg/mm² ergeben. Auf einem Rechenschieber mit reziproker Teilung wird der Wert 131,5 auf der rückläufigen Teilung dem Wert 309 auf der quadratischen Teilung zugeordnet, wie es in Bild 20 dargestellt ist. Dann liest man über den Trommeleinstellungen 130, 133, 135 usw. die Härtewerte 317, 303, 293 usw. ab. Die bei einfachen Rechenschiebern fehlende reziproke Teilung läßt sich dadurch ersetzen, daß die Zunge auf dem Kopf stehend eingeschoben wird und dann die Ablesung wieder, wie oben beschrieben, erfolgt (Bild 21).

7.3 Ermittlung des auf den Standardeindruck reduzierten Härtewertes

Nach Schulz ist für die Mikrohärtemessung das Kicksche Ähnlichkeitsgesetz nicht erfüllt. Die Mikrohärte ist keine Materialkonstante, sondern nach dem Meyerschen Potenzgesetz auch eine Funktion der Eindrucksgröße. Es gilt die Beziehung

$$\frac{P}{d^n} = a \qquad (3)$$

Nach dem Kickschen Ähnlichkeitsgesetz müßte der Exponent $n = 2$ sein. In der Regel ist jedoch $n < 2$. Daraus folgt, daß die Härte je nach Eindrucksgröße verschieden ist. Um die damit verbundene Unsicherheit bei der Angabe des Härtewertes zu vermindern, werden die Härtewerte auf die Standardeindrucksgrößen mit den Diagonalen 5 μ, 10 μ oder 20 μ bezogen und diese Härtewerte im engeren Sinn als Mikrohärte bezeichnet. Die Symbole sind $H_{5\mu}$, $H_{10\mu}$ und $H_{20\mu}$.

Die Ermittlung dieser Härtewerte sowie des Exponenten n, dessen Wert bekannt sein muß, wenn ein Anschluß der Mikrohärtewerte an makroskopische Vickers-Härtewerte herbeigeführt werden soll, erfolgt am einfachsten graphisch. Aus (3) folgt

$$\log P = \log a + n \log d \qquad (4)$$

Werden die Werte für P und d aus einer Reihe von Härtemessungen mit verschiedenen Prüflasten ermittelt und in ein doppelt logarithmisches Netz eingetragen (Bild 22), so ergibt sich als Darstellung der Funktion (4)

eine Gerade mit der Neigung n (Meyersche Gerade). Ferner folgen aus (1) und (3):

$$H_m = k\, d^{n-2} \qquad (5)$$

und

$$\log H_m = \log k + (n-2) \log d \qquad (6)$$

In logarithmischer Darstellung ergibt dann der funktionelle Zusammenhang zwischen Härte und Eindrucksgröße eine Gerade mit der Neigung n—2.

Durch Interpolation oder Extrapolation der Meyerschen Geraden lassen sich die zu den Standardeindrucksgrößen von 5 μ, 10 μ oder 20 μ zugehörigen Prüflasten von P ermitteln, aus denen die reduzierten Härtewerte nach (1a) errechnet werden können.

Es mag zunächst unverständlich erscheinen, warum drei Standardgrößen vorgeschlagen wurden, da man durch Verlängern der Geraden in der logarithmischen Darstellung über den gemessenen Bereich hinaus stets die Härte auf nur eine Eindrucksgröße beziehen könnte. Dagegen spricht, daß die Meßpunkte wegen der Streuung nicht immer auf einer Geraden liegen. Durch das Einzeichnen der Geraden werden die Streuungen ausgeglichen. Die Fehler, die damit innerhalb des Meßbereichs gemacht werden, entsprechen ihrer Größe nach der Streuung. Verlängert man aber die Gerade über den Meßbereich hinaus, so vervielfacht ein geringer Fehler in der Richtung der Geraden den Streuungsfehler mit zunehmendem Abstand von dem gemessenen Bereich. Es ist daher ratsam, die Härte auf den Standardwert zu beziehen, der innerhalb des gemessenen Bereichs liegt. Auch eine Krümmung der Kurven in Bild 22, d. h. eine Änderung des Exponenten n, rechtfertigt das vorgeschlagene Verfahren nur in der Nähe des Meßbereichs.

Ein wesentlicher Vorteil der Aufzeichnung der Meyerschen Geraden liegt darin, daß Meßpunkte mit größerer Streuung in der logarithmischen Darstellung besser erkannt werden können als in linearer Darstellung. Diese Messungen lassen sich dann ausschalten oder nochmals nachprüfen. Ferner gibt die logarithmische Darstellung die Möglichkeit, an Stelle der Standardwerte $H_{5\mu}$, $H_{10\mu}$ und $H_{20\mu}$ nur den für 10 μ und die Steigung n der Meyer-Geraden anzugeben. Die Angabe der Mikrohärte in der Form "$H_{10\mu}$ wird von Onitsch deshalb vorgeschlagen, da es durchaus vorkommt, daß einer der Werte $H_{5\mu}$ und $H_{20\mu}$ durch Extrapolation bestimmt werden muß.

Wenn die Ergebnisse der Härtemessung statt in logarithmischen in linearen Koordinaten aufgetragen werden, so ergibt sich nur für den Exponenten $n = 2$ ein konstanter, von der Eindrucksgröße unabhängiger Härtewert.

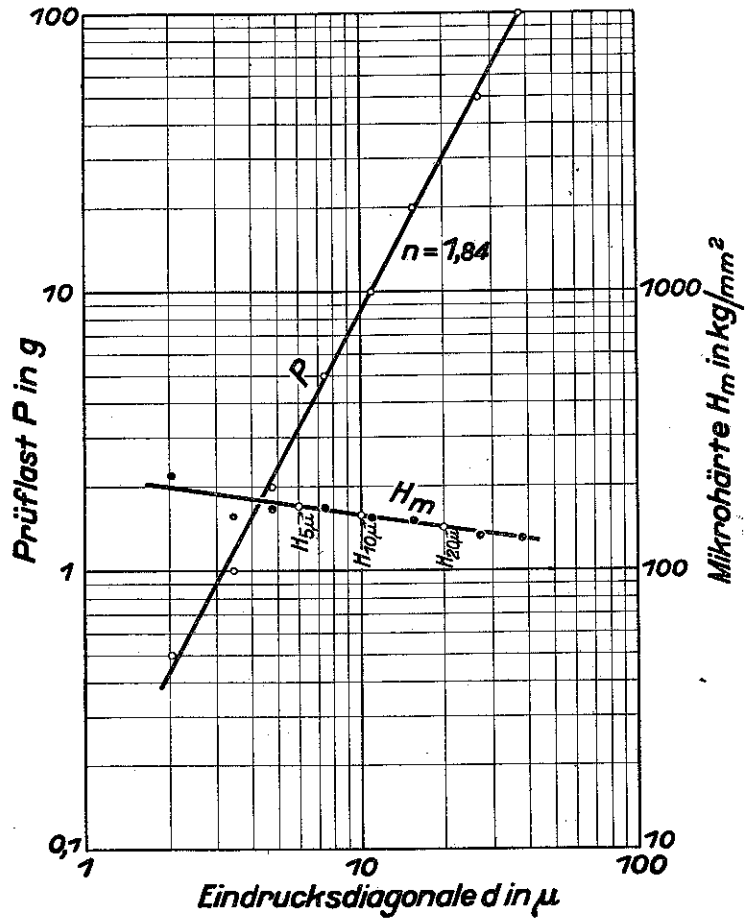


Bild 22. Auswertung des Meyerschen Potenzgesetzes in doppel-logarithmischen Koordinaten

Für Exponenten $n < 2$ ist die Kurve des Härteverlaufs eine Hyperbel (2—n)ten Grades (Bild 23).

Eine rechnerische Ermittlung der Meyer-Geraden und des Meyer-Exponenten ist ebenfalls möglich auf Grund der „Methode der kleinsten Fehlerquadratsumme". Näheres hierüber ist den Arbeiten von Mitsche und Onitsch zu entnehmen (s. Abschnitt 10).

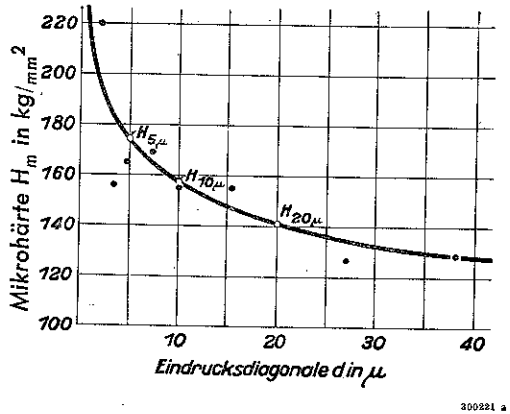


Bild 23. Darstellung der Härtekurve in linearen Koordinaten [Hyperbel (2—n)ter Ordnung]

An dieser Stelle sei ferner auf neuere Untersuchungen von R. Schulze hingewiesen, die Beziehungen zwischen Makro- und Mikrohärtebereich bekanntgeben. Das vorgeschlagene sogenannte (d + c)-Verfahren wird dem hier geschilderten Meyer-Verfahren gegenübergestellt. Nach H. Bückle ist dagegen die Ursache der Lastabhängigkeit der Mikrohärte nicht in der elastischen Rückfederung, sondern im Anschneiden des Randwulstes durch den Diamanten zu suchen. Da dieser Einfluß schwer auszuschalten ist, schlägt H. Bückle die Verwendung fester Bezugslasten vor.

7.4 Fehlergrößen der Mikrohärtemessung

Meßfehler können bei der Mikrohärtemessung entstehen infolge des

fehlerhaften Anschliffs der Pyramidenspitze
Fehlers der Lastmessung
Fehlers der Ablesung der Eindrucksgröße

Die Fehlergrößen werden bezeichnet:

Absoluter Fehlerbetrag der Lastmessung ΔP		hierdurch hervorgerufener Fehler des Härtewertes	ΔH_p
Fehler der Eindrucksgröße, hervorgerufen durch	Grenze der optischen Auflösung Δd_1		ΔH_1
	subjektiven Ablesefehler Δd_2		ΔH_2

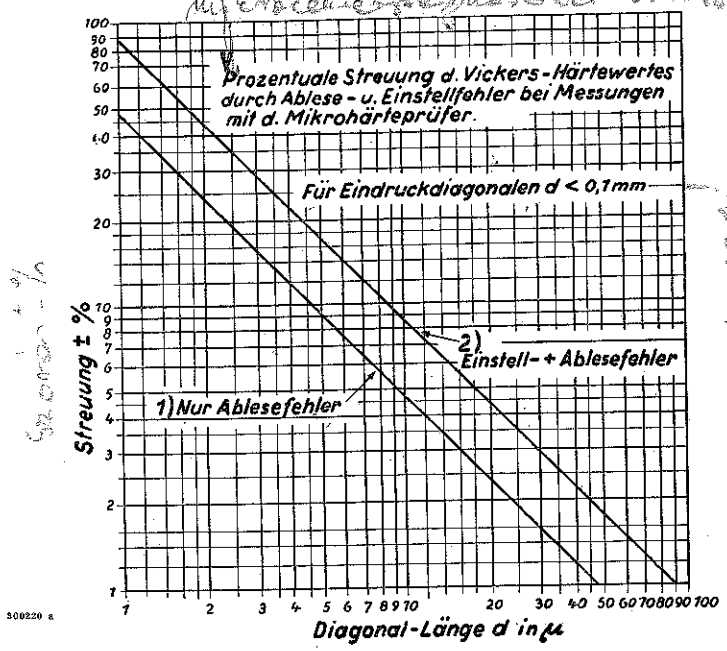


Bild 24. Prozentuale Streuung der Härtewerte, abhängig von der Diagonallänge der Eindrücke

Während nun der erste Fehler durch äußerste Genauigkeit des Pyramidenschliffs unmeßbar klein gehalten wird, dürfen die beiden anderen Fehlerquellen in ihrem Einfluß nicht vernachlässigt werden.

Der relative Fehler der Härtemessung, hervorgerufen durch den Fehler der Lastmessung, ist wegen der linearen Beziehung zwischen Prüflast und Härte

$$\frac{\Delta H_P}{H} \cdot 100\,(\%) = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100\,(\%) \qquad (7)$$

Die Grenze des optischen Auflösungsvermögens bewirkt, daß die Messung der Eindrucksgröße stets mit einem Fehler behaftet ist, der bis zur Größenordnung einer Lichtwellenlänge betragen kann. Wenngleich es nicht möglich ist anzugeben, um welchen Fehlerbetrag ein Eindruck falsch abgebildet wird, so ist doch die Wahrscheinlichkeit, daß der Fehler gleich einer Lichtwellenlänge ist, noch von Null verschieden. Wird also im ungünstigsten Fall der hierdurch erzeugte Fehler der gemessenen Eindrucksgröße zu

$\Delta d_1 = 0{,}5\ \mu$ angenommen, so folgt wegen der quadratischen Abhängigkeit zwischen Eindrucksgröße und Härte ein relativer Härtefehler:

$$\frac{\Delta H_1}{H} \cdot 100\,(\%) =$$

$$\left[\left(\frac{d + \Delta d_1}{d}\right)^2 - 1\right] \cdot 100\,(\%) \approx \frac{2\,\Delta d_1}{d} \cdot 100\,(\%) \approx \frac{1}{d} \cdot 100\,(\%) \qquad (8)$$

Es ist nun sehr bemerkenswert, daß es trotz der Auflösungsgrenze der Mikroskopoptik möglich ist, Größenunterschiede zu messen, die wesentlich unter der Auflösungsgrenze liegen. Dagegen ist es nicht mehr möglich, die Absolutgröße der Eindrücke selbst anzugeben. Die in (8) angeführte Berechnungsweise gibt also nur den Fehler an, der bei der Berechnung des Absolutwertes der Härte gemacht wird. Bei Härtevergleichen ist das begrenzte optische Auflösungsvermögen praktisch ohne Einfluß.

Der Einfluß eines subjektiven Ablesefehlers wird in gleicher Weise wie in (8) berechnet. Es ist

$$\frac{\Delta H_2}{H} \cdot 100\,(\%) \approx \frac{2\,\Delta d_2}{d} \cdot 100\,(\%) \qquad (9)$$

Der subjektive Fehler Δd_2 setzt sich zusammen aus einem durch Streuung hervorgerufenen mittleren Fehler und einer persönlichen Konstante, um die der einzelne Beobachter regelmäßig zu klein oder zu groß mißt. Die Ermittlung dieser Fehlerbeträge kann nach der Methode der kleinsten Quadrate erfolgen. Die Größe der Fehler läßt sich durch längere Übung weitgehend verringern. Im übrigen beachte man zur Fehlerbestimmung von Mikrohärtemessungen die Untersuchungen von K. Sporkert, die zu dem in Bild 24 dargestellten Ergebnis führten. Aus diesem folgt, daß Vickers-Härtewerte, die aus Pyramideneindrücken mit Diagonallängen von weniger als 10 μ gewonnen wurden, mit erheblicher Streuung behaftet sind und infolgedessen mit größter Vorsicht ausgewertet werden müssen, während größere Eindrücke ein verhältnismäßig sicheres Messen und damit auch Absolutmessungen gestatten. Die große Streuung wird nicht durch die im Gerät liegenden Fehlerquellen verursacht, sondern sie ist im wesentlichen auf die dem menschlichen Auge gezogene Grenze des Auflösungsvermögens zurückzuführen.

8. Sonderverfahren

Mit Hilfe von Mikrohärteprüfern sind in der Zwischenzeit eine Anzahl von Sonderverfahren ausgearbeitet worden. Es seien hier noch einige Hinweise aufgeführt. Eine ausführliche Zusammenstellung ist für einen später erscheinenden Sonderdruck vorgesehen.

Bestimmung von Oberflächeneigenschaften
Beobachtung innerer Spannungen
Feststellung von Kristallerholung
Orientierungsbestimmungen
Sprödigkeitsmessungen
Diffusionsmessungen in dünnen Schichten
Mikrohärte an Mineralien

9. Störungen am Mikrohärteprüfer und Maßnahmen zur Abhilfe

Störung	Ursache und Abhilfe
Bei eingeschalteter Beleuchtung erscheint weder ein Gefügebild noch ein Bild der Lastanzeige.	Schieber für die Umschaltung von Hell- auf Dunkelfeld im Vertikalilluminator steht in der Stellung „Dunkelfeld". Schieber für die Umschaltung von subjektiver Beobachtung auf Photographie steht in der Stellung „Photographie". Rauchglas ist bei Lampenbeleuchtung eingesetzt.
Bei eingeschalteter Beleuchtung erscheint nur das Bild der Lastanzeige. Ein Gefügebild läßt sich nicht erzielen.	Aperturblende ist geschlossen. Sie muß ganz geöffnet werden.
Das Bild ist nur einseitig ausgeleuchtet.	Beleuchtung im Vertikalilluminator erfolgt nicht durch das Planglas, sondern durch das Prisma. Aperturblende ist nicht zentriert.

Störung	Ursache und Abhilfe
Gefügebild und Bild der Lastanzeige sind kontrastlos.	Leuchtfeldblende ist offen. Leuchtfeldblende so weit zuziehen, daß nur das benötigte Bildfeld ausgeleuchtet ist.
Es ist nicht möglich, ein scharfes Bild des Gefüges einzustellen.	Mikrohärteprüfer Mod. D 32 wurde mit Immersionsöl benutzt.
Trotz Ausschlags der Lastanzeige entsteht kein Eindruck, oder der Eindruck trifft nicht die eingestellte Stelle.	Tischeinlegeblende ist exzentrisch, so daß Frontlinsenfassung am Rand der Blende anstößt. Kreuztisch zentrieren. Schliff ist nicht senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet. Schliff ausrichten.
Abbildungsfehler des Bildes der Lastanzeige, die sich durch Verstellen der Scharfeinstellung und der Nullpunkteinstellung nicht beheben lassen.	Mikrohärteprüfer ist durch Stoß oder Überbeanspruchen der Federaufhängung dejustiert. Er muß zur Reparatur eingesandt werden.
Die Bewegung der Lastanzeige hängt. (Zum Vergleich: Solange Härteprüfer in Ordnung und Objektiv nicht hängen bleibt, muß das Skalenbild bei Erschütterungen, z. B. Anklopfen am „Neophot", frei schwingen und ein wenig zittern.)	Abhilfe ist nur in unserem Werk möglich. Gerät einsenden.
Beschädigungen am Diamanten.	Diamant muß ersetzt werden. Gerät einsenden.
Höhenversetzung der Strichplatten des Okularmikrometers macht die Fadenkreuzstellung unmöglich.	Okular ist durch Stoß dejustiert. Es muß zur Reparatur eingesandt werden.

Störung	Ursache und Abhilfe
Die Eindrücke haben eine längliche Form und erscheinen in der Hochrichtung des Bildes mehr oder weniger gewischt. Die Erscheinung liegt nicht an fehlerhaftem Anschliff des Diamanten, wenn die Längsrichtung der Eindrücke beim Drehen des Mikrohärteprüfers erhalten bleibt.	Durch langdauernden Gebrauch des „Neophots" ist die Führung des Grobtriebs abgenutzt, so daß beim Absenken des Tischträgers der Tisch zusätzlich seitliche Bewegungen ausführt. Belastungsbewegungen nur mit dem Feintrieb ausführen. „Neophot"-Stativ zum Nachpassen der Führung einsenden.
Nullpunkt der Trommelablesung stimmt nicht mit der Meßquadratgröße Null überein.	Abhilfe ist nur in unserem Werk möglich. Okular einsenden.

10. Schrifttumsverzeichnis

Bergsmann, E. B.: Nägot om Mikrohardhetsmätning. Jernkont. Ann. **128** (1944) Nr. 3, S. 81—104.

Bergsmann, E. B.: Micro-Hardness Testing, description of a technique developed in Sweden. Metal Industr., London **69** (1946) Nr. 6, S. 109—112.

Bergsmann, E. B.: Ein einfacher Mikrohärteprüfapparat mit vielen praktischen Verwendungsmöglichkeiten. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. **14** (1948) Nr. 10, S. 294—299.

Bergsmann, E. B.: A simple accurate microhardness testing device. Metal Progr. **54** (1948) Nr. 2, S. 183—188.

Bernhardt, E. O.: Der Zeiss-Mikrohärteprüfer: seine optischen Systeme. Zeiss-Nachr. **3** (1940) Nr. 8, S. 280—286.
Desgl. Zeiss-Nachr. **3** (1940) Nr. 9, S. 267—291.

Bernhardt, E. O.: Die Mikrohärteprüfung. Anwendungsbeispiele aus der Technologie der Kaltverformung. Z. d. VDI **84** (1940) Nr. 39, S. 733—736.

Bernhardt, E. O.: Über die Mikrohärte der Feststoffe im Grenzbereich des Kickschen Ähnlichkeitssatzes. Z. f. Metallkde. **33** (1941) Nr. 3.

Bischof, W. u. Wenderott, B.: Anwendbarkeit und Grenzen der Mikrohärteprüfung. Arch. Eisenhüttenwes. **15** (1941/42) Nr. 11, S. 497—505.

Braun, A.: Les anomalies dans le domaine des microduretés. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. **19** (1953) Nr. 3, S. 67—78.

Bückle, H.: Diffusionsmessungen mit Hilfe des Mikrohärteprüfers. Z. f. Metallkde. **34** (1942) S. 130—133.

Bückle, H.: Die Diffusion von Kupfer, Magnesium, Mangan, aus Silicium in Aluminium. Z. f. Elektrochem. **49** (1943) S. 238—242.

Bückle, H.: Erfahrungen mit dem Mikrohärteprüfer nach Hanemann. Zeiss-Nachr. **5** (1944) S. 93—100.

Bückle, H.: Löslichkeitsbestimmungen mit Hilfe der Mikrohärteprüfung. Z. f. Metallkde. **37** (1946) S. 43—47.

Bückle, H.: Mikrohärteuntersuchungen an übersättigten Aluminium-Mangan-Legierungen. Z. f. Metallkde. **43** (1952) S. 82—89.

Bückle, H.: Ein Nomogramm für die Mikrohärteprüfung. Mikroskopie, Wien **4** (1949) Nr. 5/6, S. 183—186.

Bückle, H.: Untersuchungen über die Lastabhängigkeit der Vickers-Mikrohärte, I u. II. Z. f. Metallkde. **45** (1954) Nr. 11, S. 623—632 u. Nr. 12, S. 694—701.

Bückle, H. u. Keil, A.: Diffusionsmessungen in dünnen Schichten mit Hilfe der Mikrohärte und der lokalen Spektralanalyse. Mikroskopie, Wien **4** (1949) Nr. 9/10, S. 266—276.

Dinner: Mikrohärteprüfung. Öst. Maschinenmarkt, Elektrowirtsch. **4** (1949) Nr. 1/2, S. 6—10.

Girschig, M. R.: Un nouvel appareil de microdureté le „Microsclérometer L.-C." Rev. Métallurg. **43** (1946) Nr. 3/4, S. 95—112.

Girschig M., R.: The micro-sclerometer, a new micro-hardnesstester. Metallurgia, Manchester **36** (1947) Nr. 215, S. 269—273.

Gogoberidse, D. B., Kopatzki, N. A. u. Sachow, W. B.: Zur Frage über den Einfluß oberflächenaktiver Stoffe auf die Meßresultate der Härte und Mikrohärte beim Eindruck und der Dehnungsgrenze. Z. f. physik. Chem. **27** (1953) Nr. 4.

Grodzinski, P.: Härteprüfung sehr harter Werkstoffe. Feinwerk-Techn. **54** (1950) Nr. 12, S. 317—321.

Grodzinski, P.: Neuere Entwicklung in der Mikro-Härteprüfung. Härtereitechn. Mitt. **6** (1950) S. 31—53.

Hanemann, H. u. Bernhardt, E. O.: Ein Mikrohärteprüfer. Z. f. Metallkde. **32** (1940) Nr. 2, S. 35—38.

Hanemann, H.: Bestimmung der Härte des Martensits und Austenits mit dem Mikrohärteprüfer. Arch. Eisenhüttenwes. **15** (1941/42) Nr. 9, S. 403—406.

Hengemühle, W.: Härteprüfung. In: Siebel, E.: Handb. d. Werkstoffprüfung, Bd. 2. Berlin: Springer 1939. S. 326—358.

Klemm, W.: Über die Bildung von Diamanteindrücken in Glasflächen. Glastechn. Ber. **19** (1941) S. 386—390.

Knoop, F., Peters, C. G. u. Emerson, W. B.: J. Res. Nat. Bur. Stand. **23** (1939) S. 39.

Khrushchov, M. M. u. Berkovich, E. S.: The hardness of diamond. Industr. diamond rev. **11** (1951) Nr. 123, S. 42—44.

Lips, E. M. H.: Härtemessung an Gefügebestandteilen. Z. f. Metallkde. **29** (1937) Nr. 10, S. 339—340.

Longard, K.: Das elektrolytische Ätzpolieren von Metalloberflächen und seine Bedeutung bei der Mikrohärteprüfung. Arch. f. Metallkde. **11** (1949) S. 381.

Lysaght, V. E.: New developements in hardness testing. Metallurgia, Manchester **33** (1946) Nr. 196, S. 210—212.

Meincke, H.: Static indentation hardness with indenters indicating direction. Industr. diamond rev. **11** (1951) Nr. 123, S. 37—41.

Mitsche, R. u. Onitsch, E. M.: Neue Schnellarbeitsstähle. Berg- und Hüttenm. Mh. **92** (1947) Nr. 1/3, S. 13—25.

Mitsche, R. u. Onitsch, E. M.: Über die Mikrohärte der Mineralien. Mikroskopie, Wien **3** (1948) Nr. 9/12, S. 257—309.

N. N.: Il metodo Knoop per la misuea della deruza. Alluminio **17** (1948) Nr. 3/4, S. 185—188.

Nitsche, R.: Über die Härteprüfung und ihre Anwendung bei Kunststoffen. Kunststoffe **41** (1951) Nr. 8, S. 245—246.

Onitsch, E. M.: Über die Mikrohärte der Metalle. Mikroskopie, Wien **2** (1947) Nr. 5/6, S. 131—151.

Onitsch, E. M.: Über die Mikrohärte der Metalle und Mineralien. Berg- und Hüttenm. Mh. **93** (1948) Nr. 1/3, S. 7—12.

Onitsch, E. M.: Der heutige Stand der Härteprüfung von Mineralien. Berg- und Hüttenm. Mh. **95** (1950) Nr. 1, S. 12—14.

Ramsthaler, P.: Über einen neuen Mikrohärteprüfer. Mikroskopie, Wien **2** (1947) Nr. 9/12, S. 345—352.

Ramsthaler, P.: A new micro-hardness tester. Microtechn. **2** (1948) Nr. 5, S. 207—211.

Rapp, A. u. Hanemann, H.: Mikrohärte-Messungen an Gefügebestandteilen von Lagermetallen. Z. f. Metallkde. **33** (1941) Nr. 2, S. 64—67.

Schulz, H.: Optische Hilfsmittel bei der Bestimmung der Mikrohärte. Schweiz. Arch. (Jan. 1954) S. 24—29.

Siebel, J.: Über die Anwendbarkeit der Mikrohärteprüfung als diagnostisches Hilfsmittel in der Erzmikroskopie. Metall u. Erz **40** (1943) Nr. 11/12, S. 169—174.

Smith, G. S.: A new scale of hardness. Engr. **188** (1949).

Smith, R. L. u. Sandland, G. E.: Some notes on the use of a diamond pyramid of hardness testing. J. Iron Steel Inst. **11** (1925) S. 285—294.

De Sy und Haemers: Stahl u. Eisen **61** (1941) S. 185—187.

Schulz, F. u. Hanemann, H.: Die Bestimmung der Mikrohärte von Metallen. Z. f. Metallkde. **33** (1941) Nr. 3.

Schulze, R.: Belastungsabhängigkeit der Vickers-Mikrohärte. Feinwerktechn. **55** (1951) S. 190—195.

Späth, W.: Physik und Technik der Härte und Weiche. Berlin: Springer 1940.

Späth, W.: Der Einfluß von Oberflächenfilmen auf die Härtemessung. Metalloberfläche A **6** (1952) Nr. 11, S. A 161—163.

Späth, W.: Zur Abhängigkeit der Härte von der Prüflast. Metalloberfläche A **7** (1953) Nr. 3, S. A 39—40.

Sporkert, K.: Bedingungen für genaues Ausmessen von Härteprüfeindrücken. Z. f. Metallkde. **30** (1938) Nr. 6, S. 199—201.

Sporkert, K.: Beitrag zur Fehlerbestimmung von Mikrohärtemessungen. Zeiss-Nachr. **6** (1945) S. 252—256.

Sporkert, K.: Ein neuer Härteprüfer für das Laboratorium. Maschinenbau/Der Betrieb **17** (1938) Nr. 19/20, S. 527—529.

Tarasov, L. P.: The micro-hardness of carbides in toolsteels. Metal Progr. **54** (1948) Nr. 6, S. 846—847.

Tate, D. R.: A comparision of micro-hardness indentation tests. Trans. Amer. Soc. Metals **35** (1945) S. 374—389.

Taylor, E. W.: Micro-hardness testing of metals. J. Inst. Metals **74** (1948) Nr. 10, S. 493—500.

Tertsch, H.: Beobachtungen über Vickers-Mikrohärte am Kalkspat. Mikroskopie, Wien **5** (1950) Nr. 7/8, S. 179—183.

Tertsch, H.: Festigkeitserscheinungen an Kristallen. Wien: Springer 1949.

Weingraber, H. von: Die Härteprüfverfahren und ihre Fehlerquellen. Metallwirtsch. **19** (1940) Nr. 1, S. 255—260.

Weingraber, H. von: Technische Härtemessung. München: Hauser 1952.

TRPI-Nr. 14/55

CARL ZEISS
JENA

Druckschriften-Nr. CZ 30-G 676 b-1

A 100/55 DDR 2 855 V/10/1 2196