

**aus Jena**

# **Mikrohärte-Prüfeinrichtung D32**

**Gebrauchsanleitung**

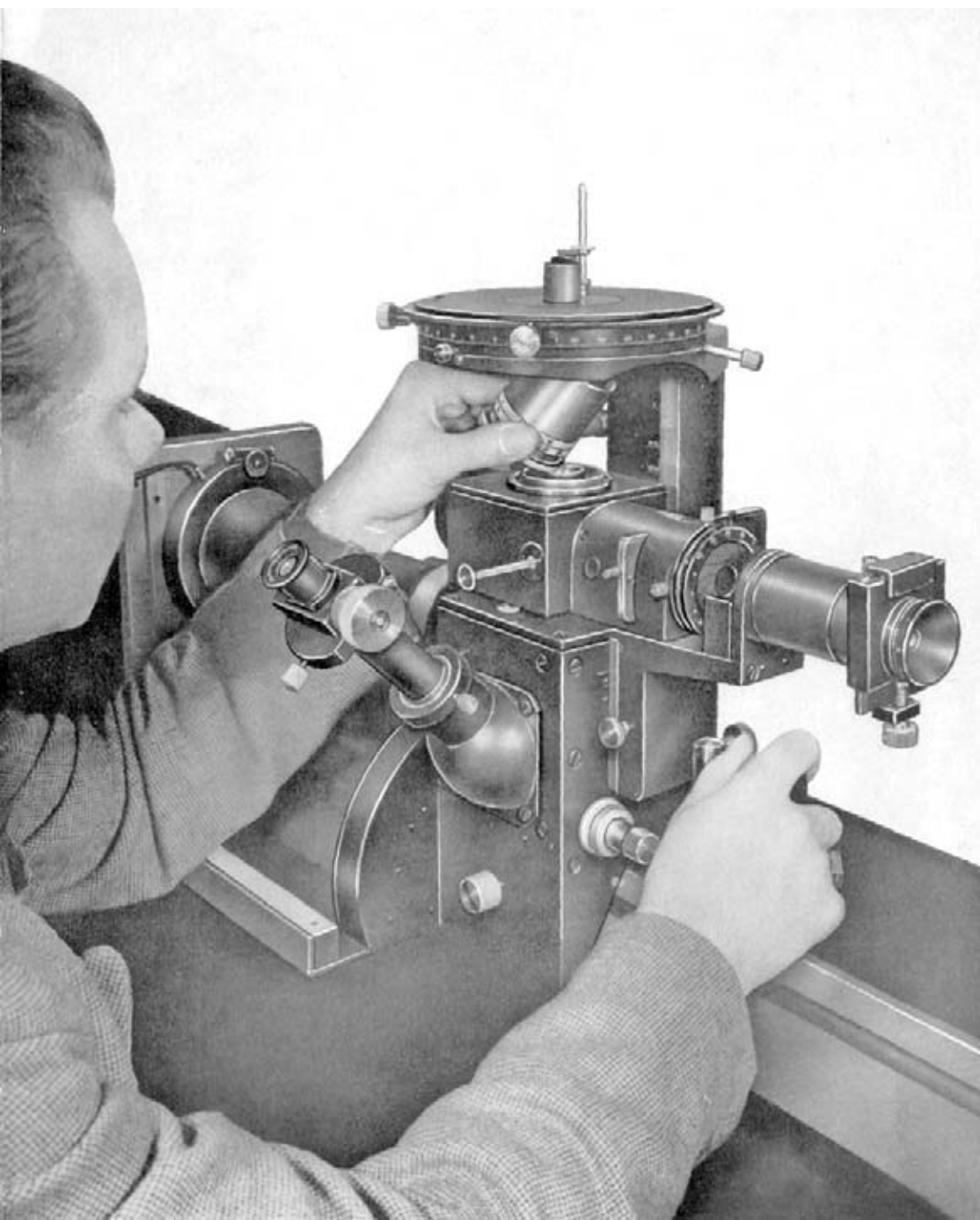
Die Bilder sind nicht in allen Einzelheiten für die Ausführung der Geräte maßgebend. Für wissenschaftliche Veröffentlichungen stellen wir Reproduktionen der Bilder — soweit sie vorhanden sind — gern zur Verfügung. Die Wiedergabe von Bildern oder Text ohne unsere Genehmigung ist nicht gestattet. Das Recht der Übersetzung ist vorbehalten.

# **Mikrohärte-Prüfeinrichtung D32**

---

**Gebrauchsanleitung**





# Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Besondere Hinweise .....	5
2. Beschreibung der Geräte .....	6
2.1 Mikrohärteprüfgerät D 32 .....	6
2.2 Meßokular .....	8
2.3 Meßbereich .....	9
2.4 Gesamtausrüstung .....	10
3. Behandlung .....	10
4. Vorbereitende Arbeiten .....	11
4.11 Aufsetzen des Mikrohärteprüfgerätes am »Neophot« .....	11
4.12 Aufsetzen des Mikrohärteprüfgerätes am »Epityp 2« .....	13
4.2 Justieren der Kraftanzeige .....	14
4.3 Eichen der Kraftanzeige .....	14
4.4 Bestimmen des Teilungswertes .....	16
4.5 Zentrieren der Eindrücke nach einem Probeeindruck .....	16
5. Ausführung der Härtemessung .....	18
5.1 Vorbereiten der Schilfe .....	18
5.2 Wählen der Prüfkraft .....	22
5.3 Erzeugen der Prüfeindrücke .....	23
5.4 Ausmessen der Prüfeindrücke .....	26
5.41 Wählen der Optik .....	26
5.42 Einstellen auf Schliffoberfläche .....	27
5.43 Eigentliches Ausmessen .....	28
5.431 Flächenmessung .....	28
5.432 Diagonalenmessung .....	30
6. Zusammenstellung der Arbeitsgänge .....	31
7. Auswertung .....	33
7.1 Bezeichnungsweise .....	33
7.2 Berechnung des nichtreduzierten Härtewertes .....	33
7.3 Ermittlung des auf den Standardeindruck reduzierten Härtewertes .....	36
7.4 Fehlergrößen der Mikrohärtemessung .....	39
8. Anwendung der Mikrohärte .....	40
9. Störungen am Mikrohärteprüfgerät und Maßnahmen zur Abhilfe ....	41
10. Schriftumsverzeichnis .....	43

## 1. Besondere Hinweise

Das Mikrohärteprüfgerät ist ein Präzisionsinstrument, 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 Verhaltensmaßregeln:

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

Zerlegen des Härteprüfgerätes führt unweigerlich zu einer vollkommenen Dejustierung, die nur in unserem Werk behoben werden kann, meist unter erheblichen Kosten. Falls infolge falscher Handhabung Störungen am Härteprüfgerät 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 Kraftanzeigeskale hinaus belasten.

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

Bei der Betätigung von Fein- und Grobtrieb **stets Kraftanzeigeskale 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 Mikrohärteprüfgerät D 32

Praktisch durchführbar ist das Verfahren der Mikrohärteprüfung erst, seit die erforderliche Treffsicherheit des Härtemeßeindrucks mit unserem Mikrohärteprüfgerät 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 Härteprüfgerät und Objektiv.

Die Bauweise des Mikrohärteprüfgerätes nach Hanemann geht aus Bild 1 hervor. Die Diamantpyramide ist in der üblichen Form der vierseitigen Vickers-Pyramide mit einem Pyramiden-Böschungswinkel von  $\beta = 22^\circ$  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 32x/0,65, ist jedoch entsprechend der Ausblendung der mittleren Partie für einen besonders guten Korrekturzustand der Randzone berechnet.

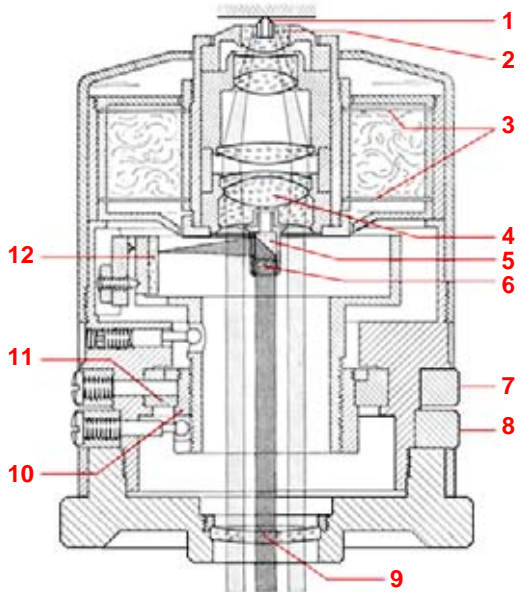
Weiterhin ist das Härteprüfgerät mit einer optischen Vorrichtung zur Anzeige der Prüfkraft versehen. Das Objektiv ist nicht fest am Gerät angebracht, sondern hängt frei in zwei Scheibenringfedern (3), die das Objektiv reibungsfrei parallel zur optischen Achse führen. Eine Prüfkraft, die am Diamanten wirkt, läßt die Aufhängung durchfedern; der Hub stellt ein Maß für die Größe der Prüfkraft dar. Zum Messen dieser Bewegung dient ein zweites optisches System, das Hilfsobjektiv (6), das am Hinterglied des Objektivs (4) im optisch nichtausgenützten Mittelfeld der Austrittspupille angebracht ist; es erhält sein Licht wie das eigentliche Objektiv vom Mikroskop her. Mit dem Spiegel (5) versehen, beleuchtet es die Skale (72) 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 Prüfkraft wird daher als ein Auswandern des Bildes der Skale im Okular abgelesen. Der Ausschlag der Kraftanzeigeskale läßt sich eichen und ermöglicht dann eine genaue Feststellung und Bemessung der wirksamen Prüfkraft.

Die Vorrichtung zur optischen Kraftanzeige ist mit zwei Justierbewegungen ausgerüstet, eine zur Höhenverstellung des Nullpunktes der Skale, die andere zum Einstellen der Bildschärfe des Skalenbildes. Die Justierbewe-



Bild 1  
Schnitt (schematisch)  
und Strahlengang des  
Mikrohärteprüfgerätes 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 Nullpunkt-  
einstellung
- 11 Exzenterring der Scharf-  
einstellung
- 12 Kraftanzeigeskale



gungen 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.

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 Mikrohärteprüfgerätes D 32 sind:

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

## 2.2 Meßokular

Das Meßokular (Bild 2) ähnelt in seiner Bauweise dem normalen Meßschraubenokular.

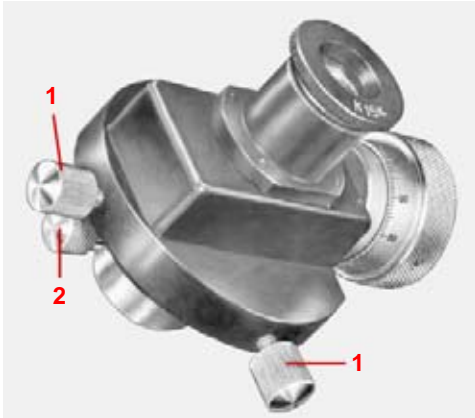


Bild 2  
Meßschraubenokular  
des Mikrohärteprüfgerätes  
1 Zentrierschrauben  
2 Klemmschraube

Von diesem weicht es in der Zentrierbarkeit des Okulars am Tubus und der Ausführung der Strichplatten ab. Es besitzt zwei Strichplatten (eine fest stehende und eine verschiebbare), die mit je einer Winkelfigur versehen sind. In seiner Nullstellung ergänzen sich beide Figuren zu einem Faden-

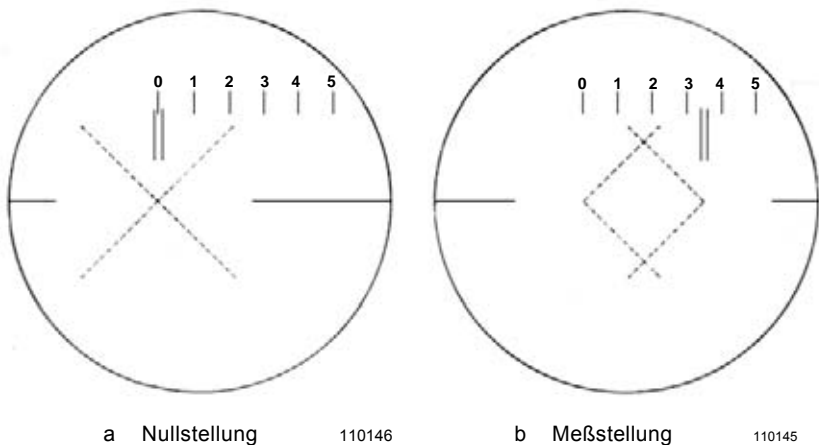


Bild 3. Strichfigur des Meßokulars

kreuz (Bild 3a), in jeder anderen Meßstellung bilden sie ein Quadrat (Bild 3b) und dienen so zum Ausmessen der quadratischen Eindrücke. 1 ganze Trommelumdrehung (= 100 Intervalle) entspricht 1 Intervall der Meßokular- teilung. Die optische Ausrüstung des Meßschraubenokulars besteht aus einem Kompensations-Okular K15x. Wegen der gegenüber den normalen Okularen abweichenden Lage der Blende des Meßokulars ist an Stelle des normalen Okulartubus der mitgegebene, um 27 mm kürzere Tubus einzusetzen.

### 2.3 Meßbereich

Der Meßbereich des Mikrohärteprüfgerätes ist im wesentlichen begrenzt, einerseits durch die Empfindlichkeit der Kraftanzeige sowie durch die Seh- fähigkeit und Übung des Benutzers, andererseits durch das Auflösungs- vermögen des Objektivs, mit dem das Ausmessen des Prüfeindrucks ge- schieht. Die Größe der Kristalle spielt ebenfalls eine ausschlaggebende Rolle.

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



Bild 4  
Gesamtausrüstung der  
Mikrohärte-Prüfeinrichtung D 32  
für »Neophot«

- 1 Mikrohärteprüfgerät
- 2 Stiftschlüssel
- 3 Kurzer Tubus
- 4 Stufengewicht 5 p
- 5 Einlegeblende
- 6 Gewichtssatz 5, 15, 45, 95 p
- 7 Meßschraubenokular

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 bekannt geworden wäre.

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

## 2.4 Gesamtausrüstung

Die Mikrohärte-Prüfeinrichtung D 32 ist mit sämtlichem Zubehör in einem Holzbehälter untergebracht (Bild 4). Bei Nichtgebrauch des Gerätes wird die Aufbewahrung im verschlossenen Behälter empfohlen, um Beschädigungen und Verschmutzungen zu vermeiden.

## 3. Behandlung

Das Mikrohärteprüfgerät 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. Nejustierungen sind aber 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 das Härteprüfgerät ein.



Bild 5 Reinigen der Frontlinse

300235a

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

Am Okular sind auch nur die von außen zugänglichen Flächen der Optik zu säubern. 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.

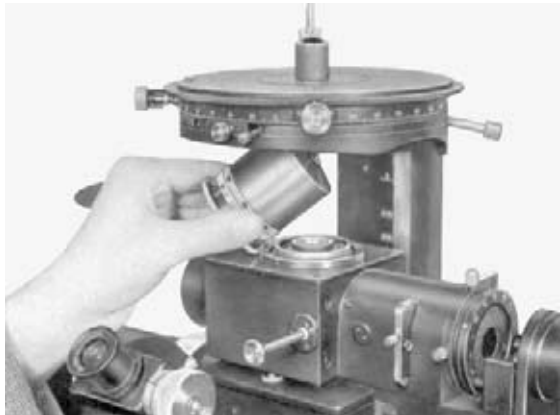
## 4. Vorbereitende Arbeiten (Bildtafel 1)

### 4.11 Aufsetzen des Mikrohärteprüfgerätes am »Neophot«

Das Mikrohärteprüfgerät wird am »Neophot« auf den Vertikalilluminator an Stelle eines normalen Objektivs aufgesetzt, nachdem der Kreuztisch in seine höchste Stellung gebracht worden ist. Hierzu führt man das Gerät 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.

Bild 6  
Aufsetzen des  
Mikrohärteprüfgerätes  
auf den Vertikalilluminator  
des »Neophot«

300216 a



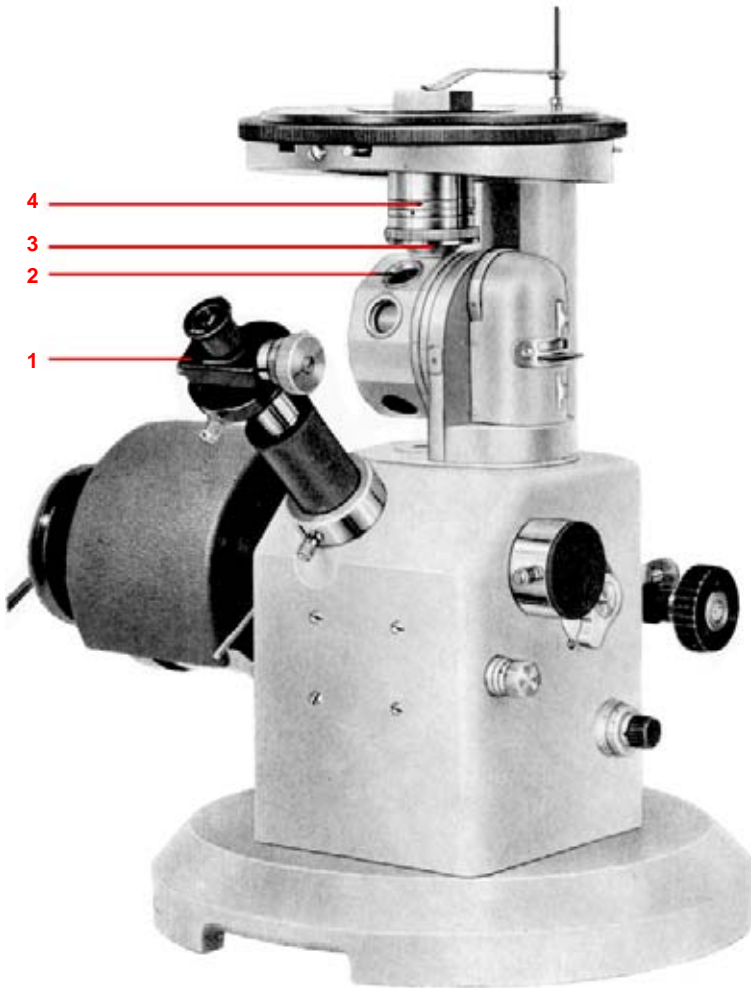


Bild 7. Auflichtmikroskop »Epityp 2« mit aufgesetzter Mikrohärte-Prüfeinrichtung

1 Meßschraubenokular

3 Zwischenplatte

2 Objektivrevolver

4 Mikrohärteprüfgerät

## 4.12 Aufsetzen des Mikrohärteprüfgerätes am »Epityp 2«

Tischplatte durch Heben des Tischträgers mit dem Grobtrieb in die höchste Lage bringen und am Objektivrevolver (2 Bild 7) etwa vorhandene Objektive abschrauben. Zwischenplatte (3) in eine Objektivöffnung des Revolvers einschrauben. Dann Mikrohärteprüfgerät (4) aus der Kapsel nehmen und schräg, mit dem Diamanten voran, unter dem Tischträger einführen und dort senkrecht auf die Zwischenplatte setzen. Den kurzen monokularen Tubus 23,2/91 anbringen und Meßschraubenokular (1) aufsetzen. Beim Gebrauch des Härteprüfgerätes muß das »Epityp 2« bzw. »Neophot« möglichst schwingungsfrei aufgestellt sein.

Das Objektiv des Härteprüfgerätes ist in zwei ziemlich weichen Federn aufgehängt, die auf Erschütterungen recht empfindlich ansprechen. Die Schwingungen machen sich bemerkbar sowohl als periodische Unschärfen des beobachteten Gefügebildes als auch als Auf- und Abschwngen des Bildes der Kraftanzeigeskale. Sie sind zwar infolge der Dämpfung soweit wirksam unterdrückt, daß sie unter normalen Verhältnissen nicht stören. Unter ungünstigen Umständen können jedoch die Erschütterungen eine Resonanz haben, die mit der Eigenfrequenz des Härteprüfgerätes 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.

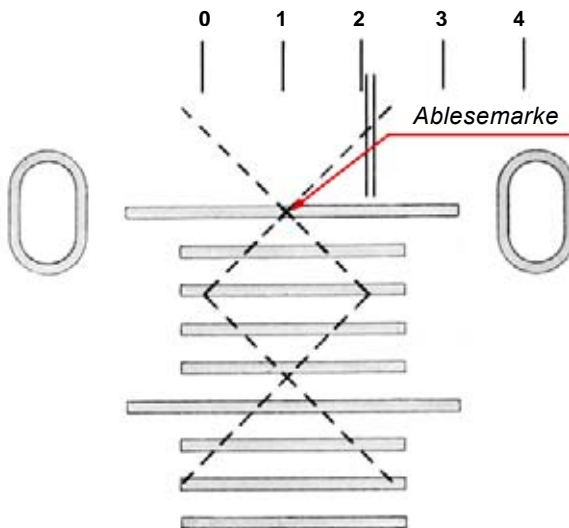


Bild 8  
Ablesemarke für die Kraftanzeige  
im Okular

## 4.2 Justieren der Kraftanzeige

Nachdem das Meßokular in den ausgewechselten kürzeren Okularstutzen eingesetzt und in richtiger Stellung (Meßtrommel rechts) am Tubus festgeklemmt ist, wird bei eingeschalteter Beleuchtung bereits im Okular die Skale der Kraftanzeige zu erkennen sein. Durch Drehen des Härteprüfers ist das Skalenbild zunächst aufrecht zu stellen und dann durch Betätigen des oberen Ringes das Bild der Kraftanzeigeskale im Okular auf beste Schärfe einzustellen. Zweckmäßig hält man hierbei das Härteprüfgerät 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 8). Als Ablesemarke dient dann der obere Eckpunkt des Meßquadrates, der sich in seiner Höhenlage leicht mit großer Genauigkeit durch Betätigen der Meßtrommel des Meßschraubenokulars verstellen läßt.

## 4.3 Eichen der Kraftanzeige

Die Kraftanzeige wird durch Aufsetzen eines Satzes von geeichten Gewichten auf die Frontlinsenfassung des Härteprüfgerätes festgelegt.

Es ist hierbei zu berücksichtigen, daß die Prüfkraft des Härteprüfgerätes in der Spitze der Diamantpyramide, also genau in der optischen Achse wirkt. Darum sind Vorkehrungen zu treffen, daß auch die Kraftwirkung 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 Bestimmung unsicher machen.

Das Aufbringen der Eichgewichte geschieht daher in folgender Weise: Zunächst wird die mitgelieferte Tischeinlegeblende (5 Bild 4) in den Objektisch des »Neophot« bzw. des »Epityps 2« gesetzt und nach Augenmaß zum Härteprüfgerät zentriert. Nunmehr hängt man das Stufengewicht 5 p (4) in die Öffnung der Tischblende ein und setzt es durch Absenken des Objektisches 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 beim Einsetzen der Zusatzgewichte in das Stufen-



gewicht 5 p (Bild 9). Sie sind mit Zentrierungen versehen, die in das Stufengewicht passen, und ergänzen sich mit diesem zu 10, 20, 50 und 100 p. Die Ausschläge der Kraftanzeige liest man an der Ablesemarke im Okular ab, dabei sind die Zehntelteilstriche zu schätzen. Der Zusammenhang zwischen der aufgebrachten Last und dem Ausschlag der Kraftanzeige muß als Kurve 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 Prüfkraft gehörigen Kraftanzeige.

Eine Tabelle, in der die gebräuchlichsten Prüfkraft und Kraftanzeigen zusammengestellt sind, kann gute Dienste leisten.



Bild 9  
Eichen der Kraftanzeige  
durch Aufsetzen  
von Eichgewichten

Das Nachprüfen der Kraftanzeige wird nur in größeren Zeitabständen und vor besonders genauen Messungen erforderlich sein. Es soll der Feststellung dienen, wie weit die Federkonstante der Kraftanzeige sich verändert hat. Um dem Setzen der Federn zu begegnen, soll das Härteprüfgerät, 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 Teilungswertes

Um die Diagonallänge der Eindrücke festzustellen, werden diese ausgemessen. Die hierfür notwendige Bestimmung des Teilungswertes des Meßschraubenokulars ist selbstverständlich für jedes zum Ausmessen be-

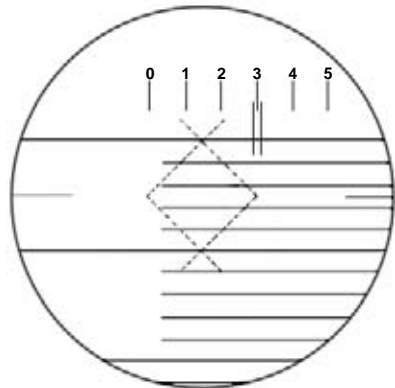


Bild 10  
Bestimmung des Teilungswertes  
des Meßokulars

nutzte Objektiv, also hier für das Mikrohärteprüfgerät selbst, sowie für die Achromate und die Planachromate (vgl. Abschnitt 5.41), vorzunehmen. Zu diesem Zweck wird in bekannter Weise ein Objektmaßstab in Hundertstelmillimeter auf den Objektstisch gelegt und das Bild der Teilung im Okular ausgemessen.

Beispiel (Bild 10): Bestimmung des Teilungswertes für Achromat 60x/0,95. 5 Teilstriche oder 50  $\mu\text{m}$  des Objektmaßstabs entsprechen einer Trommelablesung von 308 Teilstrichen. Dann ist der Teilungswert des Meßokulars  $\delta = 0,1625$ , d.h., 1 Teilstrich entspricht 0,1625  $\mu\text{m}$  der Diagonalen (willkürlich gewählte Zahlenwerte!).

#### 4.5 Zentrieren der Eindrücke nach einem Probeindruck

(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 Objektstisch gelegt, den man außerdem zuvor nach Augenmaß mit Hilfe der Objektstischbewegung in die Mitte coaxial zum Mikrohärteprüfgerät rückt. Falls mit Prüfkraft zu arbeiten ist, die das Eigengewicht der Probe übersteigen, ist die Probe in bekannter Weise mit einer Tischfeder festzuhalten.

Bevor man eine Gefügebeobachtung vornimmt, 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 stetigem Beobachten 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 darunter liegen, fällt das abzubildende Objekt in den ausgeblendeten Mittelbereich des beleuchtenden Strahlenkegels. Deshalb 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 Kraftanzeigeskala. Diese wird aber sofort wieder sichtbar, sobald die Ausleuchtung des Objektes bei Annähern oder Entfernen vom Objektiv aufgehoben ist. Es ist also zu beachten, daß das Objekt nur für einen kurzen Augenblick in voller Helligkeit erscheint, wenn man den Tisch senkt. Diesen Augenblick darf man keinesfalls übersehen, da sonst die Gefahr besteht, daß das Objekt stoßweise auf den Diamanten aufgesetzt wird und empfindliche Teile des Härteprüfers beschädigt werden.

Die obenangeführte Vorschrift ist so zu verstehen, daß man das Härteprüfergerät nur mit ganz geöffneter Aperturblende benutzen soll. Bei teilweise geschlossener Aperturblende ist der allein wirkungsvolle 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 Vorsichtsmaßnahmen wird nun das Gefügebild scharf eingestellt sowie eine größere, nicht zu dunkel geätzte Gefügestelle ausgesucht und mit Hilfe des Objektisches in Bildmitte gerückt. Darauf senkt man den Tisch weiter, bis das Gefügebild verschwunden ist und das Bild der Kraftanzeigeskala deutlich erscheint. In dieser Stellung ist die Ablesemarke des Okulars auf den Nullstrich der Kraftanzeigeskala einzustellen (Bild 8). Die Belastung wird beim »Neophot« zweckmäßig mit dem Grobtrieb ausgeführt. Nur letzte Feinheiten, etwa in der Größenordnung von 1 Intervall der Kraftanzeigeskala, stellt man besser mit dem Feintrieb ein. Beim »Epityp 2« ist der Eindruck grundsätzlich mit dem Feintrieb auszuführen.

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 Prüfkraft zunächst belanglos. Es genügt, wenn eine Kraft gewählt wird, die die Skala um

einige Teilstriche auswandern läßt. Nachdem so ein erster Eindruck erzeugt ist, entlastet man das Härteprüfgerät durch langsames Zurückdrehen des Triebes wieder und entfernt das Objekt so weit vom Objektiv, 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 bzw. die Ecke der festen Winkelmarke genau mit dem Bild der Pyramidenspitze des Eindruckes zusammenfällt. Vorher ist das Okular — nach Lösen seiner Klemmschraube (2) — derart zu drehen, daß die Meßschenkel des Fadenkreuzes parallel zu den Quadratseiten des Eindruckes verlaufen.

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

Vor jeder Belastung ist die Nullstellung der Kraftanzeige durch entsprechendes Betätigen der Einstelltrommel des Meßokulars nach Bild 8 herzustellen.

## **5. Ausführung der Härtemessung (Bildtafel 1)**

### **5.1 Vorbereiten der Schlitze**

Für die Herrichtung der Proben zu den Härtemessungen gelten grundsätzlich die gleichen Regeln wie für die Herstellung metallographischer oder petrographischer Anstriebe. Es ist besonders auf Kratzerfreiheit und Ebenheit zu achten. Es sind um so höhere Ansprüche an die optische Oberflächenqualität zu stellen, je kleiner die erzeugten und auszumessenden Eindrücke sind.

Die Beleuchtung und Abbildung geschieht bei der Optik des Härteprüfgerätes nur unter großen Aperturwinkeln, während die unter kleinen Aperturwinkeln verlaufenden Strahlen ausgeblendet sind. Die Bildgüte des Mikrohärteprüfgerätes 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 Mikrohärteprüfgerät eine möglichst ebene, reliefarme Schlittoberfläche vorteilhafter. Damit ist der weitere Vorteil verbunden, daß die Eindrücke in ebenen Schlitflächen eine bessere quadratische Gestalt haben als in Schlitzen mit starkem Oberflächenrelief.

Bei der Schliffherstellung muß der Tatsache Beachtung geschenkt werden, daß bei jedem mechanischen Bearbeiten der Probenoberfläche eine Oberflächenverfestigung eintritt. Einer der ersten Hinweise auf die durch die

Probenvorbereitung bedingte Zunahme der Oberflächenhärte stammt von Smith und Sandland. Nach Bückle kann die Tiefe der verformten Zone bei duktilen Metallen bis zu einigen Hundert  $\mu\text{m}$  betragen. Von dieser durch mechanisches Schleifen und Polieren verformten Oberflächenschicht wird bei dem anschließenden Ätzen stets nur ein sehr kleiner Bruchteil abgetragen. Vor Fehlern in dieser Hinsicht kann nur ein elektrolytisches Polierverfahren bewahren; denn nur auf diese Weise ist ein verformungsfreies Abtragen einer gestörten Oberflächenschicht möglich. Oft wird auch empfohlen, vor der Prüfung die Probe noch einer Rekristallisationsglühung zu unterziehen. Zur näheren Unterrichtung verweisen wir auf die Fachliteratur in Abschnitt 10.

Beim Beobachten 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 Schlitze sind daher dunkle Ätzfärbungen möglichst zu vermeiden. Besser sind schwache Ätzungen, bei denen die Gefügebestandteile gerade gut wahrgenommen werden können.

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. Mit besonderer Sorgfalt ist das Einbetten der Schlitze in Fassungen und Klammern bzw. in Einbettmassen vorzunehmen. Mechanisch empfindliche kleine Werkstücke, wie Uhrenteile usw., die als ganzes Stück zu prüfen sind, bettet man am besten in Hartwachs (Karnaubawachs), Plexiglas oder andere leichtverarbeitbare Kunststoffe ein, die nach der Prüfung durch Erwärmen oder chemisch wieder beseitigt werden können. Wichtig ist dabei, daß die Einbettmassen chemisch neutral reagieren und nicht zum Ausschwitzen neigen. Einer eventuellen Gefügebeeinflussung der Proben durch Erwärmen beim Einbetten (Rekristallisation, Erholung, Phasenumwandlung usw.) muß Beachtung geschenkt werden. Ebenso kann das Erstarren der Einbettmasse einen zusätzlichen Preßdruck und dieser Verformungen und Verfälschungen der Härtewerte hervorrufen. Empfindliche Teile bettet man deshalb zweckmäßig in kalt und ohne Druckanwendung aushärtende Kunststoffe, mit denen die Proben umgossen werden, ein. Diese eignen sich besonders auch zum Einbetten von pulverförmigen Proben und Proben unregelmäßiger Gestalt.

Da diese Einbettmassen oft durchsichtig sind, gestatten sie die Beobachtung des Anschliffs einer bestimmten Probenstelle. Ein nachträgliches Auslösen der Teile ist jedoch dann meist nicht wieder möglich. Bis zur äußersten Kante ebene Schlitze erhält man bei eingebetteten Proben aber nur dann, wenn Härte und Verschleißfestigkeit des Einbettmittels der eingebetteten Probe angepaßt sind. Gelingt dies nicht, so kann man die Probe mit einem galvanischen Überzug eines Metalls, das in seinem Verhalten dem der zu untersuchenden Probe ähnlich ist, versehen. Diffusionsvorgänge können hier jedoch zu Fehlmessungen führen. Auch können beim Ätzen Schwierigkeiten auftreten. Stahl kann z. B. beim Verchromen, da er im galvanischen Bad Wasserstoff aufnimmt, bedeutend härter werden.

Häufig lassen sich Querschliffe durch eine ebene Oberfläche auch so ohne Kantenabfall herstellen, daß man zwei gleichartige Oberflächen gegeneinander spannt (Bild 11). Querschliffe dünner Bleche führt man in ähnlicher Weise aus, indem mehrere Lagen fest zusammengespannt und in Karnaubawachs ausgekocht werden.

Die zum Härteprüfgerät gelieferte Tischeinlegeblende hat eine freie Öffnung von 20 mm. Blenden mit kleinerer Öffnung sind in Verbindung mit dem Mikrohärtprüfgerät unzuweckmäßig, da dann die Frontlinsenfassung

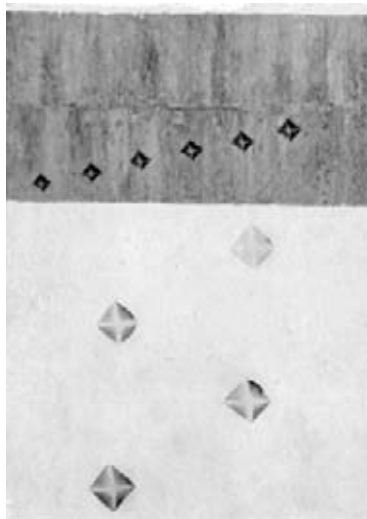


Bild 11  
Härteverlauf in einer Eloxalschicht  
auf Hydronalium Hy 25. Zwei gleiche  
Eloxalschichten gegeneinander gespannt.  
Prüfkraft 20 p. 300:1

20103

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



300237 3

leicht 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 Objektträger gedrückt und so in die Blende eingehängt, daß dieser auf der Blende liegt (Bild 12), oder man bettet die Probe mit Kunststoff in eine entsprechend große Form (Bild 13). Zum Aufpressen wird vielfach Plastilin benutzt. Besser ist Klebewachs, da der Schwefelgehalt des Plastilins manche Werkstoffe, z. B. die meisten Kupfererze, angreift.

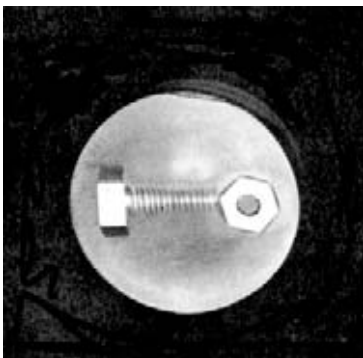


Bild 13  
Schraube und Mutter eingebettet  
für Mikrohärtprüfung

## 5.2 Wählen der Prüfkraft

Für die Wahl der Prüfkraft gelten folgende Gesichtspunkte:

Mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Messung soll die Prüfkraft grundsätzlich so groß wie möglich gewählt werden. Als untere Grenze für die Prüfkraft ist äußerstenfalls ein Wert von 0,2 bis 0,3 p anzunehmen. In diesem Fall ist allerdings sowohl die Messung der Prüfkraft 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 Prüfkraft 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. Bei der Prüfung dünner Oberflächenschichten nimmt man im allgemeinen an, daß die Mindestprobendicke das 10fache der Eindringtiefe des Diamanten bzw. das 1,5fache der Diagonallänge des größten Eindruckes betragen sollte. Werden mehrere Eindrücke nebeneinander gemacht, so sollte man darauf achten, daß der gegenseitige Abstand der Eindrücke möglichst das 3fache, niemals aber weniger als das 2fache der Diagonallänge beträgt, um gegenseitige Beeinflussung weitgehend zu vermeiden.

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 Prüfkraft so niedrig bemessen werden, daß eine stärkere Rißbildung an den Eindrücken nicht auftritt.

Wegen der Ungültigkeit des Kickschen Ähnlichkeitsgesetzes ist die Mikrohärtigkeit keine Materialkonstante, sondern in gewissem Maß von der Kraft und den Versuchsbedingungen abhängig. Ihre zahlenmäßige Angabe ist daher schwierig und umständlich. Von Schulz und Hanemann wurde ursprünglich die Standardgröße des Diagonalwertes der Eindrücke auf 5, 10 und 20  $\mu\text{m}$  festgesetzt. Falls die Meßeindrücke von der festgesetzten Standardgröße abweichen, muß durch Interpolation eine Umrechnung vorgenommen



werden. Onitsch machte den Vorschlag, nur den Mikrohärtewert von  $10 \mu\text{m}$  und gleichzeitig den Meyer-Exponenten  $n$  anzugeben. Diese Verfahren sind beide sehr umständlich. Zur annähernd richtigen Festlegung der Meyer-schen Geraden sind mindestens je drei Eindrücke mit drei verschiedenen Prüfkraften nötig. Diese neun Eindrücke müssen im gleichen Korn und in den entsprechenden Abständen angebracht sein. Für die praktischen Bedürfnisse der Metallographie reicht es oft aus, bloße Vergleichsmöglichkeiten zu haben. Es scheint deshalb besser zu sein, sich auf bestimmte Normkraftstufen festzulegen, mit denen die gewünschten Eindruckdurchmesser ( $5$  bis  $15 \mu\text{m}$ ) erzielt werden. Bückle schlägt vier Kraftstufen vor:  $1$  bis  $5 \text{ p}$  für Aluminiumlegierungen usw.,  $5$  bis  $15 \text{ p}$  für Weicheisen, Nickel usw.,  $15$  bis  $30 \text{ p}$  für harte Stähle usw. und  $30$  bis  $120 \text{ p}$  für Karbide usw. Als Normlastreihe empfiehlt er die Hauptreihe  $P = 1,25 \cdot 2^n \text{ p}$  und die Nebenreihe  $P = 7,5 \cdot 2^n \text{ p}$  mit  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  Um weitgehend durch örtliche Gefügeinhomogenitäten bedingte Härtefehler bei der Mikrohärtprüfung auszuschalten, ist auch hier stets anzustreben, eine größere Zahl von Härteindrücken (mindestens drei) auszumessen. Diese sollten mit der gleichen Prüfkraft und bei der gleichen Kornflächenorientierung erzeugt werden.

### 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 Kraftanzeige darf deshalb nie über den Teilstrich 50 hinaus belastet werden. Als Warnsignal dient eine dreifache Zickzacklinie, die sich an das Ende der Kraftanzeigeskala anschließt (Bild 14) und bei Überlastung in auffälliger Weise im Okular erscheint.

Falls bestimmte Stellen des Gefüges zu prüfen sind, 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 Objektstisch leicht bewerkstelligen. Die Spindelstellungen müssen beim Erzeugen der Eindrücke im Protokoll (Bild 20) niedergelegt werden; das ermöglicht später das Wiederfinden der Eindrücke beim Ausmessen.

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

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

Das Verfahren sei an einem Beispiel erläutert.

Bevor die Prüfkraft wirkt, wird die Nullstellung der Kraftanzeigeskale in folgenden zwei Stellungen des Meßschraubenokulars abgelesen (Bild 15):

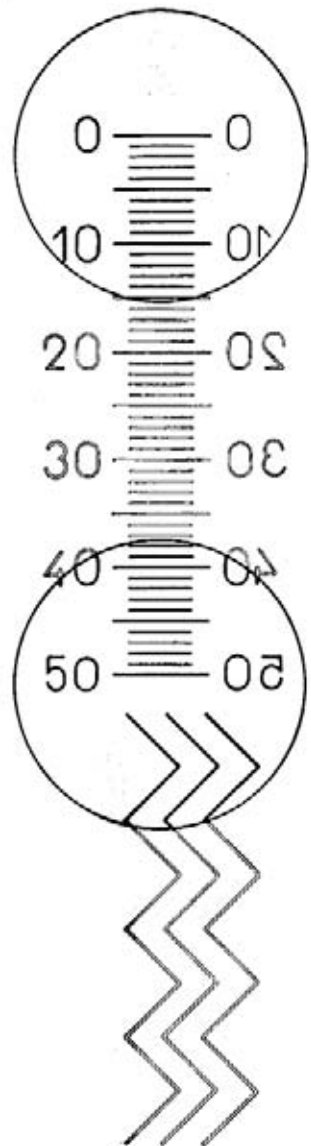


Bild 14

Ausführung der Kraftanzeigeskale mit Warnsignal gegen Überschreiten des Kraftbereichs

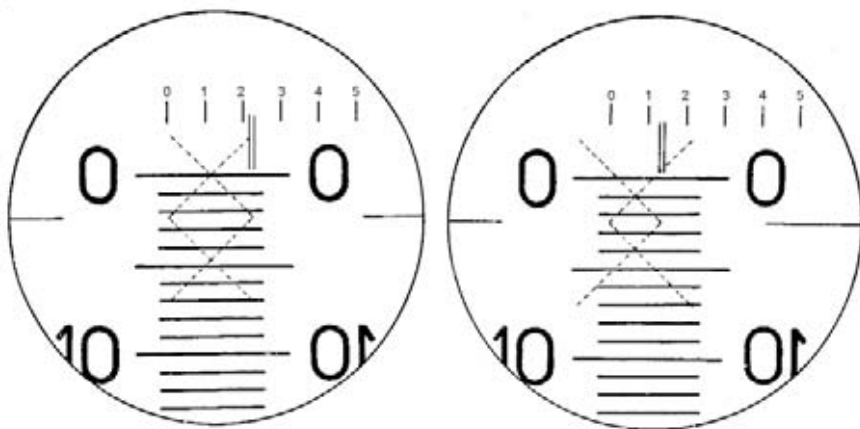


Bild 15. Übertragung der Ausschläge der Kraftanzeigeskala auf Meßbewegungen des Okulars

In Stellung 1 werde eine Trommelstellung des Meßschraubenokulars von 2 20 abgelesen, in Stellung 2 eine solche von 1 26. Einem Intervall der Kraftanzeigeskala, dem eine Last von 2,35 p entsprechen möge, entspricht jetzt also eine Verstellung der Ablesemarke des Meßschraubenokulars von 94 Teilstrichen. Damit läßt sich die Kraftbestimmung des Härteprüfgerätes von der ungenaueren Kraftanzeigeskala auf das genauere Meßschraubenokular übertragen.

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

Gewünscht sei eine Prüfkraft von 0,4 p. Dem entspricht eine Verstellung des Meßschraubenokulars 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 Kraftanzeigeskala. Dieser Betrag entspricht sehr genau dem Prüfkraftwert von 0,4 p. Beim Aufbringen der Kraft wird so lange am Feintrieb verstellt, bis die Ablesemarke wieder genau auf Mitte Nullstrich der Kraftanzeigeskala steht. Die Messung der Prüfkraft ist durch diese Nullmethode weitgehend von dem geringeren Auflösungsvermögen der Kraftanzeigeoptik 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 lassen sich daher mit größter Genauigkeit messen (vgl. »Pointierungsgenauigkeit« in der Astronomie), vorausgesetzt, daß stets auf dieselbe Stelle des Beugungsbildes eingestellt wird. Diese Erscheinung ist auch eine Ursache für die ungewöhnlich hohe Treffsicherheit des Mikrohärteprüfgerätes.

Es muß hier noch darauf hingewiesen werden, daß sowohl die Geschwindigkeit der Kraftaufbringung wie auch die Zeitdauer der Kraftereinwirkung das Ergebnis der Mikrohärteprüfung entscheidend beeinflussen können. Verschiedene Autoren setzten Toleranzen für die Eindringgeschwindigkeit fest (Girschig, Brown u. Ineson, Bückle, Bergsmann u. a.). Um allen Fällen gerecht zu werden, müßte eine allgemeingültige Normgeschwindigkeit sehr klein sein. Bückle verwendet für Prüfkräfte über 2,5 p eine konstante Geschwindigkeit von etwa 2,5  $\mu\text{m/s}$ , für kleinere Prüfkräfte kleinere Geschwindigkeiten. Durch Beobachten der Skalenbewegung lassen sich diese Werte einhalten. Für die Wahl der Kraftereinwirkzeit kann keine allgemeingültige Norm angegeben werden. Der Eindringvorgang ist ein Flußvorgang, der sich nur asymptotisch seinem Ende nähert. Er ist zu keinem endlichen Zeitpunkt wirklich beendet und wird wesentlich von der Struktur der Probe bestimmt. Nichtkristalline Stoffe, Gläser usw. zeigen hierbei ein anderes Verhalten als die meisten Metalle und Metallegierungen. Bei letzteren kann im allgemeinen die Kontaktdauer auf wenige Sekunden beschränkt werden. Zu empfehlen ist, die Kontaktdauer so kurz wie möglich zu halten, um Erschütterungseinflüsse als weitere lästige Fehlerquelle weitgehendst auszuschalten. Erschütterungen haben im Prinzip die gleiche Wirkung wie eine zu große Eindringgeschwindigkeit.

## **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 geschehen; das Härteprüfgerät wird dabei selbst als Objektiv benutzt. Vorteilhafter ist jedoch, zunächst im Bildfeld oder an anderweitig leicht auffindbaren Stellen eine größere Anzahl von Eindrücken herzustellen, die man anschließend mit einem geeigneten Objektiv ausmißt. Gegen die Anwendung des Mikrohärteprüfgerätes 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 man das Objektiv des Mikrohärteprüfgerätes nur zum Ausmessen größerer Eindrücke und allenfalls zum Feststellen von Härteunterschieden sowie für werkstattmäßige Schnellmessungen benutzen.

Zum Ausmessen ist grundsätzlich jedes stärkere Helfeld-Objektiv des »Neophot« bzw. des »Epityp 2« geeignet. Die Planachromaten mit ihrem großen, weitgehend geebneten Sehfeld legen ihre Anwendung besonders nahe. Zeigt das Mikrohärteprüfgerät unter Umständen gewisse Differenzen hinsichtlich der Zentrierung gegenüber anderen »Neophot«- bzw. »Epityp«-Objektiven, so 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 Objektstisch 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 geschieht daher vorteilhaft mit den Achromaten 32x/0,65 und 60x/0,95 bzw. mit den Planachromaten 25x/0,50 und 63x/0,80.

#### **5.42 Einstellen auf Schliffoberfläche**

Nachdem die Wahl des Meßobjektivs getroffen ist und die Eindrücke im Bildfeld aufgefunden sind, muß die Einstellung auf die Schliffoberfläche 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 ( $22^\circ$ ) ist.

Die Beleuchtungsapertur muß demnach bei allen Messungen für das ausgesuchte Meßobjektiv 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 Achromat 60x/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 erforderlich, eine Einstellung zu wählen, die stets reproduzierbar in einer bestimmten Höhe liegt. Als Anhaltspunkt können 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.

#### **5.431   Flächenmessung**

Bekanntlich werden Vickers-Makrohärteeindrücke übereck ausgemessen, ein Verfahren, das deshalb zulässig ist, weil Vickers-Makroeindrücke 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. Durch direkte Flächenmessung kann die Schwankung der Härtewerte auf die Hälfte herabgedrückt werden. 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) Mikroskopisches 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 geschieht analog dem Messen mit einer Schieblehre oder einer Bügelmeßschraube, indem man zunächst die fest stehende Winkelmarke mit der ihr zugekehrten Ecke des Eindruckes zur Deckung bringt — man benutzt zur Grobeinstellung den Objektisch, 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 16 schematisch zeigt. Das Okular ist so justiert, daß bei Nullstellung der Meßschraubentrommel 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 17 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 18 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 Meßschraubenukular bei dieser Flächenmessung der Längenwert einer Diagonale. (Dies ist die Diagonale eines idealen, zur Eindrucksfigur flächengleiches Quadrates.)

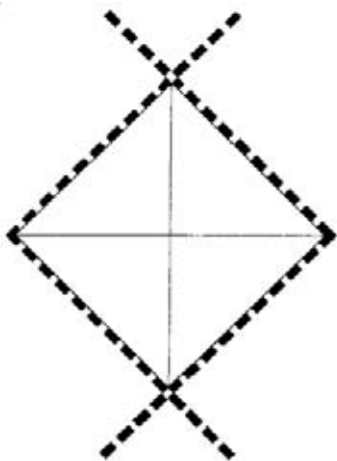


Bild 16. Einstellen des Meßquadrates auf den Eindruck



Bild 17. Stellung der Strichfigur des Meßokulars bei Trommelstellung 0

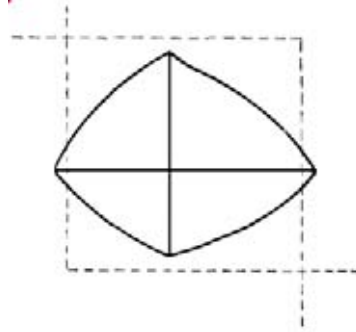
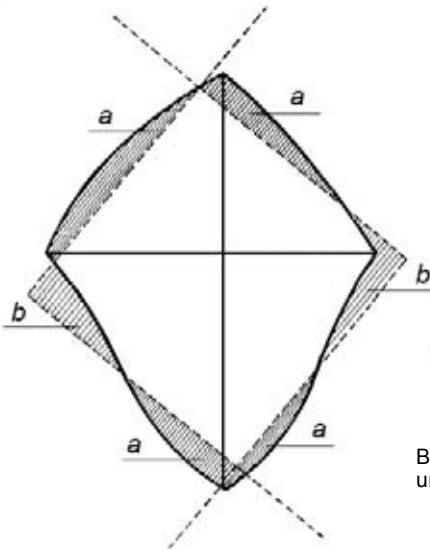


Bild 19. Messen der Diagonallänge der Eindrücke. Mittelwertbildung beider Diagonalen

Bild 18. Messen der Flächengröße eines unregelmäßigen Eindrucks

### 5.432 Diagonalenmessung

Mit dem Meßokular lassen sich auch Messungen der Diagonallänge unmittelbar vornehmen. Man bringt entweder der Reihe nach die Eindrucks-ecken in die Ecke der fest stehenden Winkelmarke und mißt die beiden Diagonallängen, oder man dreht das Okular um  $45^\circ$  und bringt so paarweise die Ecken der einen, dann der anderen Diagonalen an den Meßschenkeln zur Anlage. In letzterem Fall ist der obenbestimmte Umrechnungswert der Skalenteile in  $\mu\text{m}$  mit  $\frac{1}{2}\sqrt{2}$  multiplizieren, oder er muß neu bestimmt werden. Mit einiger Übung gelingt auch ein optisches Ausgleichen, wie in Bild 19 dargestellt, und unmittelbares Ablesen des Mittelwertes. Bei Anisotropieuntersuchungen legt man das Fadenkreuz in die Eindrucksmitte und mißt die verschiedenen Kantenspuren. Die Reproduzierbarkeit der Diagonalenmessung ist etwas besser als die der Flächenmessung. Die Entscheidung der prinzipiellen Frage, welche Art der Messung richtiger sei, soll hier nicht getroffen werden.

Als weiteres 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. Außerdem kommen noch andere Fehler, wie Papierschwund usw., hinzu. 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**

- 6.1 Lichtwurflampe einschalten.
- 6.2 Objektstisch mit den Zentrierschrauben zentrieren, am besten unter Anwendung eines Fadenkreuzokulars.
- 6.3 Mikrohärteprüfgerät aufsetzen und Objektstisch nach Augenmaß koaxial zum Mikrohärteprüfgerät einstellen.
- 6.4 Meßokular mit Meßtrommel nach rechts einsetzen und festklemmen. Durch Drehen an der Okularfassung Okular scharf auf die Meßfigur einstellen.
- 6.5 Zentrierschrauben des Meßokulars in eine mittlere Stellung bringen. Nullpunkt der Kraftanzeigeskala nicht auf das Okularfadenkreuz, sondern einen kleinen Betrag darüber einstellen. Leuchtfeldblende entsprechend zuziehen und beim »Neophot« zentrieren.
- 6.6 Objekt auflegen und mit der Tischfeder festklemmen.
- 6.7 Aperturblende ganz öffnen.
- 6.8 Feineinstellung beim »Neophot« in mittlere, beim »Epityp 2« in höchste Stellung bringen.
- 6.9 Objekt möglichst mit Grobeinstellung einstellen.
- 6.10 Gewünschte Objektstelle durch Betätigen des Objektstisches unter das in der Nullstellung des Meßokulars von den Meßwinkeln gebildete Fadenkreuz bringen.
- 6.11 Mit Grobeinstellung Objektstisch vorsichtig senken, bis das Bild der Skale deutlich zu sehen ist.
- 6.12 Ablesemarke des Okulars nach Bild 8 auf den Nullstrich der Kraftanzeigeskala bringen.

- 6.13 Eindruck mit mittlerer Kraft durch Betätigen der Grobeinstellung beim »Neophot« bzw. Feineinstellung beim »Epityp 2« anfertigen und diesen anschließend scharf einstellen.
- 6.14 Mit Zentrierschrauben Okular so zentrieren, daß das Fadenkreuz bzw. die Spitze der fest stehenden (rechten) Winkelmarke 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 Kraftanzeigeskala prüfen, ob ihr Nullpunkt sich noch nach Bild 8 einstellen läßt. Andernfalls Kraftanzeigeskala mit Rändelring entsprechend verstellen und Arbeitsgänge 6.13 und 6.14 wiederholen. Leuchtfeldblende entsprechend 6.05 einstellen.
- 6.16 Zu prüfende Objektstelle mit Hilfe der Tischbewegung unter das Fadenkreuz bringen (vgl. Arbeitsgang 6.10).
- 6.17 Eindruck mit der gewünschten Prüfkraft anfertigen.
- 6.18 Objektstisch heben, bis keine Bewegung des Fadenkreuzes gegenüber der Skale mehr stattfindet, und kontrollieren, ob Einstellmarke wieder auf Null steht. Andernfalls abzulesenden Wert von der Prüfkraft abziehen.
- 6.19 Objektstisch weiter heben, bis der Eindruck scharf abgebildet wird.
- 6.20 Für Schnellmessungen Mikrohärteprüfgerät selbst zum Messen belassen oder — für genauere Messungen — durch ein anderes Objektiv (am besten Aplanochromat60x/0,95) ersetzen.
- 6.21 Eindruck so einstellen, daß die Pyramidenkanten in den äußersten Eindrucksecken dunkel und scharf erscheinen.
- 6.22 Fest stehende (linke) Winkelmarke durch Betätigen des Objektstisches mit der linken Eindrucksecke zur Deckung bringen. Bei genauen Messungen ist noch eine Feineinstellung mit den Zentrierschrauben des Meßokulars zu empfehlen. Leuchtfeldblende entsprechend 6.05 einstellen.
- 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 Hundertstein 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 Kraft ausgeführt wurden.

## 7. Auswertung

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

### 7.1 Bezeichnungsweise

O	.....	erzeugte Eindruckoberfläche	
P	.....	Prüflast in p	
m	.....	Ablesung der Eindrucksgröße in Trommelstrichen	
δ	.....	Teilungswert	
d	.....	Diagonallänge der Eindrücke in $\mu\text{m}$	
β	.....	Pyramidenwinkel ( $22^\circ$ )	
a	.....	Konstante des Meyerschen Potenzgesetzes	
k	.....	Konstante des Meyerschen Potenzgesetzes	
n	.....	Exponent des Meyerschen Potenzgesetzes	
H <sub>m</sub>	.....	Mikrohärte allgemein in $\text{kp}/\text{mm}^2$	
H <sub>5μ</sub>	.....	Mikrohärte (in $\text{kp}/\text{mm}^2$ ), reduziert auf die Diagonale	5 $\mu\text{m}$
H <sub>10μ</sub>	.....	„ „ „ „ „ „ „ „	10 $\mu\text{m}$
H <sub>20μ</sub>	.....	„ „ „ „ „ „ „ „	20 $\mu\text{m}$

### 7.2 Berechnung des nichtreduzierten Härtewertes

Zahlenmäßig bestimmt wird sowohl die Vickers-Mikrohärte als auch die Makrohärte nach der Beziehung

$$H = \frac{P}{O} = \frac{2 \cdot P \cdot \cos \beta}{d^2} \quad (1)$$

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 man P in kp, d in mm einsetzt, ergibt sich der Härtewert unmittelbar in  $\text{kp}/\text{mm}^2$ . Da die Kraft jedoch zweckmäßig in p

Bild 20. Beispiel für das Protokoll einer Härtemessung  
(Auswertung der Bilder 21 und 22)

Mikrohärtemessung an Werkstoff x x  
 Mikrohärteprüfgerät D 32  
 Federkonstante der Kraftanzeige 0,426 p/Teilstrich  
 Meßobjektiv Apochromat 60x/0,95, Aperturblende 2,5  
 Teilungswert des Meßokulars  $\delta = 0,1625 \mu\text{m}/\text{Teilstrich}$

Nr. d. Eindrucks	Koordinaten		Meßschrauben- okular- Ablesung		Diagonale  d in $\mu\text{m}$	$d^2$  $\mu\text{m}^2$	Prüfkraft  P in p	Mikrohärte  $H_m$ in $\text{kp}/\text{mm}^2$
	längs	quer	m in Teilstrichen					
			einzeln	Mittel				
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  $H_{5\mu} = 174$   
 $H_{10\mu} = 157$   $\text{kp}/\text{mm}^2$   
 $H_{20\mu} = 141$

22. IX. 40  
Bdt.

und die Eindrucksgrößen in  $\mu\text{m}$  gemessen werden, wird für die Rechnung die Formel (1) benutzt in der Form

$$H_m = \frac{1854,4 \cdot P}{d^2} \quad [\text{kp}/\text{mm}^2] \quad (1a)$$

Die Diagonale des Eindrucks ergibt sich aus Mikrometerablesung und Teilungswert 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 Kraft in  $\text{mp}$  und die Eindrucksfläche in  $\mu\text{m}^2$  eingesetzt werden;  $\text{kp}/\text{mm}^2$  und  $\text{mp}/\mu\text{m}^2$  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 sich durch Rechenschiebergebrauch eine bedeutende Vereinfachung des Rechengangs erzielen läßt, ist die Auswertung von großen

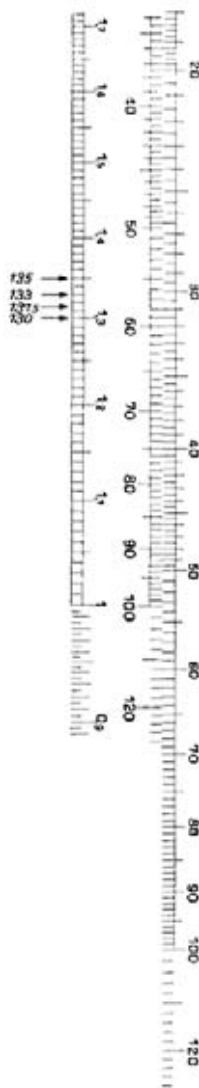


Bild 21

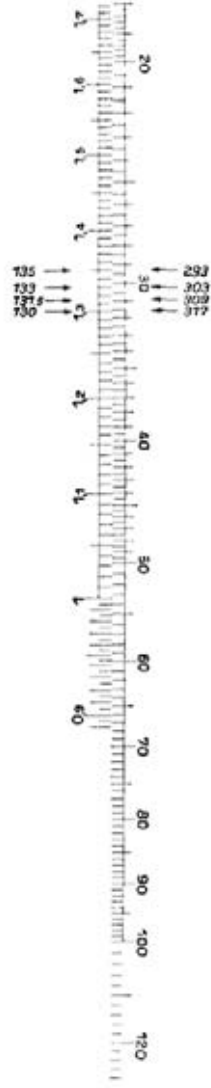


Bild 22

Meßreihen, die mit einer einzigen Prüflast ausgeführt werden. Der Härte-  
wert ist dann umgekehrt proportional dem Quadrat der Mikrometerablesung.

Rechenbeispiel:

Für eine Trommelablesung  $m = 131,5$  möge sich durch Rechnung ein  
Härtewert  $H_m = 309 \text{ kp/mm}^2$  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 21 dar-  
gestellt ist. Dann liest man über den Trommeleinstellungen 130, 133, 135  
usw. die Härtewerte 317, 303, 293 usw. ab. Die bei einfachen Rechenschie-  
bern fehlende reziproke Teilung läßt sich dadurch ersetzen, daß die Zunge  
auf dem Kopf stehend eingeschoben und dann die Ablesung wieder, wie  
oben beschrieben, vorgenommen wird (Bild 22).

### 7.3 Ermittlung des auf den Standardeindruck reduzierten Härtewertes

Für die Mikrohärtigkeit ist das Kicksche Ähnlichkeitsgesetz nicht erfüllt. Die  
Mikrohärte ist keine Materialkonstante, sondern kraftabhängig. Innerhalb  
nicht allzugroßer Prüfkraftbereiche gilt die empirische Beziehung

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

Diese ist identisch mit der von Meyer für die Brinell-Härte abgeleiteten  
Formel und wird als Meyersches Potenzgesetz bezeichnet. Soll das Kick-  
sche Ähnlichkeitsgesetz gelten, so muß der Exponent  $n = 2$  sein. In der  
Regel ist jedoch  $n < 2$ . Durch Umformung und Logarithmierung folgt aus  
Gleichung (3)

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

Werden die Werte für  $P$  und  $d$  aus einer Reihe von Härtemessungen mit  
verschiedenen Prüfkraften ermittelt und in ein doppelt-logarithmisches  
Netz eingetragen (Bild 23), so ergibt sich als Darstellung der Funktion (4)  
eine Gerade mit der Neigung  $n$  (Meyersche Gerade). Ferner folgen aus  
(1) und (3):

$$H_m = k \cdot d^{n-2} \quad (5)$$

und

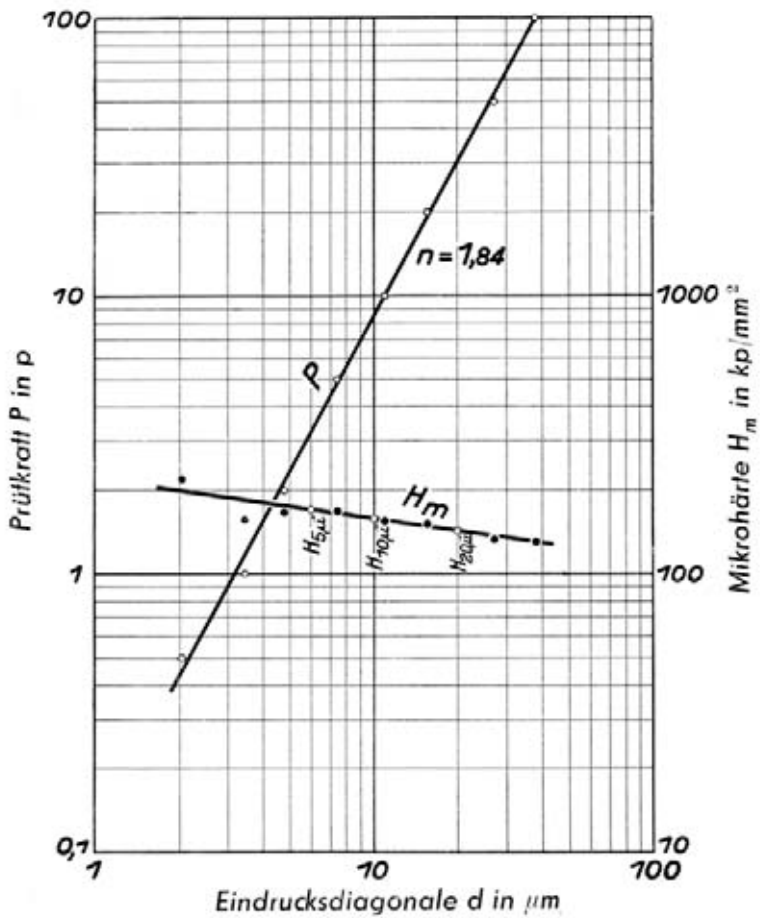
$$\log H_m = \log k + (n - 2) \cdot \log d \quad (6)$$

In logarithmischer Darstellung ergibt dann der funktionelle Zusammenhang  
zwischen Härte und Eindrucksgröße eine Gerade mit der Neigung  $n - 2$ .  
Um die mit der Kraftabhängigkeit der Mikrohärtigkeit verbundene Unsicherheit  
bei der Angabe des Härtewertes zu vermeiden, schlugen Schulz und Hane-

mann vor, die Härtewerte auf die Standardeindruckgrößen mit den Diagonalen 5, 10 und 20  $\mu\text{m}$  zu beziehen und diese Härtewerte im engeren Sinne als Mikrohärtigkeit zu bezeichnen. Die Symbole sind  $H_{5\mu}$ ,  $H_{10\mu}$  und  $H_{20\mu}$ . Durch Interpolation der Meyerschen Geraden lassen sich die zu den Standardeindruckgrößen von 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  oder 20  $\mu\text{m}$  zugehörigen Werte von P ermitteln, aus denen die reduzierten Härtewerte nach (1 a) 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 Eindruckgröße 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 23, 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  $\mu\text{m}$  und die Steigung n der Meyer-Geraden anzugeben. Die Angabe der Mikrohärtigkeit in der Form  ${}^nH_{10\mu}$  wird von Onitsch deshalb vorgeschlagen, da es durchaus vorkommt, daß einer der Werte  $H_{5\mu}$  und  $H_{20\mu}$  durch Extrapolation zu bestimmen ist. Zur Frage der Extrapolation muß jedoch noch einmal bemerkt werden, daß das Meyersche Potenzgesetz nur eine Näherung darstellt und sich nur in einem nicht allzugroßen Prüfkraftbereich als gültig ansehen läßt. Für kleine Prüfkraft sind die n-Werte meist etwas verschieden von denen für große Prüfkraft. Es gibt also keine allgemeingültige Meyersche Gerade. Insbesondere ist die Errechnung der Vickers-Makrohärtigkeit aus den Mikrohärtigkeitswerten durch graphische Extrapolation abzulehnen. Zu diesem Zweck stellt man zweckmäßig Vergleichskurven auf. Näheres hierzu ist bei Bückle nachzulesen.



300219 a

Bild 23. Auswertung des Meyerschen Potenzgesetzes in doppelt-logarithmischen Koordinaten



## 7.4 Fehlergrößen der Mikrohärtemessung

Nach Bückle muß man zwei Arten von Fehlerquellen unterscheiden, die bei der Mikrohärtemessung das Ergebnis beeinflussen: die eigentlichen Versuchsfehler und die durch die Struktureinflüsse (Korngröße, Ausscheidungen, Einschlüsse usw.) bedingten und daher auch nicht ohne weiteres voraussehbaren und vermeidbaren Fehler. Auf die wichtigen Versuchsfehler, wie den Einfluß von Erschütterungen, den Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit, den Einfluß der Kontaktdauer usw., und ihre Vermeidung wurde schon oben an entsprechender Stelle hingewiesen. Der Gesamtfehler der Mikrohärte ist gegeben durch die Beziehung

$$\Delta H = H \cdot \left( \frac{\Delta P}{P} + \frac{2\Delta d}{d} \right), \quad \text{wobei} \quad H = \frac{2P \cdot \cos \beta}{d^2} \quad (7)$$

Der Fehler der Pyramidenform wurde dabei vernachlässigt, da dieser durch äußerste Genauigkeit des Pyramidenanschliffs sehr klein gehalten wird. Der relative Fehler der Härtemessung, hervorgerufen durch den Fehler der Kraftmessung, ist wegen der linearen Beziehung zwischen Prüfkraft und Härte

$$\frac{\Delta H_p}{H} \cdot 100(\%) = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100(\%) \quad (8)$$

Die Grenze des optischen Auflösungsvermögens bewirkt, daß die Messung der Eindrucksgröße stets mit einem Fehler behaftet ist, und zwar werden die Vickers-Eindrücke mit ihrem Eckenwinkel von  $90^\circ$  bei Beleuchtung mit monochromatischem Licht der Wellenlänge  $\lambda$  stets um den Fehlbetrag  $\Delta d_1 = 0,61 \lambda/A$  ( $A$  = numerische Apertur) zu klein gemessen. Wegen der quadratischen Abhängigkeit zwischen Eindrucksgröße und Härte folgt ein relativer Härtefehler:

$$\frac{\Delta H_1}{H} \cdot 100(\%) = \left[ \left( \frac{d + \Delta d_1}{d} \right)^2 - 1 \right] \cdot 100(\%) \approx \frac{2\Delta d_1}{d} \cdot 100(\%) \quad (9)$$

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 (9) 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 (9) berechnet. Es ist

$$\frac{\Delta H_2}{H} \cdot 100(\%) \approx \frac{2\Delta d_2}{d} \cdot 100(\%) \quad (10)$$

Der subjektive Fehler  $\Delta d_2$  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 vorgenommen werden. Die Größe der Fehler läßt sich durch längere Übung weitgehend verringern.

Außerdem enthält er noch den sogenannten Ermüdungsfehler. Bei starker Augenbeanspruchung durch längeres Ausmessen kleiner Eindrücke erhält infolge von Ermüdung ein und derselbe Beobachter am Ende der Messungen größere Streuungen und andere Mittelwerte als am Anfang. Man mißt deshalb zweckmäßig mit höchstmöglicher Vergrößerung aus. Im übrigen beachte man zur Fehlerbestimmung von Mikrohärtemessungen die Untersuchungen von H. Bückle. Er zeigt, daß die verschiedensten das Meßergebnis beeinflussenden Fehler für Eindrücke mit einer Diagonallänge kleiner als 15 bis 30  $\mu\text{m}$  stark ansteigen. Kleine Eindrücke sind deshalb mit größter Vorsicht auszuwerten, während größere Eindrücke ein verhältnismäßig sicheres Messen und damit auch Absolutmessungen gestatten. Die großen Streuungen bei kleinen Meßwerten sind also nicht durch im Gerät liegende Fehlerquellen verursacht, sondern im wesentlichen naturgemäß durch das Verfahren selbst bedingt.

## 8. Anwendung der Mikrohärte

In der Literatur ist bisher eine außerordentlich große Zahl von Arbeiten, das Gebiet der Mikrohärteprüfung betreffend, erschienen. Die Mikrohärteprüfung fand dabei — neben der Prüfung von kleinen, empfindlichen Bauteilen, wie feine Drähte, dünne Bleche und Folien, Schweißungen und Sinterteile usw. — immer mehr Anwendung bei der Erforschung der stofflichen Veränderungen:

Bestimmung von Oberflächeneigenschaften mechanisch, chemisch oder thermisch oberflächenbehandelter Materialien

Beobachtung innerer Spannungen

Nachweis verschiedener Phasen

Untersuchung der Kristallerholung und Rekristallisation

Untersuchung von Phasenumwandlungen, Seigerungserscheinungen und Diffusionserscheinungen  
Orientierungsbestimmungen  
Sprödigkeitsmessungen usw.

Hier näher darauf einzugehen, ist nicht möglich. Es sei auf das Schrifttumsverzeichnis in Abschnitt 10. verwiesen. Eine gute Zusammenfassung und weitere sehr umfangreiche Literaturangaben findet man bei Mott.

## 9. Störungen am Mikrohärteprüfgerät und Maßnahmen zur Abhilfe

### Störung

Bei eingeschalteter Beleuchtung erscheint weder ein Gefügebild noch ein Bild der Kraftanzeige.

Bei eingeschalteter Beleuchtung erscheint nur das Bild der Kraftanzeige. Ein Gefügebild läßt sich nicht erzielen.

Das Bild ist nur einseitig ausgeleuchtet.

Gefügebild und Bild der Kraftanzeige sind kontrastlos.

### Ursache und Abhilfe

Schieber für die Umschaltung von Hell- auf Dunkelfeld im Vertikalilluminator des »Neophot« steht in der Stellung »Dunkelfeld«.  
Umschaltung von subjektiver Beobachtung auf Photographie steht in der Stellung »Photographie«.  
Rauchglas ist bei Lampenbeleuchtung eingesetzt.

Aperturblende ist geschlossen.  
Sie muß ganz geöffnet werden.

Beleuchtung im Vertikalilluminator des »Neophot« geschieht nicht durch das Planglas, sondern durch das Prisma. Aperturblende ist nicht zentriert.

Leuchtfeldblende ist offen.  
Leuchtfeldblende soweit zuziehen, daß nur das benötigte Bildfeld ausgeleuchtet ist.

## **Störung**

Es ist nicht möglich, ein scharfes Bild des Gefüges einzustellen.

Trotz Ausschlags der Kraftanzeige entsteht kein Eindruck, oder der Eindruck trifft nicht die eingestellte Stelle.

Abbildungsfehler des Bildes der Kraftanzeige, die sich durch Verstellen der Scharfeinstellung und der Nullpunkteinstellung nicht beheben lassen.

Die Bewegung der Kraftanzeige hängt. (Zum Vergleich: Solange das Härteprüfgerät in Ordnung ist und das Objektiv nicht hängenbleibt, muß das Skalenbild bei Erschütterungen, z. B. Anklopfen am »Nephoto« bzw. am »Epityp 2« frei schwingen und ein wenig zittern.)

Beschädigungen am Diamanten.

Höhenversetzung der Strichplatten des Meßschraubenokulars macht die Fadenkreuzstellung unmöglich.

## **Ursache und Abhilfe**

Mikrohärteprüfgerät D 32 wurde mit Immersionsöl benutzt.

Tischeinlegeblende ist exzentrisch, so daß die Frontlinsenfassung am Rand der Blende anstößt. Objektisch zentrieren.

Schliff ist nicht senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet. Schliff ausrichten.

Mikrohärteprüfgerät ist durch Stoß oder Überbeanspruchungen der Feder-aufhängung dejustiert. Er muß zur Reparatur eingesandt werden.

Abhilfe ist nur in unserem Werk möglich. Gerät einsenden.

Diamant muß ersetzt werden. Gerät einsenden.

Okular ist durch Stoß dejustiert. Es muß zur Reparatur eingesandt werden.

## Störung

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 Mikrohärtprüfgerätes erhalten bleibt.

Nullpunkt der Trommelablesung stimmt nicht mit der Meßquadratgröße Null überein.

## Ursache und Abhilfe

Durch langdauernden Gebrauch des »Neophot« ist die Führung des Grobtriebs abgenutzt. Kraftaufbringung nur mit dem Feintrieb ausführen. »Neophot«-Stativ zum Nachpassen der Führung einsenden. Wurden die Eindrücke beim »Epityp 2« nach Vorschrift mit der Feinbewegung ausgeführt, dann Stativ zur Reparatur einsenden.

Abhilfe ist nur in unserem Werk möglich. Okular einsenden.

## 10. Schrifttumsverzeichnis

Berglund, T.: Handbuch der Metallographie, Schleif-, Polier- u. Ätztechnik u. -verfahren. Berlin: Springer 1940.

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 Ind., London **69** (1946) Nr. 6, S. 109-112.

Bergsmann, E. B.: Ein einfacher Mikrohärtprüfapparat 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.: Die Mikrohärtprüfung, Anwendungsbeispiele aus der Technologie der Kaltverformung. Z. d. VDI **84** (1940) Nr. 39, S. 733-736.

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

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

- Braun, A.: Les anomalies dans le domaine des microduretes.  
Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. **19** (1953) Nr. 3, S. 67-78.
- Bückle, H.: Diffusionsmessungen mit Hilfe des Mikrohärtprüfers.  
Z. Metallkde. **34** (1942) S. 130-133.
- Bückle, H.: Die Diffusion von Kupfer, Magnesium, Mangan, aus Silicium  
in Aluminium. Z. Elektrochem. **49** (1943) S. 238—242.
- Bückle, H.: Erfahrungen mit dem Mikrohärtprüfer nach Hanemann.  
Jena-Nachr. **5** (1944) S. 93-100.
- Bückle, H.: Löslichkeitsbestimmungen mit Hilfe der Mikrohärtprüfung.  
Z. Metallkde. **37** (1946) S. 43-47.
- Bückle, H.: Mikrohärtuntersuchungen an übersättigten Aluminium-  
Mangan-Legierungen. Z. Metallkde. **43** (1952) S.82—89.
- Bückle, H.: Ein Nomogramm für die Mikrohärtprüfung.  
Mikroskopie, Wien **4** (1949) Nr. 5/6, S. 183-186.
- Bückle, H.: Untersuchungen über die Lastabhängigkeit der Vickers-  
Mikrohärte, I u. II.  
Z. 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 Mikrohärt und der lokalen Spektralanalyse.  
Mikroskopie, Wien **4** (1949) Nr. 9/10, S. 266-276.
- Bückle, H.: Beziehungen zwischen der Zielsetzung und dem Meßverfahren  
der Mikrohärtprüfung. VDI-Ber. **11** (1957) S. 9-27.
- Bückle, H.: Echte und scheinbare Fehlerquellen bei der Mikrohärtprüfung:  
ihre Klassifizierung und ihre Auswirkung auf die Meßwerte.  
VDI-Ber. **11** (1957) S. 29-43 u. 147-151.
- Dinner: Mikrohärtprüfung.  
Österr. Maschinenmarkt, Elektrowirtsch. **4** (1949) Nr. 1/2, S.6-10.
- Gabler, F.: Moderne Methoden der mikroskopischen Untersuchung von  
Metalloberflächen. Metall **7** (1953) S. 401-405.

Girschig, M. R.: Un nouvel appareil de microdurete le „Microsclerometer L.-C.“  
Rev. Metallurg. **43** (1946) Nr. 3/4, S. 95-112.

Girschig, M.R.: The micro-sclerometer, a new micro-hardness tester.  
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 Mikrohärtigkeit beim Eindruck und der Dehnungsgrenze.  
Z. phys. 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 Mikrohärtprüfer.  
Z. Metallkde. **32** (1940) Nr. 2, S. 35-38.

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

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

Jaquet, P. A.: Le polissage electrolytique des surfaces metallique et ses  
applications, Tl. I. Saint-Germain en Laye": Editions Metanz 1948.

Klemm, W.: Über die Bildung von Diamanteindrücken in Glasflächen.  
J&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.  
Ind. diamond rev. **11** (1951) Nr. 123, S. 42-44.

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

Longard, K.: Das elektrolytische Ätzpolieren von Metalloberflächen und seine Bedeutung bei der Mikrohärtprüfung. Arch. 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. Ind. 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 Mikrohärt der Mineralien. Mikroskopie, Wien **3** (1948) Nr. 9/12, S. 257-309.

Mott, B.W.: Die Mikrohärtprüfung. Stuttgart: Berliner Union 1957.

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 Mikrohärt der Metalle. Mikroskopie, Wien **2** (1947) Nr. 5/6, S. 131-151.

Onitsch, E. M.: Über die Mikrohärt 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.

Ramdohr, P., u. Rehwald, G.: Die Auswahl der Untersuchungsproben und die Herstellung der Anschliffe. In: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, hrsg. v. H. Freund, Bd. I, Tl. 2, S. 189-257. Frankfurt a. M.: Umschau-Verl. 1960.

Ramsthaler, P.: Über einen neuen Mikrohärtprüfer. 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. Metallkde. **33** (1941) Nr. 2, S. 64-67.

Reinacher, G.: Metallographische Präparation von Edelmetallproben durch elektrolytisches Wischpolieren. Z. Metallkde. **48** (1953) S. 162-171.

Samuels, L. E.: Die Verwendung von Diamantstaub beim metallographischen Polieren. J. Inst. Metals **81** (1953) S. 471-478.

Schulz, K.: 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.

Schulze, R.: Belastungsabhängigkeit der Vickers-Mikrohärte. Feinwerk-techn. **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.: Beitrag zur Fehlerbestimmung von Mikrohärtemessungen. Jena-Nachr. **6** (1945) S. 252-256.

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

Tate, D. R.: A comparison 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.

Tegart, W. I.: The Electrolytical and Chemical Polishing of Metals.  
London u. New York: Pergamon Press 1956.

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.

Tertsch, H.: Methoden der mikroskopischen Härteprüfung.  
In: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, hrsg. v. H. Freund, Bd. I, Tl. 2, S.  
487—535. Frankfurt a. M.: Umschau-Verl. 1960.

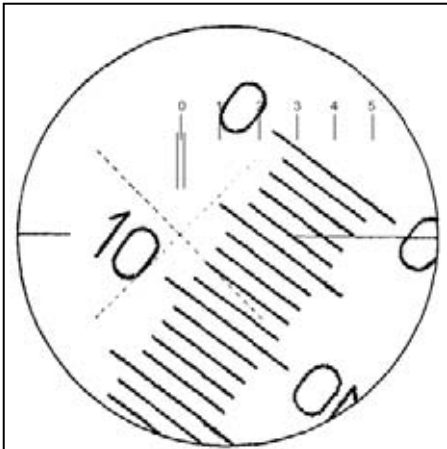
Weingraber, H. von: Die Härteprüfverfahren und ihre Fehlerquellen.  
Metallwirtsch. **19** (1940) Nr. 1, S. 255-260.

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

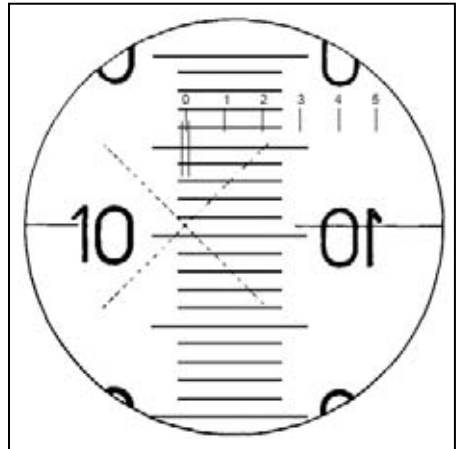
# Bildtafel I

Vorbereitende Einstellungen

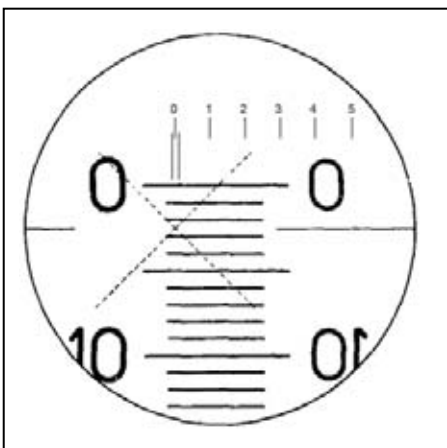
**Einsetzen des Härteprüfgerätes am »Neophot« bzw. am »Epityp 2«**



Einsetzen des Härteprüfgerätes in den Vertikalilluminator

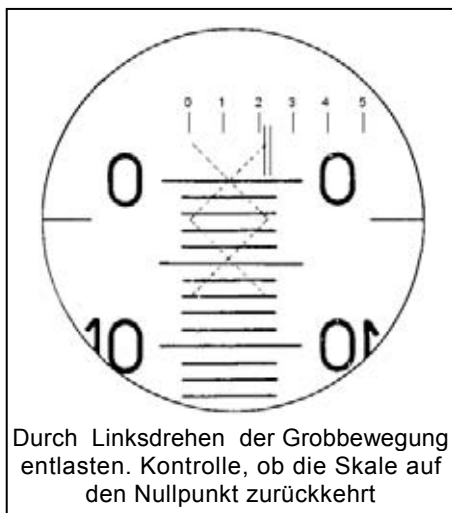
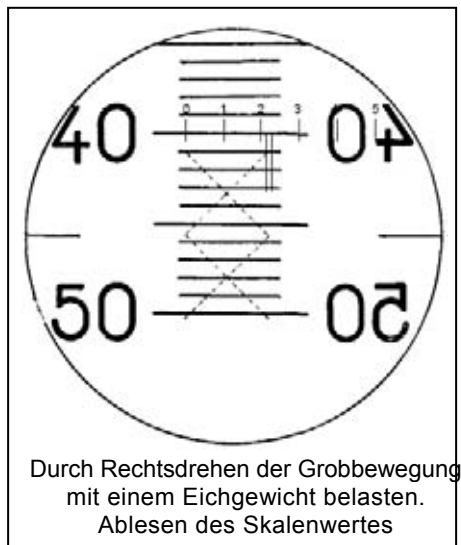
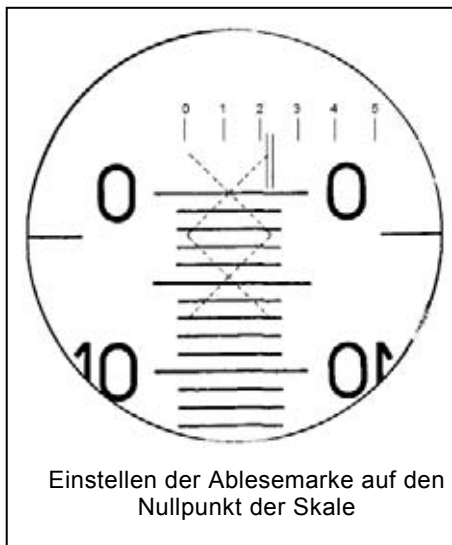


Ausrichten der Skale, Einstellen der Schärfe des Skalenbildes



Einstellen des Nullpunktes der Skale

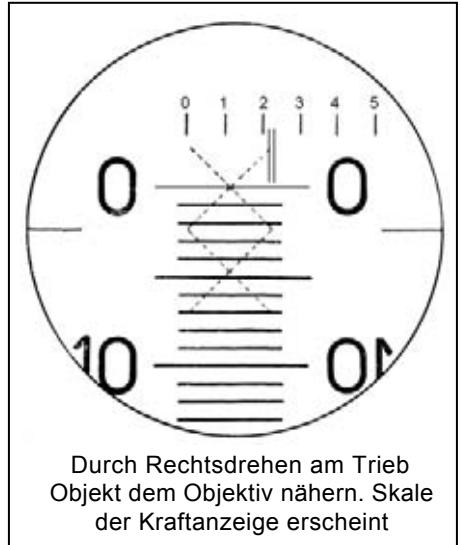
## Eichen der Kraftanzeige



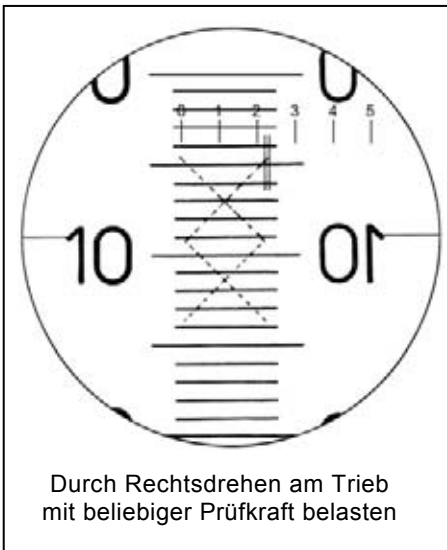
## Zentrieren der Eindrücke



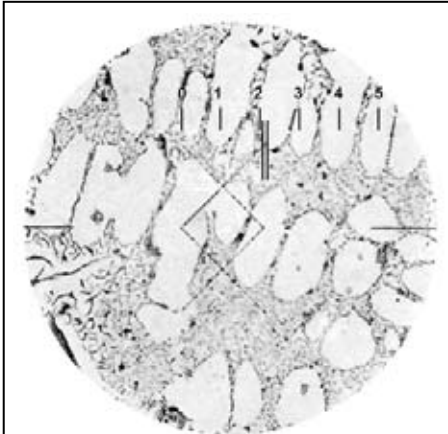
Beliebigen Schliff auflegen und einstellen



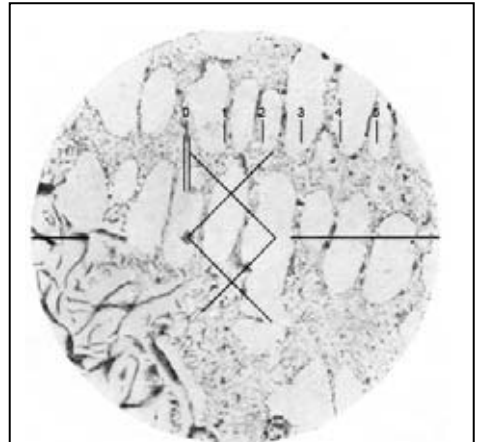
Durch Rechtsdrehen am Trieb Objekt dem Objektiv nähern. Skala der Kraftanzeige erscheint



Durch Rechtsdrehen am Trieb mit beliebiger Prüfkraft belasten



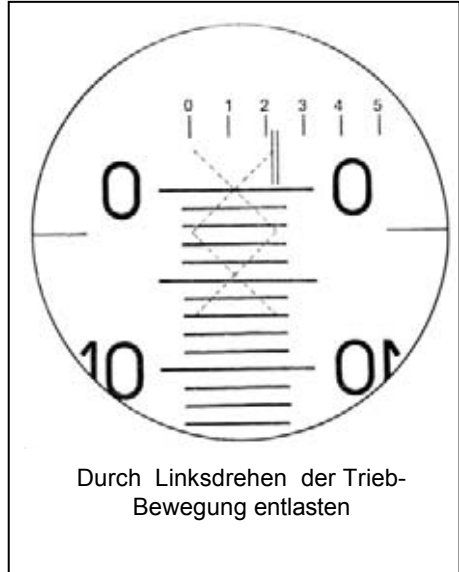
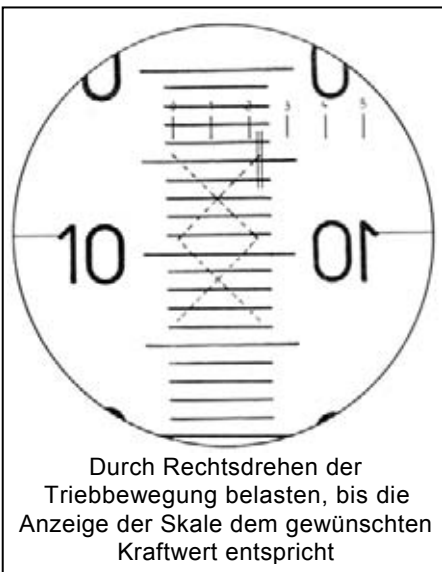
Durch Linksdrehen am Trieb entlasten. Weiterdrehen, bis Gefüge und erster Eindruck erscheinen

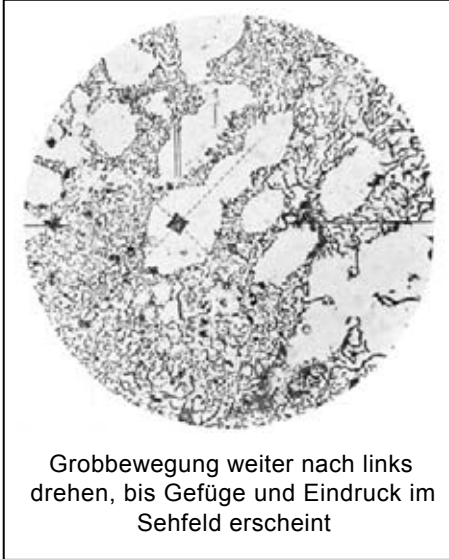


Durch Betätigen der Okularzentrierschrauben Ecke der feststehenden Winkelmarke und Eindruckmitte zur Deckung bringen

# Bildtafel II

## Ausführung einer Härtemessung







# JENOPTIK JENA GmbH

Fernsprecher: Jena 27042 ■ Fernschreiber: Jena 0538622

Druckschriften-Nr. **W 30-G 676c-1**

010/30 353/61 6110 V/10/1 1015

