©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Über die Härte.

Von

Ingenieur August Rosiwal,
Privatdocent an der k. k. techn. Hochschule in Wien und Sectionsgeologe der k. k. geolog. Reichsanstalt.

Vortrag, gehalten den 15. März 1893.

(Mit Demonstrationen.)

Mit 1 Tafel und 4 Abbildungen im Texte.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Hochverehrte Anwesende!

Was ist Härte? Auffallender Weise sind wir noch nicht im Stande, diesen jedermann geläufigen Begriff in allgemein bestimmter Weise zu definieren. Er gehört in die Reihe jener Abstracta, welche durch eine nach Abstufungen oder Graden verschiedenartige Wahrnehmung entstehen, wie hell und dunkel, warm und kalt; und wie man gelernt hat, Wärmegrade oder Lichtintensitäten zu messen, ohne von dem Wesen der Wärme und des Lichtes eine ganz bestimmte Vorstellung zu haben, so sehen wir auch schon frühzeitig Mineralogen und Techniker daran, die Härte wenigstens vergleichsweise festzustellen und Unterschiede derselben zu erkennen.

Fürs erste wollen wir uns an die Erklärung dessen halten, was der Mineraloge die Härte nennt, und sie als jenen Widerstand bezeichnen, welchen ein Körper der Trennung seiner Theilchen beim Ritzen oder Schaben entgegensetzt.

Der erste, welcher die allgemeine Eigenschaft der Härte bei den Mineralien genauer ins Auge fasste und sie als den Widerstand definiert, den die Körpertheile einer in sie eindringen wollenden Kraft ent-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

gegensetzen, ist der Vater aller mineralogischen Wissenschaften, Abraham Gottlieb Werner, der in seinem im Jahre 1774 in Leipzig erschienenen Werke: „Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien“ die erste Härtescala entwirft, welche sechs Glieder enthält:

Hart. Diamanthart. Greifen die Feile an. Geben Funken. Diamant, Saphir.

Hart. Quarzhart. Lassen sich kaum oder nur wenig feilen. Geben Funken. Granat, Quarz.

Hart. Feldspathart. Lassen sich feilen. Lassen sich mit dem Messer nicht schaben. Geben mit dem Stahl Funken. Feldspat, Schwefelkies.

Halbhart. Geben mit dem Stahl nicht Funken und lassen sich mit dem Messer ein wenig schaben. Zinkblende, Flusspat.

Weich. Lassen sich mit dem Messer leicht schaben, widerstehen aber dem Fingernagel. Kupferkies, Bleiglanz.

Sehr weich. Lassen sich nicht nur sehr leicht schaben, sondern gestatten Eindrücke mit dem Fingernagel. Gyps, Kreide.

Die Mohs'sche Härtescala.

Die Prüfungsmittel Werners: Feile, Messer, Fingernagel sind für oberflächliche Untersuchungen wohl ausreichend und dienen insbesondere die beiden letzteren ja heute noch für flüchtige Unterscheidungen beim Bestimmen der Minerale, aber ihre schwankende Beschaffenheit veranlasste schon den berühmten fran-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zösischen Mineralogen Hauy im Beginne unseres Jahrhunderts,[1]) die relative Härte der Körper durch sie selbst zu prüfen, indem er versuchte, einen durch den andern zu ritzen. Dieser Methode gab Mohs in den Zwanzigerjahren jene Gestalt, welche uns allen sozusagen aus unseren Kinderjahren her in Erinnerung steht. Es war ein überaus glücklicher Griff, den dieser tonangebende Meister der physikalischen Untersuchungsrichtung in der Mineralogie gethan hat, denn wir sehen heute noch nach 70 Jahren seine Härtescala bei allen praktischen Versuchen in voller Anwendung stehen. Die von Mohs als Härtestufen aufgestellten Minerale sind die folgenden:

1. Talk 2. Gyps oder Steinsalz	Weich. Mit dem Fingernagel ritzbar.
3. Kalkspat 4. Flusspat	Halbhart. Mit weichem Eisen ritzbar.
5. Apatit 6. Feldspat (Adular)	Hart. Mit dem Stahl ritzbar.
7. Quarz 8. Topas	Sehr hart. Mit dem Stahl nicht mehr ritzbar; Funken gebend.
9. Korund 10. Diamant	Äußerst hart. Diamant nur durch sich selbst ritzbar.

Jedes der Glieder dieser Scala ritzt alle vorhergehenden und wird von allen nachfolgenden geritzt. Mohs bezeichnet diese Härten nun mit Zahlen nach einer von Kirwan zuerst angewendeten Idee. Diese

[1]) Traité de minéralogie, Paris 1801.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Zahlen sind aber nichts anderes als Nummern statt der Namen und bedeuten die 10 Grade einer Scala, deren Abstufung eine vollkommen willkürliche, also ungleichmäßige ist: wir messen die Härte noch nicht, sondern wir scheiden die Körper nur nach ihrer Härte in Rangsclassen oder Kategorien. Prof. F. Kick gebraucht diesbezüglich in einer Abhandlung über die Härte, auf welche ich noch wiederholt zu sprechen kommen werde, ein recht anschauliches Bild. Er vergleicht die Härtebestimmung nach der Mohs'schen Scala etwa damit, dass wir die Größe einer Person durch die bekannte Größe anderer Personen ausdrücken. Wir sagen z. B. Max ist größer als Moriz, kleiner als Karl, aber hiedurch wurde Max nicht exact gemessen!

Eine Verfeinerung der Mohs'schen Scala liegt darin, dass man für die mittleren Werte derselben auch Bruchtheile anzugeben vermag, je nachdem ein zu untersuchendes Mineral beim Streichen auf einer Feile im Vergleiche mit den benachbarten Gliedern der Härtescala durch die Größe des Widerstandes, das mehr oder weniger kreischende Geräusch und die Menge des abgeriebenen Pulvers beim Streichen Anhaltspunkte zu einer Beurtheilung seiner Stellung zwischen denselben gibt. Immer nur sind es Schätzungen oder Vergleiche mit der Härte bekannter Substanzen, welche wir auf diese Weise vorzunehmen vermögen, aber keine Messungen selbst nur relativer Härteunterschiede.

Ich erwähne daher nur flüchtig den Versuch Breithaupts, die Mohs'sche Scala dadurch zu ver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

bessern, dass er zwischen die zweite (Gips) und dritte (Kalkspat) Härtestufe den Talkglimmer und zwischen die fünfte (Apatit) und sechste (Feldspat) den Skapolith einschob, wodurch er zwölf Glieder erhielt, welche folgende Vergleichsreihe ergeben:

Mohs:	1,	2,		3,	4,	5,		6,	7,	8,	9,	10.
Breithaupt:	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,	12.

Ritzverfahren mit Nadeln aus verschiedenem Material.

Ein anderes Princip der Härtebestimmung wurde von Pansner in Petersburg im Jahre 1813, sowie später (1820) von Krutsch in Dresden angewendet: die vergleichende Härtebestimmung durch Ritzen mit verschiedenartigen Metallnadeln. Pansner bediente sich des Diamants, gehärteter Stahl-, ferner Kupfer- und Bleinadeln; Krutsch wendete Zinn-, Zink-, Eisen- und Stahlnadeln an. Aber erst Frankenheim hat in seiner Inauguraldissertation „De crystallorum cohaesione“ im Jahre 1829 gezeigt, welcher Ausbildung und Nutzanwendung diese Methode fähig ist, indem er sie mit großem Erfolge zur Prüfung der Härten der Krystallflächen nach verschiedenen Richtungen anwandte. Was vor ihm Hauy und Mohs nur vorübergehend erwähnten: die verschiedene Härte verschiedener Flächen desselben Krystalls, ebenso die Beobachtung Huyghens' am Kalkspat, die verschiedene Härte nach verschiedenen Richtungen auf derselben Fläche eines Krystalls konnte Frankenheim in

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zweifelloser Weise feststellen und eine Reihe von allgemein giltigen Gesetzen aufstellen, von welchen später noch die Rede sein wird (vgl. S. 621).

Die Virtuosität, mit welcher Frankenheim seine Nadeln — er wendete solche aus Zinn, Zink, Blei, Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Topas und Saphir an — gehandhabt hatte, blieb ohne Nachahmung; man beschränkte sich auf den Gebrauch der so viel bequemeren, wenn abgenützt, leicht durch erneutes Anschlagen auf die ursprüngliche Schärfe zu bringenden Mohs'schen Scalenglieder.

Das Sklerometer.

Da tauchte kurz nach dem Erscheinen der Frankenheim'schen Arbeit ein neues Verfahren auf, das von Seebeck[1]) angegeben wurde, und welches bahnbrechend wirken sollte für lange Zeit. Seebeck brachte auf einem Brette einen Schlitten an, der eine wagrechte Kreistheilung mit einer drehbaren Platte trägt, an welcher der Krystall befestigt ist. Ein Hebel mit einer Spitze, welche belastet werden kann, ist über der den Krystall tragenden Platte angebracht und gestattet, das Gewicht zu bestimmen, welches eben noch einen Ritz zu erzeugen im Stande ist, wenn der Krystall langsam mit der Hand unter der belasteten Spitze weggezogen wird. Ganz ähnlich

[1]) Über Härteprüfung an Krystallen, eine physikalische Abhandlung von Dr. A. Seebeck im Programme des Berliner Real-Gymnasiums, 1833.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ist der von R. Franz,[1]) wie er angibt, unabhängig von Seebeck construierte Apparat, welcher die Bewegung des Schlittens mit Hilfe einer Schraubenkurbel vollführt.

Durch Seebecks und Franz' Apparate war endlich die Möglichkeit gefunden, für die Härte ziffermäßige Werte zu erhalten. Franz gelangte mit Hilfe seines Apparates zu einer Reihe höchst beachtenswerter Resultate. Er verglich unter anderem die Glieder der Mohs'schen Scala[2]) und fand folgende Mittelwerte:

Mineral	Härte nach Mohs	Belastung in Gramm	
		der Stahlspitze	der Diamantspitze
Gyps	2	1·5	—
Kalkspat	3	9	—
Flusspat	4	36	—
Apatit	5	163	12
Feldspat	6	260	20
Quarz	7	—	34
Topas	8	—	43
Saphir	9	—	51

Die Stahlspitze selbst wurde bei einem Gewichte von 23 *g* von der Diamantspitze geritzt. Den Diamant konnte er nicht ritzen.

[1]) De corporum duritie. Inauguraldissertation, Bonn 1850. Deutsch in Poggendorffs Annalen, Band 80, S. 37.

[2]) Poggendorff a. a. O. S. 52.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Damit waren einer Messung der Härte die Wege geebnet und das Sklerometer (von σκλήρος = hart) erfunden. Seine präciseste Form erhielt es von dem im Jahre 1859 so jung verstorbenen Professor an der Wiener Universität, J. Grailich, und seinem Mitarbeiter F. Pekárek (1854). Das Instrument, welches ich Ihnen hier vorweise, ist genau nach dem Originale angefertigt, und verdanke ich die Möglichkeit, es den verehrten Anwesenden zu zeigen, der Güte unseres Herrn Präsidenten, Hofrathes v. Lang. Ich will die wesentlichen Bestandtheile in schematischer Weise kurz skizzieren. Die Fig. 1 der beigegebenen Tafel[1]) zeigt die Anordnung in übersichtlicherer Weise. Auf einem Dreifuße ruht eine Messingplatte *(A)*, welche drei Schienen *(s)* aus Stahl trägt, auf welchen ein Wagen *(W)*, der auf drei Rädern ruht, verschiebbar ist. Der Wagen trägt eine wagrechte Kreistheilung *(K)*, deren drehbare Platte mit einer Einspann- und Verschiebevorrichtung für den zu untersuchenden Krystall *(M)* versehen ist. Durch diese Kreistheilung wird es möglich, den Krystall auf der betreffenden genau wagrecht gestellten (meist vorher polierten) Fläche nach jeder beliebigen Richtung ritzen zu können und die gewählte Richtung durch das an der Theilung ablesbare Maß der Drehung festzulegen.

---

[1]) Nach der in der Abhandlung Prof. Grailichs enthaltenen Tafel. Sitzungsber. der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien, 1854, Band XIII, S. 410.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Das Ritzen selbst geschieht mit Hilfe einer Stahl- oder auch Diamantspitze *(r)*, welche von einem zweiarmigen Hebel *(H)* wie von einem Wagebalken getragen wird. Dieser ist durch eine Verschiebbarkeit der ihn tragenden Säule *(S)* in der Höhe verstellbar und wird durch eine Libelle *(L)* oder eine Zunge (*z*, vgl. Fig. 2) wie bei einer Wage zum wagrechten Einspielen gebracht. In diesem Augenblicke muss die ritzende Spitze die Krystallfläche gerade berühren. Damit nun bei der Verschiebung des Wagens, welche entweder aus freier Hand erfolgt oder durch Auflegen von Gewichten auf die Schale *(P)*, die mittels einer Rollenschnur den Wagen zieht, ein Ritzen stattfinden kann, muss der Stift belastet werden.

Das Gewicht, welches auf die Wagschale *(G)* oberhalb des Stiftes gegeben werden muss, um eben noch einen sichtbaren Ritz zu erzielen, ist das Maß für die Härte der Krystallfläche in der gewählten Richtung.

Bevor wir nun die überaus wichtigen Resultate, welche auf mineralogischem Gebiete mit dem so verbesserten Messapparate erzielt wurden, näher betrachten, gestatten Sie, hochverehrte Anwesende, dass ich Sie auf ein anderes Gebiet führe, welches Ihnen sofort zeigen soll, welche Nutzanwendungen die bisher erörterten Untersuchungen auf praktischem Boden zu finden bestimmt sind.

Ich wähle zu diesem Zwecke zunächst das Feld der Metallurgie.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

In den so mannigfaltigen Anforderungen, welche der seit Beginn unseres Jahrhunderts in ungeahntem, stets wachsendem Aufschwunge befindliche Maschinenbau an die Technologie seiner Materialien stellte, musste gar bald die Frage nach der Bestimmung der Härte sich zu den Bemühungen gesellen, jede Art von Festigkeit zu messen.

So sehen wir denn, nachdem die Arbeiten der Mineralogen und Physiker durch die Construction des Sklerometers schon bis zu einem hohen Grade von Vollkommenheit gediehen waren, Untersuchungen von ganz anderer Art auftauchen, welche durch die Bedürfnisse der technischen Praxis veranlasst wurden und die Frage nach einer Messung der Härte der Metalle auf einem anderen, wie wir gleich bemerken können, weit unvollkommeneren Wege zu lösen trachteten.

Kerbenmethoden.

Die Herren F. Crace Calvert und Richard Johnson veröffentlichten im Jahre 1858 in den Mem. of the Literary and Philosoph. Soc. at Manchester, XV. Band,[1]) eine Methode, welche darin bestand, dass sie einen abgestutzten Stahlkegel von 5 *mm* Dicke und $1^1/_2$ *mm* Breite der abgestumpften Spitze (vgl. die Tafelfigur 4) in das zu untersuchende Material pressten, und zwar so, dass sie das Gewicht als Ausdruck für die

---

[1]) S. auch Poggendorff, Annalen, 108. Band, 1859, 3, S. 575.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Härte betrachteten, welches nöthig war, um diesen Kegel in 30 Minuten 3·5 *mm* tief einzupressen.

Sie ordneten nach den Ergebnissen ihrer Untersuchungen, die hauptsächlich die Ermittlung der Härte verschiedener Legierungen (Messing- und Bronzearten, sowie Bleilegierungen) zum Zwecke hatten, die Metalle in eine Reihe, welche den größten Betrag für kalt geblasenes graues Roheisen von Staffordshire („Nr. 3") erreichte, und deren Verhältniswerte in der nachstehenden Tabelle, den Maximalwert des Roheisens = 1000 gesetzt, angegeben sind.

Tabelle der Härte der Metalle nach Calvert und Johnson.

Material	Mohs	Gewicht, engl. Pfund	
		angewandt	berechnet für Roheisen = 1000
Roheisen von Staffordshire	6—7	4800	1000
Stahl	6	4600 (?)	958 (?)
Stabeisen aus obigem Roheisen	5	4550	948
Platin	5—4	1800	375
Kupfer, rein	3—2·5	1445	301
Aluminium		1300	271
Silber, rein	3—2·5	1000	208
Zink, rein		880	183
Gold, rein	3—2·5	800	167
Cadmium, rein . . .		520	108
Wismuth, rein . . .	2·5	250	52
Zinn, rein	2	130	27
Blei, rein	1·5	75	16

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Prof. F. Kick gab vor kurzem in einer Studie: „Über die ziffermäßige Bestimmung der Härte und über den Fluss spröder Körper",[1]) einer anlässlich eines Vortrages im Österr. Ingenieur- und Architektenvereine veröffentlichten Arbeit, die uns noch weiter beschäftigen wird, eine Kritik der Calvert-Johnson'schen Methode, welche schon bei etwas spröderen Legierungen undurchführbar wird. Es springen nämlich die Probestücke entzwei, bevor die konische Stahlspitze bis auf jenes Maß (3·5 *mm* Tiefe) eingedrungen ist, welches den Vergleichen zugrunde gelegt wurde.

Ganz ähnliche Nachtheile haften anderen Methoden an, welche die fortschreitende Metalltechnik, der die Ermittlung der Festigkeitsverhältnisse ihrer Materialien, soweit sie anderen Beanspruchungsarten unterzogen wurden (Zug-, Druck- und Scherfestigkeit), mit ausgezeichneten Maschinen so vortrefflich gelungen war, ersann, um auch der Frage der Härtebestimmung besser zu entsprechen.

Prof. Kick fasst alle jene Verfahren, welche wie Calvert und Johnson die Härte durch Eindrücken oder Einschlagen fremder Körper in das zu untersuchende Material bestimmen wollen, unter dem gemeinsamen Namen der Kerbenmethoden zusammen.

Der Vollständigkeit halber seien einige dieser

---

[1]) Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines, XLII. Jahrgang, 1890, S. 1.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

für spröde Körper durchwegs unanwendbaren Methoden nach den Angaben in der Arbeit Prof. Kicks noch kurz angeführt:

Muschenbrock (1882) zählt die Schläge, welche nöthig sind, um eine kleine Barre des zu untersuchenden Materials mit einem Meißel zu durchschneiden.

Middeberg lässt statt der Schläge einen ruhigen Druck von bestimmter Größe auf den Meißel wirken.

v. Kerpeli (1888) schlägt einen Kreiskegel in das zu untersuchende Material, stets mit gleicher Kraft, und misst den Durchmesser des Grundkreises des eingedrückten Hohlkegels.

An dieser Stelle dürfte unter den bezüglichen Methoden jene von Interesse sein, welche ein vaterländischer Technologe von großem Rufe, General v. Uchatius, zur Anwendung brachte.[1]) v. Uchatius wählte einen Meißel mit flach gekrümmter und abgerundeter Schneide, wie dies die Fig. 3 der Tafel veranschaulicht. Dieser Meißel wurde auf eine ebene Platte des zu prüfenden Materiales gesetzt und durch ein aus 25 *cm* Höhe herabfallendes Gewicht von 2 *kg* eingetrieben. Die Länge der Hiebmarke gab ein relatives Maß für die Härte: „Je länger die Kerbe ausfiel, desto weniger hart war das Metall.“ Eine Tabelle möge die Resultate der Untersuchungen v. Uchatius' illustrieren.

---

[1]) „Stahlbronze“, Vortrag, gehalten am 10. April 1874 im k. k. Artilleriearsenal von Franz R. v. Uchatius, k. k. Artillerie-Oberst.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Härte von Geschützmaterialien nach v. Uchatius.

Material	Länge der Hiebmarke in *mm*	Relative Härte
Geschützgusseisen	10·2	100
Bronze, natürlich	12·5	82
„ gewalzt	10·2	100
Schmiedeisen, steirisches, in dünnen Stäben	10·5	97
Krupp-Stahl	10·5	97
Stahlbronze, nächst der Bohrung .	10·5	97
„ an der Außenwand .	12·0	85

Resultate der sklerometrischen Untersuchungen.

Nach dieser Abschwenkung auf technologisches Gebiet wollen wir wieder zu unseren eingangs besprochenen Ritzverfahren zurückkehren, um zu hören, von welcher großen Bedeutung die mit Hilfe des Sklerometers gewonnenen, obgleich nur relative Zahlenwerte für die Härte liefernden Resultate in der Mineralogie gelangt sind.

So wie die Cohäsion nicht in allen Krystallen eine gleichförmige ist, sondern sich bei vielen Mineralen bestimmte Richtungen erkennen lassen, in welchen der Zusammenhang der Theilchen einen geringsten Betrag hat, wo also eine oder mehrere Richtungen häufigsten Bruches (Spaltbarkeit) bestehen, so ist auch die Härte an demselben Krystall in verschiedenen Flächen nicht nur, sondern sogar in verschiedenen Richtungen auf einer und derselben Krystallfläche verschieden.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Schon Frankenheim spricht es ganz bestimmt aus, was durch andere Untersuchungen in zweifelloser Weise festgestellt wurde: dass, wie alle physikalischen Eigenschaften der Krystalle, auch der Betrag der Härte auf verschiedenen Flächen oder in verschiedenen Richtungen derselben Fläche abhängig sein müsse von der krystallographischen Richtung und in Übereinstimmung stehen müsse mit der Symmetrie des Krystalls. Er sagt dies mit den Worten: „Jene Linien, die für den Krystallographen gleichwertig sind, sind es auch in sklerometrischer Beziehung."

Seither haben seine Entdeckungen ihre ziffermäßige Rechtfertigung gefunden, und zwar sowohl durch die Arbeiten der ersten Forscher, welche sich des Sklerometers bedienten, Seebeck und R. Franz, ferner Grailich und Pekárek, als auch in überaus gründlicher Weise durch Prof. Franz Exner, welcher im Jahre 1873 seine mit dem Grailich'schen Instrumente ausgeführten Arbeiten in einer von der kais. Akademie preisgekrönten Schrift veröffentlichte.

Die Gesetze der Härte, welche sich aus den Arbeiten der vorgenannten Forscher ergeben, lassen sich kurz in folgende Punkte zusammenfassen:[1])

1. Härteunterschiede kommen bloß an solchen Krystallen vor, welche eine Spaltbarkeit besitzen.

2. Die Spaltungsflächen haben die geringste, jene

---

[1]) Vgl. Tschermak, Lehrbuch der Mineralogie, Wien 1884, S. 136.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Flächen, welche dazu senkrecht stehen, die größte Härte.

3. Ist eine Fläche senkrecht zur Spaltung, so zeigt sie in einer Richtung parallel zur Spaltung die geringste, senkrecht zur Spaltung die größte Härte.

4. Ist eine Fläche schief zur Spaltung, so ergibt sich sogar ein Unterschied auf derselben Linie, indem sich die größere Härte zeigt, wenn die Spitze sich vom stumpfen Spaltungswinkel gegen den scharfen zu bewegt.

5. Ist eine Fläche parallel zur Spaltung und wird sie von keiner ferneren Spaltung getroffen, so zeigt sich auf derselben kein Härteunterschied.

Einige Beispiele mögen die aufgestellten Gesetze erläutern.

Drückt man nach Exner das Gewicht, welches zur Bildung eines Ritzes erforderlich war, durch eine Länge aus und trägt die betreffende Länge in der Richtung des Ritzes von einem Punkt aus auf, so erhält man dadurch, dass man alle Werte, welche man in den verschiedenen Richtungen einer Fläche gefunden hat, verbindet, eine Härtecurve. Diese ist ein Kreis, falls keine Härteunterschiede auftreten, eine Ellipse auf Flächen, welche senkrecht zu einer einzigen Spaltungsfläche stehen (vgl. Fig. 3 auf S. 624). Auf allen anderen Flächen entsteht eine gelappte Figur, deren Form von der Symmetrie der Krystallfläche abhängig ist. Ich wähle als Beispiele zunächst zwei Minerale, deren Krystallform gleich, deren Spaltbarkeit aber verschieden ist: das Steinsalz und den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Flusspat. Untersucht man die Würfel-, beziehungsweise Oktaëderflächen ihrer Krystalle, so erhält man folgende Härtecurven.

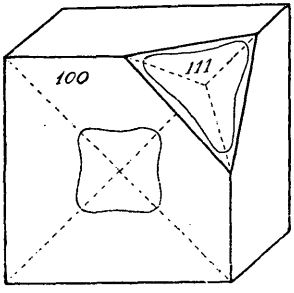


Fig. 1.
Härtecurven am Steinsalz.

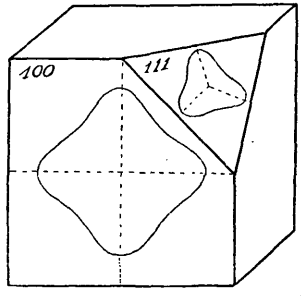


Fig. 2.
Härtecurven am Flusspat.

Ihre Form findet leicht ihre Erklärung dadurch, dass man sich vergegenwärtigt, Steinsalz hat seine Spaltbarkeit nach den Würfelflächen *(100)*, also parallel dazu die geringste, nach der Diagonale die größte Härte, während beim Flusspat, welcher nach dem Oktaëder *(111)* spaltet, die Verhältnisse entgegengesetzt liegen.

Ein Glimmerkrystall (Fig. 3) zeigt auf seiner Spaltungsfläche *(001)* eine kreisförmige Härtecurve, während die dazu senkrechte Längsfläche *(010)* eine Ellipse aufweist, deren längerer Durchmesser senkrecht zur Spaltungsrichtung verläuft.

Der Calcit (Fig. 4) zeigt auf seiner rhomboëdrischen Spaltungsfläche *(10$\bar{1}$1)* eine große Variabilität

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

der Härte nach den verschiedenen Richtungen. Der geringste Wert findet beim Ritzen vom spitzen gegen den stumpfen Spaltungswinkel statt (in der kürzeren Diagonale gegen die Polecke), der größte entgegengesetzt dazu (von der Polecke weg). Die längere Diagonale zeigt nach beiden Richtungen gleiche Mittel-

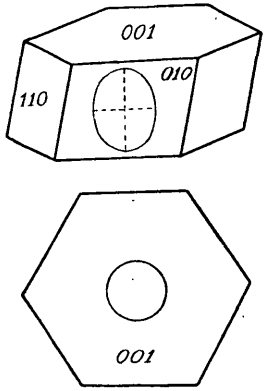


Fig. 3.
Härtecurven am Glimmer.

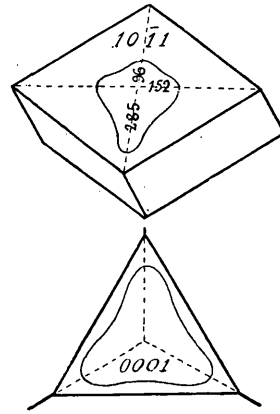


Fig. 4.
Härtecurven am Calcit.

werte. Die Zahlenwerte 96:152:285 sind Grailichs und Pekáreks Messungen entnommen. Die Verhältnisse auf der Basisfläche *(0001)* zeigt das zweite Bild.

Von solch bedeutender Art war die Förderung, welche die Wissenschaft durch die Anwendung des Apparates, den die Anwesenden hier vor sich sehen, erhielt.

Ich will aber nun, in meinem Thema weitergehend,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Umschau halten, ob das am Sklerometer so glücklich angewendete Princip des Ritzens nicht noch nach anderer Richtung hin zu ergebnisreicher Anwendung gelangte. Zu diesem Zwecke möge hier jene Gruppierung der verschiedenen Ritzverfahren (im weiteren Sinne) angeführt sein, welche Prof. Kick in seiner bereits mehrfach erwähnten Studie über Härtebestimmung[1]) gegeben hat.

Allen Methoden gemeinsam ist, dass ein (absolut oder relativ) bewegter ritzender Körper gegen das Probestück gedrückt wird; man bestimmt entweder:

1. den Druck, welcher nöthig ist, um für die Weg- oder Zeiteinheit einen bestimmten Theil des Probekörpers fortzuarbeiten, oder

2. den Verlust (Gewichts- oder Volumabnahme), den der Körper durch den ritzenden Gegenstand bei bestimmter Belastung in der Weg- oder Zeiteinheit erleidet, oder

3. den Druck, welcher eben noch ausreicht, um an dem Probekörper eine dem bloßen Auge oder nur mit optischen Hilfsmitteln bemerkbare Spur zu hinterlassen.

In der zuletzt erwähnten Gruppe haben die verehrlichen Anwesenden bereits diejenige erkannt, in welche die sklerometrische Methode einzureihen ist, und es erübrigt zur Vervollständigung nur noch die Angabe, dass die neueren Bestrebungen einerseits

---

[1]) A. a. O. S. 3.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Prof. Turners[1]) in England, andererseits Prof. Martens',[2]) des Vorstehers der technischen Versuchsanstalt in Charlottenburg und eifrigen Fürsprechers dieser Methoden, dahin gehen, die Ritzspur für den Moment der Messung entweder bis zur Grenze der Sichtbarkeit zu vermindern (Turner) oder auf ein bestimmtes Maß — 0·005 *mm* bei 90° Spitzenwinkel des Diamantkonus — zu bringen (Martens).

Das Sklerometer kann in der Form, wie es vorliegt, nur zur Untersuchung der Härte homogener Körper Verwendung finden, denn es ist klar, dass die ritzende Spitze auf ihrem Wege nicht verschiedenerlei Substanzen begegnen darf, soll der in der Belastung gefundene Gewichtsbetrag als Ausdruck für die Härte gelten können. Diese Voraussetzung findet nun in vielen Fällen derjenigen Untersuchungen, welche praktischen Zwecken dienen sollen, nicht statt. Wir haben ja gesehen, dass sich die Härte selbst auf derselben Fläche eines Krystalls als sehr veränderlich erweist, und man ist daher gezwungen, überall da, wo sich verschiedene Krystallindividuen zu einem Ganzen gesellen oder sich, um mineralogisch zu sprechen, aggregieren, oder wo gar verschiedene Minerale sich

---

[1]) Proceedings of the Birmingham Philosophical Society. Die ritzende Spitze ist ein kegelförmig geschliffener Diamant, welcher am Wagebalken einer Schnellwage mit Laufgewicht befestigt ist.

[2]) Sitzungsberichte des Vereines für Gewerbefleiß, 1889, S. 198. Sitzung vom 7. October.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

an der Zusammensetzung eines Körpers, den wir dann ein gemengtes Gestein nennen, betheiligen, Mittel zu finden, um ein Durchschnittsmaß der Härte anzugeben.

Es bleibt nun zu erörtern, in welcher Weise die von Prof. Kick unter Punkt 2 zusammengefassten Modificationen der Ritzverfahren, welche den Verlust bestimmen, den der Probekörper bei gegebener Beanspruchungsart erleidet, zu diesem Zwecke zu verwenden sind.

Ich schicke gleich voraus, dass gerade diese Methoden trotz mancher ihnen anhaftender Mängel für die Praxis nach vielen Richtungen bedeutend geworden sind, theils weil sie für die Härtebestimmung Beanspruchungsarten wählten, welche bei der technischen Nutzanwendung thatsächlich stattfinden, theils weil das Resultat der Beanspruchung eine Gewichts- oder Volumsverminderung des Untersuchungsmaterials bedingt, welche jener der Abnützung beim Gebrauche völlig gleichkommt und mit Wage oder Maßstab leicht bestimmt werden kann.

Im Nachstehenden sei versucht, Ihnen einige dieser Methoden kurz zu charakterisieren.

Härtebestimmung durch Hobeln. Mesosklerometer.

Prof. Fr. Pfaff in Erlangen benützte als Maßstab für die Härte den Volumsverlust, den ein Körper dadurch erleidet, dass eine constant bleibende Spitze oder Schneide unter stets gleicher Belastung ritzend oder

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

hobelnd über die untersuchte Fläche hingeführt wird. Er wendet einen meißelförmigen Diamantsplitter von der Breite eines Millimeters an, der hundert- oder tausendmal mit constantem Drucke etwa 20 *mm* weit über die horizontale, vorher fein geschliffene Krystallfläche so geführt wird, dass schließlich eine Rinne entsteht. Der Gewichtsverlust des Probekörpers gibt durch Division durch das specifische Gewicht das Volumen der abgekratzten Theile. Bei gleichem Flächeninhalte der gehobelten Streifen verhalten sich die Härten zweier Minerale umgekehrt wie die Tiefen der erzeugten Hobelrinnen.[1])

Auf diese Weise wurde wie beim Sklerometer die Härte nach bestimmten Richtungen auf einer Krystallfläche gemessen. Pfaff construierte aber auch einen Apparat, durch welchen es möglich wurde, die Durchschnittshärte einer Krystallfläche zu ermitteln, und nannte dieses Mittelwerte liefernde Instrument ein „Mesosklerometer". Er brauchte nur die

---

[1]) Näheres über Pfaffs Apparate und die damit erzielten Resultate siehe in dessen Originalarbeiten: „Versuche, die absolute Härte der Mineralien zu bestimmen", Sitzungsber. der math.-physik. Classe der königl. bayr. Akademie der Wissenschaften, 1883, Heft I, S. 55; ferner „Untersuchungen über die absolute Härte des Kalkspates und Gypses und das Wesen der Härte", ebenda 1883, Heft III, S. 372; endlich „Das Mesosklerometer, ein Instrument zur Bestimmung der mittleren Härte der Krystallflächen", ebenda 1884, S. 255, Abbildung S. 258.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Bewegung des Diamantmeißels anstatt in einer geraden Linie kreisförmig wirken zu lassen (bohren statt hobeln), um zum Ziele zu gelangen. Durch die Verwendung eines Fühlhebelapparates, welcher es ermöglicht, die Tiefe der Bohrungen vollkommen gleich zu machen, gelangte Pfaff dazu, die Härte der Zahl der Bohrerdrehungen proportional setzen zu können.

Flächenhärten an Gliedern der Mohs'schen Scala nach Pfaff.

Speckstein		1
Steinsalz,	Würfelfläche	7
Kalkspat	Endfläche	3
	Rhomboëderfläche	8
	Säulenfläche	27
Flusspat	Oktaëderfläche	19·5
	Würfelfläche	20
Apatit	Endfläche	28
	Säulenfläche	48
Adular	Basisfläche	100
	Längsfläche	109
Quarz	Endfläche	133
	Säulenfläche	180
Topas,	Endfläche	240
Korund,	deutlichste Spaltungsfläche	340

Härtebestimmung durch Bohren (Bohrfestigkeit).

Es muss ein Maß für die Härte eines Körpers abgeben, wenn wir nach irgend einer Methode den Widerstand messen, den er dem Eindringen eines fremden Körpers entgegensetzt. Wählen wir als solchen einen Bohrmeißel, dessen Angriffsart ja in

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einem Losreißen (Abscheren) und theilweisen Zermalmen der an der Bohrlochsohle anstehenden Körpertheile besteht, so haben wir in den Einzelangriffen auch nichts anderes als ein Ritzen oder Einkerben vor uns; eine ganze Serie solcher Angriffe liefert uns aber als Schlussergebnis ein Bohrloch, d. i. einen Volumsverlust des untersuchten Körpers, welcher bei gleichem Aufwande von Bohrarbeit um so größer sein muss, je geringer die Härte des angebohrten Materials ist. Auf diesem Wege gelangt man zur Bestimmung von Durchschnittshärten, denn es ist gleichgiltig, ob man es bei der großen Zahl der Einzelangriffe mit einem homogenen Körper oder einem Gemenge verschiedener Substanzen zu thun hat.

Seit den Fünfzigerjahren, wo der belgische Artillerie-Major Coquilhât[1]) zur Bestimmung der Arbeitsfestigkeit von Geschützmetallen durch das Abbohren eines Bohrloches die Arbeitsgröße ermittelte, welche pro Cubikdecimeter erbohrtes Volumen aufzuwenden war, wurden vielfache Versuche in der bergmännischen Praxis angestellt, den Widerstand zu messen, welchen das Gestein dem Abbohren eines Sprengloches entgegenstellt. Zumeist waren dies nur unvollkommene Versuche, welche sich mit der Ermittlung von Relativzahlen begnügten oder aber die Arbeitskräfte maßen, welche pro Tiefenmeter Bohrloch erforderlich waren.

---

[1]) Annales des travaux publics de Belgique, X. Band, 1851 und 1852, S. 199.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Prof. v. Ržiha an der k. k. technischen Hochschule in Wien hat in den Jahren 1884 und 1888 zuerst diesen Widerstand in mathematisch präciser Form dadurch definiert, dass er den Begriff der Bohrfestigkeit aufstellte und damit die Arbeitsgröße bezeichnet, welche zur Erschließung eines Cubikcentimeters Bohrloch erforderlich ist.

Die Aufstellung dieses Festigkeitsbegriffes ist ein wesentlicher Fortschritt, denn er gestattet zum erstenmale für die Härte ein absolutes Maß: die Arbeit, ausgedrückt in Meterkilogrammen, einzuführen, also eine Größe, welche, jeglicher Schätzung entrückt, in bestimmter Weise allgemein vergleichbare Messungsresultate liefert. Prof. v. Ržiha führte eine Reihe von Vorarbeiten und daraus gewonnener Resultate auf diesen gemeinsamen Begriff zurück und stellte eine Tabelle von Gesteinskategorien auf, welche nach ihrer Bohrfestigkeit gruppiert sind. Er unterscheidet in seiner grundlegenden Arbeit: „Die Bohrfestigkeit der Gesteine“ [1]) innerhalb der festeren Gebirgskategorien III und IV (I = Stechboden, II = Hackboden, III = gebräches Gestein, IV = Sprenggestein) die folgenden Unterabtheilungen, für welche in der nachstehenden Tabelle die betreffenden Werte für die Bohrfestigkeit angeführt sind:

---

[1]) Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines, 1888, S. 145 und 146. Siehe darin auch alle Literaturangaben über Bohrversuche.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle der Bohrfestigkeit der Gesteine nach v. Rziha.

Nr. der Gebirgskategorie	Bezeichnung des Gesteines in der Praxis		Art der Gewinnung	Bohrläufige Zahl der Schüsse pro Schicht	Annähernde Druckfestigkeit in *kg* pro 1 cm^2	Annähernde Scherfestigkeit in *kg* pro 1 cm^2	Bohrfestigkeit in *mkg* pro 1 cm^3
IIIa	mürbes	gebräches Gestein	brechen	—	100—150	1—15	2
IIIb	festes	gebräches Gestein	brechen, Schüsse vereinzelt	—	150—300	15—30	6
IVa	festes	Sprenggestein	sprengen	3—5	300—500	30—50	18
IVb	sehr festes	Sprenggestein	„	2—3	500—800	50—80	39
IVc	höchst festes	Sprenggestein	„	1—2	800—2000	80—200	67

Es ist uns also durch das Abbohren eines Bohrloches ein höchst ausgezeichnetes Mittel gegeben, für Gesteine die Härte ziffermäßig und absolut zu messen, und schlägt man dabei vortheilhaft die folgende Methode ein, welche ich Gelegenheit hatte, vor drei Jahren anlässlich einer Untersuchung über den Härtegrad verschiedener Pflasterungsmaterialien, mit welcher mich Prof. Toula betraut hatte, in Anwendung zu bringen.[1])

[1]) Vergl. die diesbezügliche Abhandlung in der Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines, 1890, S. 115.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dieses Verfahren läuft darauf hinaus, die Arbeitsgröße zu messen, welche der auf den Bohrmeißel fallende Hammer (Fäustel) an der Schneide des Meißels abgibt. Diese Arbeit wird zur Überwindung des Härtewiderstandes des Gesteines verbraucht. Ich wendete nun zu diesem Zwecke eine Methode an, welche von dem französischen Ingenieur Havrez herrührt,[1]) der die Arbeit aus der Schlagzeit und Weglänge des geschwungenen Fäustels berechnet. Die Fig. 5 der Tafel gibt den Weg, den der Schwerpunkt des Fäustels bei der Arbeit beschreibt, in photographischer Verjüngung wieder. Bei einem der angestellten Versuche wurden folgende Beobachtungen gemacht, deren Beziehungen zu einander durch einfache mechanische Gesetze begründet sind:

Nach Havrez:

Weglänge . . $2s = 63\ cm$

Schlagzahl pro Minute $n = 96$

Schlagzeit . . . . . $t = 0{\cdot}39\,\frac{60}{n} = 0{\cdot}24$ Sec.

Endgeschwindigkeit . $v = \frac{2s}{t} = 2{\cdot}58\ m$

Fäustelgewicht . $Q = 1{\cdot}725\ kg$

Mechanische Arbeit eines Schlages . . $A = 0{\cdot}585\ mkg$

Man kann aber auch dadurch, dass man beim Bohren ein Gewicht, etwa wie beim Einrammen eines

[1]) Revue universelle des mines, 1876, Band 39, I, S. 519.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Pfahles den Rammbär frei herabfallen lässt, die aufgewendete Arbeitsgröße (Meterkilogramme) messen, welche unter dieser Voraussetzung gleich ist dem

Gewichte (in Kilogramm) × Fallhöhe (in Meter).

Misst man nun auf irgend eine Weise den Cubikinhalt des cylindrischen Bohrloches, welches nach einer bestimmten Zahl von Schlägen entsteht, so kann man die Größe der Arbeit finden, welche auf einen Cubikcentimeter des Bohrloches entfällt: die Bohrfestigkeit Prof. v. Ržihas.

Diese Bohrfestigkeit ist aber, wie die Messungen, welche ich durchführte, bewiesen haben, abhängig von der Weite (dem Durchmesser) des Bohrloches. Aus analogen Gründen, aus welchen, wie Prof. v. Ržiha darthat,[1]) ein Cubikmeter Raum beim Auffahren eines kleinen Stollens viel mehr kostet als beim Ausweiten eines großen Tunnels, kommt auch in unserem Falle ein Cubikcentimeter im engen Bohrloche theurer an Arbeit zu stehen als bei einem weiteren.

In der nachstehenden Tabelle sind die Bohrfestigkeiten einiger Gesteine, wie ich sie für das Bohrloch von 1 *cm* Weite (welche ich „Reducierte Bohrfestigkeit“ nannte) und jenes von 3 *cm* Weite fand, angegeben.

---

[1]) Centralblatt der Bauverwaltung, 6. Band, 1886, S. 395. Das Gesetz der Gesteinsverspannung. Abgeleitet aus den Ergebnissen beim Tunnel von Altena in Westphalen, sowie beim Spitzbergtunnel in Böhmen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle der Bohrfestigkeiten.[1])

Material	Bohrfestigkeit in Meterkilogramm pro 1 cm^3	
	für das „1 *cm*-Bohrloch"	für das „3 *cm*-Bohrloch"
Gabbro (Hypersthenit) Drosendorf, Niederösterr. .	168·7	34·9
Gneisgranit aus dem Bachergebirge .	115·2	25·0
Dichter Kalk Mittelwerte	68·4	22·8
Leithakalke		
a) Kaiserstein	63·1	13·7
b) Hundsheim (Conglomerat)	53·7	11·7
c) St. Margarethen . . .	27·3	6·0
d) Breitenbrunn	21·5	4·6
Serpentin Rothengrub	52·6	12·6
Sandstein, feinkörnig Gosau	39·1	13·1

Es gibt aber noch ein Verfahren (eine zweckentsprechende Modification der Härtebestimmung durch Ritzen), welches in hohem Grade geeignet ist, für die Bedürfnisse der praktischen Nutzanwendung zu maßgebenden Resultaten zu führen; es ist die

[1]) Auszug aus der Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines, 1890, S. 123—125.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Härtebestimmung durch Schleifen.

Schleifen ist ja nichts anderes als ein multipliciertes Ritzen, das schon die alten Mineralogen bei Benützung der Feile, wie ich eingangs meines Vortrages zu zeigen Gelegenheit hatte, angewendet haben.

In neuerer Zeit waren es besonders die Prüfungsanstalten für Baumaterialien, welche dieser Art der Härtebestimmung ihr Augenmerk zuwendeten, und haben es angesehene Technologen sich zur Aufgabe gemacht, zweckentsprechende Apparate zu construieren, welche vergleichende Messungen gestatteten. Ich will nur einen derartigen Apparat herausgreifen, welchen Prof. Bauschinger an der königl. techn. Hochschule in München erfand, und der sein Vorbild in einem rotierenden Mühlsteine hatte, welchen die städtische Verwaltung von Paris in der Weltausstellung des Jahres 1878 vorführte. Dieser Apparat diente schon längere Zeit zur vergleichenden Prüfung von Pflasterungsmaterialien. Bauschinger[1]) ersetzte den in seiner Qualität variablen Mühlstein durch einen wagrechten, von einem Motor in Drehung versetzten kreisrunden eisernen Tisch, auf welchen er in bestimmter Weise Smirgel aufträgt, und zwar so, dass bei je 10 Touren immer 20 *g* Smirgel aufgestreut und wieder abgestreift werden. Die zu prüfenden Körper haben Würfelform (von circa 10 *cm* Kantenlänge) und werden

[1]) Mittheilungen aus dem mechan.-techn. Laboratorium der königl. techn. Hochschule in München, 11. Heft, 1884.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

durch einen Hebel mit Gewichten so auf die rotierende Scheibe gedrückt, dass sie unter einem Drucke von 30 bis 40 *kg* stehen. Ihre mittlere Entfernung vom Mittelpunkte des Drehtisches beträgt 49 *cm*. Nach je 200 Touren werden die Gewichtsverluste bestimmt, welche ein relatives Maß für die „Abnützung" oder „Abnutzbarkeit", wie Bauschinger diese Art der Härteprüfung heißt, ergeben.

Ein von meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Toula, angewendetes Verfahren, welches die Ermittlung der Durchschnittshärte auf einem anderen Wege erreicht, schließt sich der vorbesprochenen Schleifmethode an. Prof. Toulas Princip ist folgendes: Eine bestimmte gewogene Menge des Schleifmaterials (es wurden anfänglich 5 *g* Smirgel angewendet) wird auf einer matten Glastafel mit dem zu untersuchenden Gesteine so lange zerrieben, bis das angeschliffene Probestück keine merkliche Gewichtsabnahme mehr erfährt.

Man begreift, dass diese Art der Beanspruchung, indem sie die Methoden der Technologen aus dem Großen ins Kleine übersetzte und dadurch die Hilfsmittel der Untersuchung kleiner Massenveränderungen, d. h. die Präcisionswagen der analytischen Chemie zur Messung heranzuziehen erlaubte, in Bezug auf die Genauigkeit der Beobachtung ein großer Fortschritt war. Ich selbst, der mit der Durchführung der Versuche an den zu untersuchenden Materialproben beauftragt war, nahm diese Arbeit zum Anlasse, um seither eine Reihe von Gesteinen und Mineralen in ähnlicher, etwas

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

modificierter Weise auf ihre Durchschnittshärte zu prüfen.[1])

Ich werde mir erlauben, einige der Resultate, welche ich durch Anwendung dieser Methode zu erzielen im Stande war, zum Schlusse meiner Ausführungen mitzutheilen.

Gestatten Sie mir aber, hochverehrte Anwesende, vorher nochmals jener Frage nahezutreten, welche ich am Beginne meines Vortrages aufwarf:

Was ist Härte?

Wir maßen sie einmal durch die analoge Cohäsion einer Stufenleiter von Substanzen (Härtescala), dann durch ein Gewicht, also eine Kraft (am Sklerometer), später durch eine Arbeit (die Zahl der Meterkilogramme für 1 cm^3 Bohrloch), jetzt durch einen Substanzverlust, dessen relative Größe wohl scharfe Messungen gestattet, aber über das Wesen der Härte keinen Aufschluss gibt.

In dieser Hinsicht nun sind Untersuchungen Prof. Kicks,[2]) obwohl sich deren Resultate noch nicht allgemeiner Annahme zu erfreuen haben, von einschneidender Bedeutung. Ich will nur kurz anführen, zu

[1]) Eine genaue Angabe des dabei eingeschlagenen Verfahrens konnte ich vor einem Jahre in meinem Habilitationsvortrage vor dem Professoren-Collegium der k. k. techn. Hochschule in Wien machen. Nähere Mittheilungen sind für die Sitzungsber. der kais. Akademie der Wissenschaften, sowie für die Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines bestimmt.

[2]) S. oben. Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architektenvereines, 1890, S. 1, und 1891, S. 59.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

welchem Schlusse Kick durch seine Beobachtungen an den beiden Substanzen Zinn und Schellack geführt wurde. Dadurch, dass er einen Apparat construierte, welcher eine vollkommene Art der Abscherung ermöglichte, und damit die genaue Ermittlung jener Festigkeit erreichte, die bei Beanspruchungen durch Kräfte geweckt wird, welche in der Richtung der Trennungsfläche wirksam sind, gelangte er zur Aufstellung des Satzes: „Härte ist Scherfestigkeit."

Es wäre dies eine vollkommen scharfe Präcisierung des Begriffes, an welcher nichts mehr zu wünschen bleibt als eine dieselbe zweifellos erhärtende stattliche Versuchsreihe.

Und nun erbitte ich mir Ihre gütige Aufmerksamkeit noch zu einigen Excursionen in das weite Gebiet praktischer Fragen.

I. Wie beurtheilt man die Bausteine?

Von den vielen Materialproben, welche in Bezug auf Festigkeit und Härte an der k. k. technischen Hochschule vorgenommen werden, wählte ich mir einige Beispiele aus, die zumeist in Wien in Verwendung stehende Baumaterialien betreffen, und welche ich den verehrten Anwesenden in der folgenden Übersicht vorführe.

Die betreffenden Gesteine sehen Sie hier vor sich. Es sind angebohrte Probewürfel von etwa 10 *cm* Kantenlänge, sowie für die Härteprobe kleinere abgeschlagene Stücke von ein paar Gramm Gewicht. Ich

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

verdanke sie der Güte des Herrn Professors Toula, der mir das Material für den heutigen Vortrag zur Verfügung stellte.

Tabelle der Festigkeitsverhältnisse einiger Gesteine.

Material	Druckfestigkeit		Bohrfestigkeit des 1 *cm* weiten Bohrloches		Härte[1])	
	kg pro 1 cm^2	%	*mkg* pro 1 cm^3	%	$H = \frac{1}{V}$	%
Gabbro Drosendorf	1200	100	168·7	100·0	1·050	100·0
Granit[2]) Bachergebirge . .	1100	92	115·2	68·3	0·939	89·3
Kaiserstein Leithakalk	700	58	63·1	37·4	0·110	10·4
Istrianer Marmor	430	36	61·7	36·0	0·090	9·6
Margarethener Poröser Leithakalk .	300	25	27·3	16·0	0·035	3·4

Aus der Tabelle entnehmen Sie, dass sich die Gesteine in Bezug auf die verschiedenen Beanspruchungs-

[1]) Die angegebenen Zahlenwerte für die Härte (H) sind Reciprokzahlen der erlittenen Substanzverluste (V) beim Schleifen. Näheres folgt in den angekündigten Abhandlungen des Vortragenden in den Sitzungsber. der kais. Akademie der Wissenschaften 1893 und Zeitschrift des Österr. Ingenieur und Architekten-Vereines 1893.

[2]) Gneisgranit, Pflasterstein von Graz, ganz ähnlich unserem Mauthausener Granite.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

arten sehr verschieden verhalten. Wählen wir beispielsweise das festeste der hier angeführten Gesteine als Vergleichsmaßstab für die übrigen, indem wir die für dasselbe gefundenen Werte der Druckfestigkeit, Bohrfestigkeit und Härte je gleich der Zahl 100 setzen, so geben die in der zweiten Columne stehenden Relativzahlen die Percente an, welche die Festigkeit jedes einzelnen Gesteines verglichen mit jener des schwarzen Gabbros von Drosendorf beträgt.

Sie sehen, hochverehrte Anwesende, zunächst, dass diese Zahlen für dasselbe Gestein sehr verschieden sind; dass beispielsweise die Ermittlung der Druckfestigkeit allein — mit der man sich früher begnügte — kein Urtheil erlaubt über eine Verwendung, welche von der Anwendung ruhigen oder wenig veränderten Druckes verschieden ist, wie beispielsweise jene als Pflasterungsmaterial. In dem letzteren Falle werden wir durch die Bohrfestigkeit und die Härteprüfung zu richtigeren Anhaltspunkten bei der Beurtheilung gelangen, und zwar deshalb, weil die zur Prüfung gewählte Beanspruchungsart verwandt oder identisch mit jener ist, der wir das Material in der That unterwerfen. Das Hämmern der Wagenräder und Pferdehufe auf das Pflaster, das Abschleifen der stets staub- und sandbedeckten Bürgersteige oder die Abnützung unserer Treppenstufen durch die Fußgänger sind Beispiele hiefür.

Blicken wir auf die Tabelle, so lehrt uns diese beispielsweise, dass der in Wien überall in Anwendung ste-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

hende vorzügliche Treppenstufenstein, der Leithakalk aus dem Kaisersteinbruche, obgleich seine Druckfestigkeit noch 58% von jener des Gabbros oder etwa zwei Drittel von derjenigen des Granites beträgt, doch in Bezug auf die Abnützungshärte nur mehr den zehnten, beziehungsweise neunten Theil desjenigen Wertes erreicht, der den beiden um so viel härteren Vergleichsgesteinen zukommt. Mit anderen Worten, wir können sagen, dass die Dauer einer Treppenstufe aus der untersuchten Granitsorte die neunfache von derjenigen aus Kaiserstein sein wird.

Die Leithakalke, welche ja — von den natürlich vorkommenden — die Hauptbausteine von Wien sind, erweisen sich in dieser Hinsicht als ganz besonders variabel, und selbst aus demselben Steinbruche ist das Material von Bank zu Bank verschieden.

Am besten erhellt dies aus dem letzten Beispiele, dem sandigen und porösen Leithakalk von St. Margareten bei Ruszt. Die Druckfestigkeit beträgt noch ein Viertel von derjenigen des Gabbros, die Bohrfestigkeit nur mehr den sechsten, die Härte gar nur mehr den dreißigsten Theil! Ein deutlicher Fingerzeig für die Nutzanwendung. Dieses Material gibt einen ganz guten, bei unseren Monumentalbauten vielfach verwendeten Baustein für Hochbauten ab, würde aber keinerlei Verwendung zu Stiegenstufen etwa vertragen. Dagegen ist es gerade durch seine geringe Härte ein geschätztes Material für architektonische Plastik.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Im allgemeinen möchte ich die Regel aufstellen, dass die drei in der vorstehenden Tabelle angeführten Beanspruchungsarten für die folgenden Gesichtspunkte maßgebend sind:

1. Die Druckfestigkeit für die Verwendung als tragender Baustein bei Hochbauten.

2. Die Bohrfestigkeit für die Höhe der Gewinnungskosten, denn wir wählen damit eine Beanspruchung, welche zum mindesten der bergmännischen Gewinnungsart bei Tiefbauten vollkommen analog ist.

3. Die Härte für die Anwendung zu Pflasterungszwecken, Treppen u. s. w. einerseits, zu leichter Formbarkeit (Plastik) andererseits.

Bedenkt man, dass beispielsweise die Commune Wien nach einer mir aus dem Stadtbauamte gewordenen freundlichen Mittheilung für die Erhaltung, Neu- und Umpflasterungen, sowie Straßenherstellungen der gepflasterten Straßen im Jahre 1890 für die Bezirke I—X den Betrag von 624.186 fl. verausgabte, welche Summe sich im Voranschlage für das Jahr 1892 für die Bezirke I—XIX auf 1,509.900 fl. erhöhte, so ersieht man die Höhe jener Werte, welche an der Frage, die ich soeben erörterte, interessiert sind.

Es mag daraus entnommen werden, wie sehr eine verlässliche Materialprüfung für die Wertbemessung von Wichtigkeit ist. Und dazu genügt nach der von Professor Toula angewendeten Methode, soweit die Härte in Betracht kommt, ein einfacher abgeschlagener Splitter!

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

II. Wie lange dauert die neue Scheidemünze?

Österreich steht vor der Einführung des Hartgeldes der Goldwährung und wählte als gesetzliche Courantmünze ein Goldstück von 6·775067*g* Gewicht mit einem Feingehalt von 900 Tausendtheilen: das Zwanzig-Kronenstück. Dieses enthält demnach 6·09756*g* Feingold, welche Goldmenge als auszumünzende Werteinheit gilt. Alle verehrten Anwesenden wissen, dass es nicht angeht, dieses Goldgewicht in vollkommen reinem Zustande auszuprägen, weil chemisch reines Gold viel zu weich ist, um dem Abscheuern, Verbiegen und anderen Abnützungen des Verkehrs von Hand zu Hand längere Zeit zu widerstehen. Man ist daher gezwungen, ein härteres Metall, und zwar Kupfer, als Beisatz mit dem Golde gleichmäßig zu verschmelzen, zu legieren, um der so veränderten Münze eine größere Härte zu verleihen. Aus diesem Grunde wurde auch für unser neues Goldstück ein Zusatz von Kupfer im Betrage von einem Neuntel des Goldgewichtes gewählt, analog dem Vorgange anderer Staaten, welche dieses für die Berechnung bequeme und bezüglich der erzielbaren Härte zweckmäßige Mischungsverhältnis eingeführt hatten. Unser Ducaten, bekanntlich die goldreichste Münze der Welt, die den hohen Feingehalt von $986^1/_9$ Tausendtheilen besitzt, würde sich im Verkehre aus den dargelegten Gründen als sehr leicht abnutzbar herausstellen.

In noch viel höherem Grade als die Goldmünzen

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sind natürlich die Scheidemünzen der Abnützung unterworfen. Man braucht nicht erst in Gegenden zu gehen, wo die Scheidemünze massenhaft circuliert, wo man beispielsweise beim Wechseln einer Fünf Gulden-Staatsnote mehrere Gulden Kleingeld bekommt, um zu beobachten, dass sich unsere derzeitige Scheidemünze, insbesondere die seit dem Ende der Fünfzigerjahre im Umlauf befindlichen Kupferstücke zu einem oder zu vier Kreuzern, in einem geradezu jammervollen Zustande befindet. Je größer die Münze, desto stärker die durch ihr Gewicht bedingten abscheuernden Kräfte, desto kürzer also die Zeit, binnen welcher die ursprüngliche Prägung geradezu ausgelöscht wird. Man erinnere sich diesbezüglich nur der Vierkreuzerstücke oder der Zwanziger.

Dies sind die technischen Gründe, weshalb man nach den Erfahrungen anderer Staaten einerseits für die mittleren Werte der Scheidemünze zu einem neuen, härteren Metall, dem Nickel, gegriffen hat, und weshalb man andererseits für die unteren Werte das Kupfer aufgab und statt dessen Bronzemünzen einführte. Ich ließ eine an mich herantretende Gelegenheit, das neue Metall der Bronzemünzen vergleichsweise mit dem Kupfer auf seine Härte zu prüfen, nicht unbenützt.

Herr Vorstand C. v. John des Laboratoriums der k. k. geologischen Reichsanstalt, dem ich das zu Münzplättchen geformte noch ungeprägte Material der künftigen Zwei- und Einhellerstücke verdanke, gibt von dessen chemischer Zusammensetzung die folgende Analyse:

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Kupfer	94·76%
Zinn	3 96 „
Zink	1·03 „
Nickel	0·09 „
Summe .	99·84%

Außerdem Spuren von Blei und Eisen, sowie kaum nachweisbare Mengen von Antimon und Arsen.

Die Legierung besteht also rund aus

75% Kupfer
4 „ Zinn
1 „ Zink

und besitzt eine etwas wenig lichter rothe Farbe als das reine Kupfer.

Ich behandelte nun zwei Plättchen, ein abgeschliffenes Kreuzerstück und das neue Zwei Heller-Plättchen nach der oben beschriebenen Methode mit Smirgelpulver und fand folgende Gewichtsverluste:

Zwei Hellerstück . . .	0·0293 *g*
Ein Kreuzerstück . . .	0·0538 *g*

Nimmt man nun für die Umlaufszeit eines Kreuzerstückes bis zur weitgehenden Abnützung die Zeit von 30 Jahren (1860—1890) an, so folgt aus diesen Zahlen, dass das künftige Zwei-Hellerstück erst nach 54 Jahren ebenso abgenützt aussehen dürfte.

III. Wie hart ist der Diamant?

R. Franz und F. Pfaff hatten versucht, die Härtestufen der Mohs'schen Scala auf ihren relativen Wert

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

zu prüfen (s. oben S. 613 u. 629). Ich wendete das Verfahren des Abschleifens an und suchte Durchschnittszahlen zu ermitteln, welche einerseits dadurch erreicht werden, dass man für den Versuch ein Aggregat möglichst kleinkörniger, wirr durcheinander gelegener Individuen wählt wie etwa den zuckerkörnigen Carraramarmor für den Kalkspat, oder andererseits dadurch, dass man an einem größeren Krystall möglichst viele verschiedene Flächen anschleift und aus den im allgemeinen verschiedenen Härten derselben das arithmetische Mittel nimmt.

Tabelle der relativen Härte der Glieder der Mohs'schen Härtescala.

Härtegrad nach Mohs	Mineral	Gewichtsverluste durch 100 *mg* Smirgel[1]) Milligramme	Relative Härte
10	Diamant	—	140.000·0
9	Korund	4·3	1.000·0
8	Topas	22·2	194·0
7	Quarz	24·6	175·0
6	Adular	72·6	59·2
→ 5	Apatit	539·5	8·0 ←
4	Flusspat	669·0	6·4
3	Calcit	759·1	5·6
→ 2	Steinsalz	2.165·4	2·0 ←
1	Talk	95.088·0	0·04

[1]) Bei reinem Korund um 40 % mehr.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die vorstehende Tabelle zeigt auszugsweise die bisher noch nicht veröffentlichten Resultate meiner Untersuchungen, deren Einzelheiten an anderer Stelle publiciert werden sollen.

Diese Untersuchungen ergaben wahrhaft überraschende Resultate, welche nicht nur zeigen, welche große Verschiedenheit die einzelnen Abstufungen der Scala besitzen, sondern vielmehr innerhalb welch enorm weiter Grenzen die zehn Mohs'schen Härtetypen überhaupt gelegen sind.

In ersterer Hinsicht bitte ich die hochverehrten Anwesenden, ihr Augenmerk auf die Unterschiede zu richten, welche die angegebenen Verlustzahlen zwischen der zweiten und dritten, sowie zwischen der fünften und sechsten Härtestufe aufweisen. Man ersieht an diesen mit einem Pfeile markierten Stellen, wie richtig Breithaupt die Orte herausfand, wo eine Einschiebung zweier neuer Glieder, des Talkglimmers (2—3) und Skapoliths (5—6) stattzufinden habe. Man sieht aber auch, welch gewaltigen Sturz die Härte schon von unserem Vergleichskörper, dem Korund (1000), zum nächsten Gliede Topas (194), wo sie auf den fünften Theil herabsinkt, erfährt; welcher noch viel größere Unterschied zwischen dem Steinsalz und dem Talk besteht, dessen Härte nur mehr vier Hundertstel Promille (!) von derjenigen des Korundes beträgt. Aber noch mehr! Es gelang mir, ein Mittel zu finden, welches auch den Edelstein der Edelsteine, den Diamant, in die Vergleichsreihe zwang. Schleift man einen harten

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Körper, etwa Saphir, Topas, Quarz, einmal mit einer gewogenen Menge Korundpulver von bestimmter Korngröße und ein zweitesmal mit der gleichen Menge Diamantpulver von derselben Korngröße, so müssen die hierbei erhaltenen Abnützungswerte Vergleichungsmaßstäbe für die Diamant- in Bezug auf die Korundhärte geben. Die Durchführung dieser Versuche ergab wahrhaft erstaunliche Resultate, welche erwiesen, dass der Diamant circa einhundertundvierzigmal härter als Korund sei.

Hochverehrte Anwesende! Ich bitte, sich diese Thatsache zu versinnlichen. Wählen wir für die Härte desjenigen Edelsteines, der als blauer Saphir, als herrlich rother Rubin so manche schöne Hand schmückt, als Maßstab 1 Meter, so beträgt die Härte des Talkes nur den 25. Theil eines Millimeters, eine Länge, welche mit freiem Auge nicht mehr sichtbar ist und etwa dem dritten Theil der Dicke eines Blattes Papier gleichkommt. Für den Diamant dagegen ergibt sich ein Maß, welches in unserem großen Saale nicht mehr Platz findet, eine Länge von 140 Metern, die bis an die Ringstraße hinausreicht!

Es wird uns nach diesen Ausführungen die in dem interessanten Werke von K. E. Kluge[1]) über den Diamant gemachte Angabe, dass ein Edelsteinschleifer zum Schleifen des großen Diamantes am russischen Scepter ebensoviele Jahre für nothwendig erachtete,

---

[1]) Handbuch der Edelsteinkunde, Leipzig 1860, S. 19.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

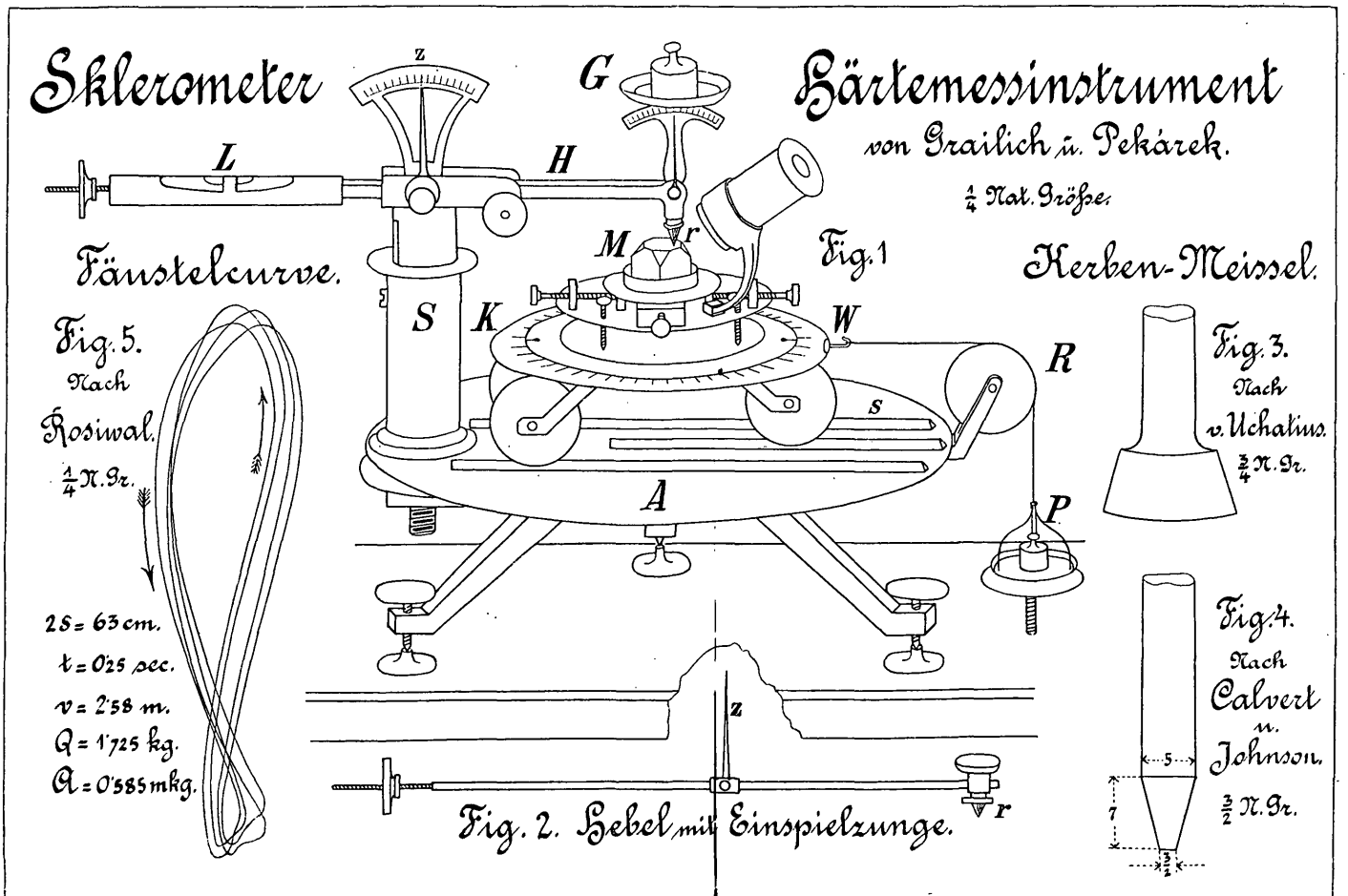
als zum Überschneiden eines gleich großen Saphirs Wochen erforderlich seien (was also einem Härteverhältnisse von 52 : 1 gleichkommen würde), nicht mehr Wunder nehmen. Prof. C. Doelter knüpft in seinem soeben erschienenen Buche[1]) daran noch die ungläubige Bemerkung: „Diese Angabe ist jedoch nur mit Vorsicht aufzunehmen.“ Wir wissen jetzt, dass diese Schätzung noch unter der Wahrheit blieb!

Ich schließe damit meine Ausführungen mit dem Ausdrucke lebhaften Dankes für die mir geschenkte gütige Aufmerksamkeit.

---

[1]) Edelsteinkunde, Leipzig 1893, S. 17.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: 33

Autor(en)/Author(s): Rosiwal August

Artikel/Article: Über die Härte. 605-650