

# Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Classe

der

k. b. Akademie der Wissenschaften

zu München.

---

1883. Heft III.

---

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1884.

In Commission bei G. Franz.

Herr v. Gümbel übergibt eine Abhandlung des correspond. Mitgliedes Prof. Pfaff in Erlangen:

„Untersuchungen über die absolute Härte des Kalkspathes und Gypses und das Wesen der Härte.“

(Mit Tafel I, II, III.)

In einer früheren Mittheilung (Sitzungsber. 1863 S. 55) habe ich im Allgemeinen das Princip und das Verfahren dargestellt, die absolute Härte der Mineralien zu bestimmen. Ich begnügte mich damals, nur wenige Versuche aufzuführen, um die Brauchbarkeit dieser neuen Methode, die Härte verschiedener Mineralien mit einem einheitlichen Maasse zu messen, nachzuweisen, und zugleich für die wichtigsten nach der bisher üblichen willkürlichen Härteskala zum Bestimmen der Härte anderer Mineralien gebrauchten Substanzen die absolute Härte in verschiedenen Richtungen festzusetzen.

Mit dieser Methode ist man nun in den Stand gesetzt, der Aufgabe zu genügen, sowohl die Härte der verschiedenen Mineralien unter einander zu vergleichen, als auch für ein und dasselbe Mineral die Verschiedenheit in der Härte nicht nur auf ein und derselben Fläche nach verschiedenen Richtungen genau zu bestimmen, was auch bisher schon ziemlich gelang, sondern auch den Wechsel in der Härte auf den verschiedenen Flächen eines und desselben Krystalles sicher zu ermitteln. Ist einmal eine grössere Anzahl solcher Härtebestimmungen durchgeführt, so wird es möglich sein, Formeln für die Härte aufzustellen, welche es ermöglichen, für jede

Fläche eines Krystalles und für jede Richtung die absolute Härte zu berechnen, wenn dieselbe nach einigen Richtungen durch den Versuch ermittelt ist, wie dies schon von Exner unternommen wurde.

Ehe ich die Resultate meiner neueren Untersuchungen mittheile, will ich jedoch genauer den dazu construirten Apparat und die Methode der Versuche beschreiben, da es mir sehr wünschenswerth erscheint, dass derartige Versuche, die immerhin ziemliche Zeit in Anspruch nehmen, recht oft vorgenommen und in die Reihe der nöthwendigen Prüfungen einer Mineralsubstanz gleich den übrigen physikalischen aufgenommen werden. Gerade durch die Mittheilung mancher von mir gemachter Erfahrungen glaube ich Anderen Zeit und Mühe ersparen zu können. Fig. 1 Taf. III gibt eine verkleinerte Abbildung des Apparates<sup>1)</sup>, wie er sich nach mancherlei Verbesserungen als vollkommen zweckentsprechend herausgestellt hat. Auf dem zur Aufnahme des Krystallträgers (Fig. 2) bestimmten Gehäuse A ist ein Schlittenapparat B angebracht, welcher durch die kleine Triebstange D mit der Scheibe C verbunden ist. Durch das Drehen derselben wird dann der Schlitten B hin- und hergeschoben. Die Länge seines Weges wird je nach der Grösse der zur Verfügung stehenden Krystalle regulirt und zwar durch die Mikrometerschraube E, durch welche eine Hülse auf der Rückseite der Scheibe auf- und abgeschoben werden kann, an welcher das untere Ende der Triebstange D befestigt ist. Der Schlitten ist durchbohrt, durch die Bohrung geht die kleine Säule F, an deren unterem Ende sich der Diamant befindet, welcher durch die Bewegung des Schlittens den Krystall abhobelt, wenn derselbe unter ihm auf dem Krystallträger angebracht wird. Dieses Sälchen kann sich leicht

---

1) Der hiesige Universitäts-Mechaniker Reiniger hat denselben mit grosser Sorgfalt und Präcision hergestellt, und ist erbötig, weitere derartige inclusive des passenden Diamanten zu 50 Mk. zu liefern.

senkrecht auf und ab bewegen, aber nicht drehen. Um dies zu verhindern ist es bei G angefeilt und oben durch eine in den Einschnitt passende kleine Messingplatte H vom Drehen abgehalten. Unmittelbar über dem Schlitten ist das Säulchen F von einer verschiebbaren und mit einer Klemmschraube versehenen Hülse I umgeben, auf welcher ein Gewicht ruht. Will man eine stärkere Belastung für härtere Krystalle, so kann man auch noch am oberen Ende von F solche durchbohrte Gewichte anbringen.

Für genaue Härtebestimmungen ist es unerlässlich, den Diamanten nur beim Vor- oder nur beim Rückwärtsgehen wirken zu lassen. Man erreicht dies sehr einfach durch den beweglichen Arm K. Derselbe ist hinten auf dem Schlitten befestigt und ruht niedergelassen auf der Drehachse der Scheibe C. Eine auf seiner Rückseite angebrachte Gabel kommt, wenn er niedergelassen ist, genau unter die herabgelassene Hülse I. Am unteren Ende der Mikrometerschraube E befindet sich auf der Scheibe C ein Stift, der beim Drehen der Scheibe, während er sich auf ihrer oberen Hälfte bewegt, den Arm K und mit ihm den Diamanträger F hebt, so dass, je nachdem man von rechts nach links, oder von links nach rechts die Scheibe dreht, der Diamant beim Bewegen des Schlittens von vorn nach hinten, resp. von rechts nach links oder umgekehrt den Krystall nicht berühren kann, und nur in einer Richtung ihn abhobelt.

Fig. 2 stellt nun den Krystallträger dar, welcher wohl keiner näheren Beschreibung bedarf. Der Krystall wird auf die drehbare und mit einer Kreistheilung versehene Scheibe S aufgesiegelt. Durch eine einfache Klemmvorrichtung L ist die Scheibe in jeder Lage festzuhalten. Die Mikrometerschraube M gestattet die Scheibe auf ihrem Schlitten gleichmässig vorzuschieben. N stellt ein Zählerwerk dar, welches anzeigt, wie viel Viertelsumdrehungen die Schraube macht. Es ist dies wünschenswerth, um nicht während des Hobelns

durch Drehen der Scheibe C immer erst sich notiren zu müssen, wenn und wie oft man die Schraube M gedreht hat. Der Krystallträger wird auf die verschiebbare und ebenfalls durch eine Schraube festzuhaltende Platte T gebracht und nun der Krystall theils durch Verschiebung dieser Bodenplatte T, von der ich, um bei grösserer oder geringerer Dicke der Krystalle nicht zu viel mit den Stellschrauben des Krystallträgers die richtige Höhe der Krystallfläche herbeiführen zu müssen, 3 von verschiedener Dicke habe machen lassen, theils durch die Mikrometerschraube M in die zum Hobeln bestimmte Richtung gebracht, soweit diese nicht schon durch die Drehung der Scheibe S passend herbeigeführt worden ist.

Der ganze Apparat wird durch eine Schraube, wie sie die Schreiner führen, auf einer Tischplatte bei den Versuchen festgehalten.

Ganz unerlässlich ist es, den Diamantenträger genau senkrecht zu stellen, was mit Hilfe einer Libelle, die man der Länge und dann der Quere nach auf den Schlitten stellt, leicht erkannt werden kann. Ebenso sorgfältig muss man auch darauf sehen, dass die zu hobelnde Krystallfläche horizontal steht, wenigstens nicht in der Richtung des Hobelns geneigt sei, da namentlich, wenn der Diamant beim Hobeln etwas bergan zu gehen hat, die Menge des abgeschabten Pulvers immer zu gross wird. Man kann dies ebenfalls sehr leicht constatiren, ob die Fläche nach dieser Richtung horizontal steht, wenn man zuerst durch die Hülse I den Diamant so stellt, dass er den Krystall nicht völlig berührt. Am einfachsten erreicht man dies, wenn man auf den Krystall ein Streifchen Postpapier legt, den Diamant auf dasselbe aufstellt und nun die Hülse I klemmt. Nimmt man dann, den Diamant wieder etwas hebend, das Papier weg und schiebt nun den Schlitten hin und her, so sieht man dann ganz gut, ob die Krystallfläche nirgends von dem Diamanten berührt wird, und ersterer auch am Anfange und Ende seines Weges

gleich weit von der Krystallfläche entfernt bleibt. Ist das der Fall oder durch die Stellschrauben am Krystallträger erreicht, so senke man dann die Hülse I etwas herab und der Diamant kann nun auf den Krystall einwirken, sowie man die Scheibe dreht.

Welche Belastung man dem Diamanten zu geben hat, hängt einerseits von der Schärfe desselben und der Ausdehnung seiner Schneide ab, andererseits natürlich auch von der Härte des zu untersuchenden Krystalles, und muss die passende Belastung durch einige vorläufige Versuche erst ermittelt werden. Je geringer die Belastung ist, desto weniger hat man bei sehr gut nach verschiedenen Richtungen spaltbaren Mineralien zu befürchten, dass kleine Stücken abgesprengt und die Flächen rauh und ungleich tief ausgehobelt werden, doch muss man sie so hoch wählen, dass auch in den härtesten Richtungen das abgehobelte nur durch Wiegen zu bestimmende Material noch genau auf der Wage der Menge nach gefunden werden kann. Bei dieser Methode hat man allerdings den grossen Vortheil, dass man durch Vergrösserung des gehobelten Streifens und durch Vermehrung der Zahl der Hin- und Hergänge auch bei verhältnissmässig geringer Belastung doch noch sichere Gewichtsbestimmungen zu Wege bringen kann. Lässt es die Ausdehnung des Krystalles zu, so hobele ich stets einen Streifen von 20 mm Länge und 5 mm Breite, also 100 qmm, und zwar in der Art, dass ich je nach der verschiedenen Härte den Schlitten 20—50mal hin und her bewege, ehe ich durch die Mikrometerschraube den Krystall um  $\frac{1}{10}$  mm weiterschiebe. Man erhält auf diese Weise sehr zufriedenstellende Resultate; wenn die Flächen nicht von sehr ungünstiger Beschaffenheit sind, d. h. wenn ihre Lage bei sehr gut spaltbaren Mineralien nicht so ist, dass ein Ausspringen schon beim Schleifen und beim Hobeln in gewissen Richtungen kaum zu vermeiden ist, wie diess z. B. auf der geraden Endfläche beim Kalkspath in der

Richtung von der Spitze des Dreieckes nach der Grundlinie der Fall ist, so stimmen die einzelnen Versuche in derselben Richtung gewöhnlich so gut überein, dass die Gewichts-differenz zwischen den verschiedenen Bestimmungen gewöhnlich nicht mehr als 0,3—0,5 mgr beträgt und das letztere nur dann, wenn die Menge des abgehobelten Pulvers 20 oder mehr mgr ausmachte. Sämmtliche Wiegungen wurden auf einer neuen, ausgezeichneten Analysenwage von Herrn Westphal in Celle vorgenommen, die bei der in allen meinen Versuchen 36 gr nicht übersteigenden Belastung  $\frac{1}{10}$  mgr noch mit Sicherheit angab. Für harte Krystalle, wie Bergkrystall, Feldspath, empfiehlt es sich, einen feineren, d. h. eine weniger ausgedehnte Schneide besitzenden Diamant zu verwenden, um auch hier noch wenigstens 2—3 mgr abhobeln zu können, ohne die Belastung zu hoch steigern oder die Zahl der Hin- und Hergänge des Hobels allzugross machen zu müssen. Für die Mineralien von geringerer Härte eignen sich ganz besonders gut Diamantsplitter mit meiselförmiger geradliniger Schneide, wie sie namentlich abgebrochene Diamantbohrer häufig zeigen <sup>1)</sup>

Wenn man nun auf diese Weise die absolute Härte eines Minerals in einer bestimmten Richtung ermitteln will, muss man ein bestimmtes Maass als Einheit der Härte festsetzen. Man hat bisher in der Mineralogie den Talk als Einheit gewählt. Ich glaube aber, dass derselbe keinen sicheren Maassstab gewährt und erlaube mir daher den Speckstein als Einheit der Härte festzusetzen. Mag man nun das Verfahren Seebecks<sup>4</sup> mit irgend einem der nach demselben Principe construirten Apparate, wie die von Franz oder Grailich und Pekárek zur Härtebestimmung verwenden, oder die von

---

1) Herr Ernst Winter, Diamanteur in Hamburg, hat mir mit grosser Bereitwilligkeit eine Reihe verschiedener Splitter und abgebrochener Bohrer zu beliebiger Auswahl überschickt, und wird gewiss auch Fachgenossen, die sich an ihn wenden, in gleicher Weise aushelfen.

mir angewandte Methode, immer wird sich der Talk als ein etwas zähes und durchaus nicht sprödes Mineral schlecht zur Vergleichung der Härte spröder Krystalle eignen, die einzelnen Versuche mit ihm stimmen nicht sehr gut mit einander überein. Dagegen ist der Speckstein, wenn auch etwas härter, doch noch eines der weichsten Mineralien, hobelt sich eben so gut als er sich ritzen lässt und hat als amorphes Mineral noch den Vortheil, in der That nur eine Härte zu besitzen. Er ist daher in den folgenden Versuchen als Maass-einheit der Härte zu Grunde gelegt. Für die Berechnung der Härte ist die Annahme gemacht, dass bei gleicher Belastung, gleicher Zahl des Ueberfahrens der Krystallfläche mit dem Diamanten und gleichem Flächeninhalte der gehobelten Streifen sich die Härte zweier Mineralien verhalte, umgekehrt wie das Volumen des bei dem Versuche verlorenen d. h. weggehobelten Pulvers, d. h. also umgekehrt wie die Gewichtsverluste dividirt durch das spezifische Gewicht der untersuchten Substanz.

Man muss daher selbstverständlich alle die Belastungen, welche man für die Mineralien von etwas grösserer Härte verwendet, auch vorher an dem Specksteine anwenden, da je nach der Form des Diamantsplitters das Ergebniss bei verschiedenen Belastungen ein nicht im einfachen Verhältnisse zur Belastung stehendes, jedenfalls erst empirisch zu bestimmendes sein muss. Für die härtesten (unter der Edelhärte) wie Quarz, Feldspath empfiehlt es sich dann, eines der minder harten, aber doch den Speckstein an Härte bedeutend übertreffenden Mineralien, dessen Härtenverhältniss zum Speckstein bereits ermittelt ist, zum Vergleiche zu wählen, z. B. die Säulenflächen des Kalkpaths, die man dann zuerst bei der geringeren Belastung prüft, welche noch sicher bestimmbare Mengen wegnimmt und für den Speckstein noch gut verwendbar ist, dann aber auch eine viel höhere, wie sie eben die harten Mineralien erfordern,

um noch sicher wägbare, wenigstens 1—3 mgr ausmachende Abtragungen zu erhalten. In den wenigsten Fällen kann man natürliche Krystallflächen ohne Weiteres für die Versuche verwenden; nur bei Gyps und Glimmer erhält man ganz ebene Spaltungsflächen, selbst beim Kalkspath sind die Rhomboëderflächen nach dem Spalten nur in ganz kleiner Ausdehnung vollkommen glatt und nicht fein terrassenförmig. Ich habe daher stets, mit Ausnahme der Fläche P des Gypses und Glimmers, alle Flächen vorher möglichst fein geschliffen, aber nicht polirt. Durch das Poliren wird häufig die Beschaffenheit der Flächen eine ganz andere, nicht natürliche, wie dies schon aus der Veränderung des Polarisationswinkels bei Reflexion in manchen Fällen hervorgeht, und für die von mir angewandte Methode ist das auch nicht nöthig, weil ja doch ein und dieselbe Stelle 20—50mal mit dem Diamant überfahren wird und daher nach wenigen Gängen des Schlittens doch schon eine etwas rauhe Fläche wieder da ist. Dagegen wurde das Schleifen möglichst fein vorgenommen, zuletzt auf einem sehr feinkörnigen Kiesel, wie sie sich in unserem Keuper finden, mit Wasser und sehr wenig vom feinsten Schmirgel. Selbst die Endflächen des Kalkspathes werden auf diese Weise so fein, dass sie bei sehr schiefer Incidenz noch deutlich erkennbare Bilder geben.

Ich theile nun zunächst einige Versuchsreihen mit und wähle dazu vor allen die beiden Mineralien, welche leicht in grossen Krystallen zu haben sind, den Kalkspath und den Gyps. Von dem ersteren haben wir eine ziemliche Anzahl von vergleichenden Angaben der Härte auf seinen verschiedenen Flächen, spärlicher liegen sie vom Gyps vor. Vergleicht man diese Angaben miteinander, so wird man sich sofort überzeugen, wie widersprechend dieselben lauten, und schon aus diesem Grunde war eine Wiederholung dieser Versuche nach einer neuen Methode wünschenswerth. Dazu

kommt noch, dass gerade diese beiden Mineralien für die theoretischen Untersuchungen über die Verschiedenheit der Härte eine ganz besondere Bedeutung haben, wie wir das im Folgenden noch näher zu besprechen haben.

So giebt z. B. für die Rhomboëderfläche des Kalkspathes Frankenheim als Maximum der Härte die Querdiagonale an, Seebeck die Richtung parallel der Kante, womit Franz, Grailich und Pekárek übereinstimmen, Exner fand ebenfalls nahezu das Maximum in der Querdiagonale. Das Minimum verlegt Frankenheim in die kürzere (Pol-) Diagonale, Seebeck in die längere Diagonale, Franz parallel der Polkante aufwärts, Grailich und Pekárek in die Poldiagonale aufwärts. Noch unsicherer sind dann die Angaben über das Verhalten der Endfläche, auf der Frankenheim gar keine Differenzen der Härte gefunden haben wollte, während Grailich und Pekárek erhebliche Unterschiede angeben.

Ich theile nun die Resultate meiner Untersuchungen hier mit, indem ich die Richtungen angebe, in welchen der Diamant über die Fläche geführt wurde und die berechnete Härte mit Zugrundelegung der Specksteinhärte als 1.

### **Kalkspath.**

I) Rhomboëderfläche. Untersucht wurden 2 Spaltungsstücke von isländischem Kalkspathe und in der Richtung der Querdiagonale auch noch ein Spaltungsstück von einem grösseren Andreasberger. Erstere beiden stimmten in den verschiedenen Richtungen sehr gut in der Härte überein, der letztere zeigte sich ein klein wenig härter, eine Erscheinung, welche auch schon Grailich und Pekárek für verschiedene Krystalle beobachteten.

Abwärts bedeutet stets die Richtung vom Poleck nach der scharfen Randkante oder dem Randeck zu, aufwärts die entgegengesetzte:

	Härte
1) Poldiagonale . . . . abwärts . . .	27,5
2)       "       . . . . aufwärts . . .	0,65
3) Querdiagonale . . . . . . . . . .	3,2
4) Parallel der Kante . . abwärts . . .	34,3
5)       "       "       "       . . aufwärts . . .	1,3
6) Mitte zwischen 1 und 4 abwärts . . .	15,3
7)       "       "       "       "       " aufwärts . . .	0,8
8) Mitte zwischen 3 und 4 abwärts . . .	21,11
9)       "       "       "       "       " aufwärts . . .	2,3

Auffallender Weise erhielt ich wiederholt und constant an dem einen isländischen Kalkspath eine Differenz der Härte je nachdem ich in der Querdiagonale von rechts nach links, oder von links nach rechts den Krystall ritzte, obwohl dieselbe nach den Symmetrieverhältnissen eines Rhomboëders nicht erklärbar wäre. Ob das etwa in feinen eingewachsenen Zwillinglamellen seinen Grund gehabt haben mag, wage ich nicht zu entscheiden, doch wollte ich es nicht mit Stillschweigen übergehen. Es werden wohl erst ausgedehntere Untersuchungsreihen gesammelt werden müssen, ehe man darüber etwas aussagen kann, wie weit auch in der Härte Störungen und individuelle Schwankungen sich bemerklich machen.

II. Gerade Endfläche. Wie ich schon in meiner früheren Mittheilung erwähnte, hobelt sich dieselbe schlecht, namentlich in der Richtung von der Spitze des Dreieckes gegen die Grundlinie. Immer springen hier die Rhomboëder-eckchen, über deren Spitzen man ja hinfahren muss, aus, und es wird so das Resultat etwas unsicher und zwar nach der Seite hin, dass die Härte wohl etwas zu gering gefunden wird. Gut hobelt sich die Endfläche bei geringer Belastung in der Richtung von der Kante aus senkrecht nach der Spitze des gegenüberliegenden Winkels und parallel den Kanten,

in allen anderen weniger gut. Es ergaben sich für die Härte folgende Werthe:

	Härte
1) Senkrecht von der Dreieckskante zum Winkel . . . . .	4
2) in entgegengesetzter Richtung . . . . .	0,5
3) parallel den Kanten . . . . .	0,7
4) unter einem Winkel von $15^\circ$ mit 1 . . . . .	2,8
5) in derselben Richtung entgegengesetzt . . . . .	0,9

III. Säulenfläche (Abstumpfung der Randecken). Uebereinstimmend haben alle Beobachter sie als die härteste Fläche gefunden. Ich habe sie in folgenden Richtungen untersucht:

	Härte
1) parallel der Hauptachse . . abwärts	22
2) " " " . . aufwärts	45,8
3) parallel der Spaltungsrichtung abwärts	36,6
4) " " " . . aufwärts	50
5) parallel der Achse a . . . . .	61

Nach diesen Werthen sind die Härtecurven auf Taf. I in der Art construirt, dass die linke Seite Fig. 1 nur die eine Hälfte der Kurve S für die Säulenfläche aber in gleichem Maassstabe mit den andern beiden enthält, um den grossen Unterschied in der Härte des Kalkspaths auf verschiedenen Flächen anschaulich zu machen, während Fig. 2 in vergrössertem Maassstabe die Härteverhältnisse für die gerade Endfläche darstellt. Die Mitte jeder Fläche ist gleichmässig in C angenommen die eingeschriebenen Zahlen auf den Linien am Rande jeder Kurve, von denen die der Säule mit S, der Rhomboëderfläche mit R und die der Endfläche mit E vor den Zahlen unterschieden sind, entsprechen den in den vorstehenden Angaben gewählten. Die Pfeile geben die Richtung an, in welcher das Ritzen vorgenommen wurde. Ueberall

erfolgte dasselbe nach dem Rande der Kurve hin, von dem Punkte C; aus die Kurve für die Rhomboëderfläche ist punktirt.

### Gyps.

Für den Gyps sind mir bis jetzt nur Beobachtungen der Härte auf der Fläche der vollkommensten Spaltbarkeit, P, bekannt, die aber zum Theil sehr unsicher in ihren Angaben sind, theils sich ebenfalls widersprechen. Franz giebt das Minimum in der kleinen Diagonale an, ein zweites  $110^{\circ}$  von ihm verschieden. Seebeck erhielt keine sicheren Resultate. Frankenheim erklärt die Richtung der Maxima und Minima für ungewiss, Exner glaubt 2 Minima, parallel den Kanten mit den beiden andern Bruchlinien (M und T) von ungleichem Werthe aus seinen Beobachtungen ableiten zu können, Angström findet das Härtemaximum  $14^{\circ}$  mit der fasrigen Theilbarkeit bildend, nach Exner liegt es in einer Richtung, die  $20^{\circ}$  mit dieser einschliesst, doch meint er auch, die Beschaffenheit der Gypskrystalle mache sie nicht sehr geeignet zu Härtebestimmungen, namentlich auf anderen Flächen, als der Fläche P, aber auch diese erschienen stets mehr oder weniger gewellt. Das hat nun allerdings für die meisten Gypskrystalle seine Richtigkeit. Dennoch findet man unter den wegen ihres regelmässig ebenen Blätterbruches schon lange von den Optikern benützten etwas weingelben Zwillingen vom Montmartre sehr gute Stücke, bei denen es möglich ist, zunächst vollkommen ebene und glatte P-Flächen herzustellen. Aber auch die beiden andern Bruchflächen konnte ich in folgender Weise sehr gut eben und glatt darstellen. An einem grösseren dickeren derartigen Zwillingsstücke wurde zunächst durch Loslösen eines kleinen Blättchens der betreffende Bruch (an dem einen Stücke M, an dem andern T) kenntlich gemacht. Dann wurde das ganze Stück ringsum mit einem dicken Wulste von Siegellack umgeben, der wie ein Reif das ganze Stück umschloss. Nun wurde parallel

dem Bruche mit einer feinen Säge das Stück ober und unter dem Siegellackkring durchgesägt und vollends fein geschliffen. Es geht dieses auf diese Weise ganz gut, ohne Ausbröckeln, so dass man ganz schöne zur Untersuchung brauchbare Flächen erhält. In dieser Art habe ich nun die Härte auf den drei Flächen P, M und T untersucht und folgende Resultate gefunden:

### I. Auf der Fläche P.

	Härte
1) parallel der kurzen Diagonale . . .	0,37
2) „ der langen „ . . .	0,66
3) „ der Richtung M . . . . .	0,44
4) „ „ „ T . . . . .	1,15
5) „ der Mittellinie zwischen 2 und 3	0,46
6) „ „ „ „ 1 und 4	0,20

### II. auf der Fläche parallel dem II. Bruche M.

	Härte
1) parallel der Kante M,P (a Fig. 3 Taf. II)	14,5
2) in entgegengesetzter Richtung (b Fig.) .	32,1
3) senkrecht zu der Kante M/P . . . . .	14,6
4) unter 45° gegen Kante M/P (c Fig.) . .	21,9
5) „ „ „ „ „ (d Fig.) . .	9,6
6) in entgegengesetzter Richtung (e Fig.) .	11,2

### III. auf der Fläche parallel dem III. Bruche T.

	Härte
1) parallel der Kante T:P (a Fig. Taf. II) .	6,3
2) in entgegengesetzter Richtung (b Fig. 4) .	5,3
3) senkrecht zu der Kante T:P . . . . .	2,8
4) unter 45° gegen Kante T:P (c Fig. 4) .	3,6
5) „ „ „ „ „ (d Fig. 4) .	2,6
6) in entgegengesetzter Richtung (e Fig. 4)	4,2

Taf. II enthält die Härtekurven dieser 3 Flächen und zwar Fig. 1 die 3 Kurven in demselben Maassstabe (1 der

Härte wie auf Taf. I Fig. 1 für den Kalkspath zu 5 mm Länge genommen). Die Zahlen auf den Linien bedeuten hier ebenfalls die unter I, II, III in vorstehender Tabelle unter denselben Nummern aufgeführten Richtungen. Die Kurve für die Fläche T ist punktirt. Fig. 2 enthält in vergrössertem Maassstabe die Härtekurve der Fläche P. Ich bemerke zu denselben nur noch, dass sie lediglich nach Prüfungen der Härte in den angegebenen Richtungen, welche durch die eingezeichneten Linien kenntlich gemacht sind, construiert wurden, so dass, wenn man noch mehr Richtungen untersuchen würde, die Gestalt der Kurve vielleicht etwas anders werden könnte. Doch zeigt ein Blick auf die Figuren, dass wenigstens auf der Fläche P die Form kaum wesentliche Veränderungen erleiden möchte. Auf den Flächen P und M hobelt sich Gyps sehr gut und glatt, auf der Fläche T etwas weniger glatt, häufig mit etwas Geräusch, das einigermaßen an das eines ungeschickt gehaltenen Schieferstiftes auf einer Schiefertafel erinnert. Die einzelnen Versuche auf P und M weichen in ihrem Resultate so wenig von einander ab, dass die Gewichts-differenz kaum 0,2 mgr vom Mittel abweicht, auf T steigt sie in einzelnen Richtungen auf  $\frac{1}{2}$  mgr. Auch beim Gypse scheinen kleine individuelle Härteunterschiede vorzukommen, wenn man Krystalle verschiedener Lokalitäten mit einander vergleicht, doch habe ich an Gypsen von andern Orten als Paris nur wenige Versuche auf der Fläche P vorgenommen. Die obigen Zahlen sind ausnahmslos an Pariser Gypskrystallen gefunden. Vergleichen wir die Härteunterschiede der verschiedenen Flächen an Gyps und Kalkspath mit einander, so sehen wir, dass bei beiden die Verschiedenheit zwischen absolutem Maximum und Minimum einer Fläche sich ziemlich in denselben Grenzen hält, beim Gypse ist das Verhältniss zwischen beiden wie 0,2 : 32,1, also wie 1 : 161; beim Kalkspathe wie 0,5 : 61,1 oder wie 1 : 122. Auf ein und derselben Fläche ist sie dagegen beim Gypse viel geringer,

nämlich im Minimum auf Fläche T nicht ganz wie 1 : 3 (2,6 : 6,3), im Maximum auf P wie 1 : 5,7 (0,2 : 1,15), während sich beim Kalkspath auf der Säulenfläche ebenfalls als das Minimum der Differenz nahezu 1 : 3 findet, dagegen auf der Romboëderfläche dasselbe den Werth 1 : 43 (0,8 : 34,3) erreicht.

Sehen wir nun zu, was sich etwa aus den mitgetheilten Resultaten im Allgemeinen für die Theorie der Härte wohl ableiten lässt: treten wir also der Frage näher, von was hängt wohl die Härte ab, welchen Gesetzen folgt der Wechsel derselben an ein und demselben Krystalle?

Diese Frage ist ja schon öfter erörtert worden, und alle Härteuntersuchungen haben ja mit in erster Linie auf diese Frage Rücksicht zu nehmen.

Schon Frankenheim, dem wir die ersten Versuche, genauere Härtebestimmungen zu erhalten, verdanken, suchte eine Formel für die deutlich wahrnehmbar durch die Spaltungsrichtungen eines Krystalles beeinflusste Härte aufzustellen. Auch die später auf demselben Gebiete Arbeitenden, wie Franz, Schrauf in seinem Lehrbuche der physikalischen Mineralogie haben die Spaltbarkeit oder Schichtung der Krystalle als den wichtigsten Faktor für die Härteverschiedenheiten angenommen. Am stärksten und ausführlichsten ist dieses von Exner geschehen, dessen Ansicht wir hier kurz wiedergeben wollen, weil sie die letzte veröffentlichte und am ausführlichsten diese Frage behandelnde ist. Nach ihm ist die Härte eines Minerals abhängig von zwei verschiedenen Ursachen. Es muss nach ihm „zum ersten die ritzende Spitze den Widerstand überwinden, der ihr von Seite der kleinsten oberflächlichen Theilchen bei Verdrängung aus ihrer Lage entgegengesetzt wird und zum zweiten hat sie beim jedesmaligen Ueberspringen der Furchen, welche durch die zu den Spaltungsebenen parallelen Durchgänge auf der Fläche erzeugt werden, gleichfalls einen Widerstand zu überwinden.“

Den ersten Theil hält Exner für einen innerhalb unserer Beobachtungsmethoden constanten für ein und dieselbe Fläche nach allen Richtungen, er glaubt, dass derselbe lediglich eine Folge der molekularen Konstitution des Krystalles ist. Er meint, man müsste demnach dennoch Verschiedenheiten der Härte in verschiedenen Richtungen, auch soweit sie von diesem Faktor allein abhängen, erwarten, dieselben seien aber wahrscheinlich so gering, dass sie unseren Hilfsmitteln der Beobachtung sich entziehen.

Der zweite ungleich wichtigere variable Theil der Härte hänge lediglich von den Spaltungsebenen ab. Als einfachste Annahme empfehle sich die, dass die Güte der Spaltbarkeit und damit die Härteverhältnisse bedingt sei durch die Zahl der auf der Längeneinheit sich findenden Spalten, also die Härte durch die Zahl der auf der Längeneinheit von der ritzenden Spitze zu überspringenden Furchen.

Bei schiefer Incidenz der Spaltungsebenen sei auch diese von Einfluss, indem sie die Härte gegenüber der senkrechten Incidenz erhöhe, wenn die ritzende Spitze sich von den stumpfen Spaltungswinkeln gegen die Spitzen zu bewegt, im entgegengesetzten Sinne erniedrige.

Werfen wir auch nur einen Blick auf die mitgetheilten Werthe für die Härte bei Kalkspath oder Gyps oder auch auf die Härtekurven, so sehen wir allerdings, dass die Spaltungsrichtungen von grossem Einflusse sind, aber doch nicht so sehr fast ausschliesslich die Härteerscheinungen bedinge. Was z. B. den Kalkspath betrifft, so liegt nach allen genaueren älteren Versuchen wie nach den meinigen das Härtemaximum in der Richtung vom Poleck nach dem Lateraleck. In dieser Richtung sind nur die mit jener Kante nahezu einen Winkel von  $101^\circ$  bildenden, der anderen Kante parallel laufenden Spaltungsfurchen, also das Minimum derselben zu überspringen. Nach Exner müsste man daher das Minimum der Härte parallel der Kante erwarten, das Maximum müsste

in die eine oder andere Diagonale fallen, weil hier offenbar das Maximum der Furchen, nämlich alle vorhandenen der beiden die Rhomboëderfläche schneidenden Spaltungsrichtungen von der ritzenden Spitze übersprungen werden, während in der Poldiagonale aufwärts wiederum nach Grailich und Pekárek sowie meinen Versuchen sich das Minimum der Härte findet. Aehnlich ist es beim Gyps, auf allen drei Spaltungsflächen ist das Maximum und das Minimum nicht in den Richtungen, in denen es liegen sollte, wenn der variable Theil der Härte lediglich von den Spaltungsebenen abhängen würde.<sup>1)</sup>

Noch eine andere längst bekannte Thatsache zeigt, dass eben wesentlich andre Factoren noch mit in Betracht kommen, nemlich die Thatsache des ungemein grossen Härteunterschiedes, welcher die gerade Endfläche am Kalkspath gegenüber der Säulenfläche erkennen lässt. Bekanntlich ist die Rhomboëderfläche fast gleich geneigt gegen Hauptachse und Nebenachse ( $45^\circ 16'$ ) gegen erstere, es haben daher auch die gerade Endfläche und die I. Säulenfläche nahezu gleiche Neigungen gegen die Rhomboëderfläche. Die Folge davon ist die, dass auch die Incidenz der Spaltungsebenen auf beiden wenig verschieden ist. Demnach sollte man erwarten, dass auch der Härteunterschied kein sehr grosser wäre, und dennoch verhält sich das Maximum der Härte auf der geraden Endfläche zu dem auf der Säulenfläche wie 1:15.

Auch in anderer Weise noch erheben sich Bedenken gegen die Theorie von Exner, namentlich möchte der Unterschied eines constanten durch die Molekularconstitution bedingten und eines variabeln, von den Spaltungsebenen allein abhängigen Theiles der Härteerscheinungen schwer aufrecht zu erhalten sein.

1) Die ebenfalls längst bekannte Thatsache, dass grössere Härte und gute Spaltbarkeit eher in einem Gegensatze zu einander stehen, kann uns auch von einer Ueberschätzung des Einflusses der Spaltbarkeit auf die Härte abhalten.

Ich glaube, dass wir — wenigstens bei den jetzt geltenden Anschauungen über die Constitution der festen Körper, zunächst der Krystalle — besser thun, wenn wir die Härte lediglich als von der Molekularconstitution bedingt erklären, und zwar abhängig von 3 verschiedenen Factoren, nemlich der Gestalt, der Stellung und Vertheilung der Moleküle, durch die ja jedenfalls auch die Spaltbarkeit der Mineralien bedingt ist.

Im Folgenden soll nun kurz erörtert werden, wie die vorliegenden Thatsachen der Härteverschiedenheiten auf diese 3 Factoren hinweisen, und welche Rolle dieselben dabei spielen.

Zunächst haben wir hier kurz vorauszuschicken, wie wir uns überhaupt die Constitution eines Krystalles, sowie auch die Beschaffenheit seiner Oberfläche nach den jetzt herrschenden Anschauungen über Krystallbildung zu denken haben. Bleiben wir zunächst bei unserem Kalkspathe, so zeigt uns einerseits die für unsere Wahrnehmung unbegrenzte Theilbarkeit, sowie die durch die optischen Untersuchungen sich überall ergebende homogene Beschaffenheit aller seiner Theile, dass wir denselben uns bestehend denken müssen aus regelmässig an einander gelagerten Molekülen von der Form des Kalkspathrhomboëders, welche ebenfalls regelmässige Zwischenräume zwischen sich frei lassen.

Halten wir die constante Form und Grösse der Moleküle fest, so wird es uns in einem Falle, wo uns die vollkommen gleiche Spaltbarkeit und das Krystallsystem wie beim Kalkspathe die Verhältnisse der Dimensionen eines Moleküls zu bestimmen erlaubt, stets leicht sein, die wahre Beschaffenheit einer vollkommen rein und ungestört ausgebildeten Krystallfläche anzugeben, wie dies ja schon von Haüy durchgeführt wurde. Wir müssen dann, da wir uns nicht halbe oder drittels Moleküle an der Oberfläche eines Krystalles gebildet vorstellen können, alle die Flächen, welche nicht den

Spaltungsflächen parallel gehen, als in Wirklichkeit nicht vollkommen eben, sondern mit vorspringenden Ecken der Moleküle und einspringenden Winkeln zwischen denselben versehen denken. Fig. 3 Taf. I zeigt dieses für einen Durchschnitt eines Kalkspathkrystalles, an dem R die Rhomboëderfläche, P die gerade Endfläche und S die I. Säule darstellt. Die sich kreuzenden Linien veranschaulichen die Form und Lage der Moleküle. So wie wir sie so klein annehmen, dass die Vertiefungen zwischen ihnen keine störenden Einflüsse auf das reflectirte Licht mehr haben können, also kleiner als die kleinste halbe Wellenlänge des Lichtes, können wir natürlich von dieser in der That vorhandenen Rauigkeit der Flächen nichts bemerken. Selbstverständlich gilt dies auch für künstlich hergestellte Flächen an Krystallen, denn auch durch das feinste Schleifen oder Poliren werden wir nie Theile von Molekülen wegnehmen, sonst müsste es ja auf diese Weise möglich sein, ein Molekül auf mechanischen Wege zu zersetzen, d. h. ihm einzelne der dasselbe zusammensetzenden Atome zu entziehen. Auf allen solchen Flächen müssen wir immer bald mehr bald weniger mit ihren Spitzen in ein und derselben Ebene liegende Moleküle hervorragend annehmen, die sorgfältigste Politur kann nie mehr erreichen, als dass die Unterschiede zwischen den Vertiefungen und Erhöhungen, wie sie die Moleküle zwischen sich lassen müssen, möglichst gleichförmig, d. h. möglichst in der einen Ebene liegen, welche unsrem Auge als vollkommene Ebene im günstigsten Falle erscheint, ohne es aber je in Wirklichkeit zu sein.

Wir haben uns nun auch noch etwas näher mit den Vorgängen auf einer solchen Fläche zu beschäftigen, wenn wir dieselbe mit einer feinen Spitze oder Schneide, wie sie ein guter Diamantsplitter darbietet, ritzen. Unter allen Umständen kann eine Wirkung nur dadurch eintreten, dass die Spitze mit einer Kraft auf die Fläche gedrückt wird, welche

hinreicht, die Moleküle, welche sich ihr entgegenstellen, von ihren benachbarten loszulösen und zu verdrängen. Wenn wir nun eine solche Spitze stets mit derselben Kraft wie sie ja eine gleichbleibende und in gleicher Richtung wirkende Belastung erzeugt, über eine ebene Fläche hinführen, so wiederholt sich dieser Vorgang des Verdrängtwerdens und Losgerissenwerdens der Moleküle in jedem Augenblicke der Fortbewegung; der Widerstand, der dabei zu überwinden ist, giebt uns eben den Maassstab für die Härte.

Ebensowenig, als wir beim Schleifen, selbst mit dem feinsten Pulver, Theile der Moleküle wegnehmen können, vermögen wir dies durch Ritzen. Die dazu verwendeten Spitzen, mögen sie auch noch so fein sein, dringen sicher nie in die Moleküle selbst ein, sondern drängen sich nur zwischen sie und verdrängen sie von ihrer Stelle, aber ohne je sie selbst zu zerbrechen. Daraus geht nun ohne Weiteres hervor, dass die Härte der Körper nichts mit der Härte der Moleküle zu schaffen habe, dass wir von dieser letzteren gar nichts wissen, oder mit andern Worten, dass das, was wir Härte nennen, nichts andres ist, als ein Maass für die physikalische Anziehungskraft, welche die durch chemische Anziehungskraft aus Atomen gebildeten Moleküle auf einander ausüben. Ausser der Masse der Moleküle, dem Producte aus Volumen und Dichtigkeit, kommt dann selbstverständlich wesentlich für diese Anziehungskraft, deren Folge eben der Grad des Zusammenhaltens der Moleküle, d. h. die Härte ist, in Betracht die Entfernung der Molekülschwerpunkte von einander; und diese ist wieder bedingt, wie von der Gestalt so von der Vertheilung der Moleküle in dem festen Körper, wobei auch die zwischen ihnen vorhandenen Zwischenräume zu berücksichtigen sind.

Nun sind wir aber nicht im Stande im Voraus diese verschiedenen, die Härte bedingenden Factoren an irgend einer Substanz zu bestimmen, mit Ausnahme der schon vorhin

erwähnten wenigen Fälle, in denen uns die Spaltbarkeit die Gestalt des Moleküls zu erkennen giebt, wie bei rhomboëdrisch, würflig, octaëdrisch spaltbaren Mineralien. Aber auch in diesen Fällen ist uns nichts von der Grösse der Moleküle bekannt; ebensowenig aber können wir ihre Masse bestimmen, ja nicht einmal ihre Dichtigkeit, weil wir ja stets zwischen den Molekülen Zwischenräume haben, deren Grösse uns ebenfalls nicht bekannt ist, und ein einzelnes Molekül nicht der Untersuchung unterworfen werden kann.

Selbst in den Fällen, wo uns 3 sich schneidende aber an Güte nicht gleiche Spaltungsebenen und deren Winkel bekannt sind, ist uns die Gestalt des Moleküls unbestimmbar. Nehmen wir z. B. den Gyps, so können wir durch die beiden Brüche M und T ein Prisma von  $67^\circ$  in der spitzen Kante mit einer auf beiden senkrecht stehenden Fläche, durch den Bruch P erzeugt, herstellen, aber nicht einmal das Verhältniss der Länge, Breite und Höhe zu einander ist uns dadurch fest gegeben. Ob die Linie zwischen den beiden Flächen P die grösste oder kleinste Länge hat, ob der Querschnitt parallel P ein Rhombus oder ein Rhomboid sei, ist nicht zu ermitteln, weder aus den Winkeln, noch aus den Eigenschaften des monoklinen Krystallsystems im Allgemeinen.

Nun zeigt sich allerdings der Einfluss der Spaltbarkeit auf die Härte als ein sehr hervorragender, wenn auch nicht in dem Grade maassgebend, wie Exner es angenommen hat. Aber auch die Spaltbarkeit und ihr Einfluss auf die Härte ist einer verschiedenen Erklärung fähig.

Bekanntlich hat man ja von jeher verschiedene Grade der Spaltbarkeit unterschieden, höchst vollkommene (wie beim Glimmer), vollkommene, deutliche, unvollkommene u. s. f. Worin hat dieselbe ihren Grund? Woher kommt die grosse Verschiedenheit derselben?

Aus den Beobachtungen können wir zunächst weiter keinen Schluss ziehen, als den, dass die Kohäsion senkrecht

zu den Spaltungsflächen am geringsten ist, also je vollkommener die Spaltbarkeit desto geringer auch die Kohäsion. Da wir nun aber in allen Krystallen eine regelmässige Anordnung der Moleküle annehmen müssen, so dass die gleichen Achsen in allen gleich gerichtet sind, so sollten alle Krystalle spaltbar, wenn auch nicht immer mit ebenen Flächen, so doch mit regelmässig zackigen, sein, und von Manchen wird das ja auch als in der That nachweisbar behauptet, und nur eine sehr unvollkommene in den Fällen angenommen, wo sie nur sehr zweifelhaft zu beobachten ist. Wie dem auch sein mag, bei den deutlich spaltbaren ist jedenfalls ein sehr merklicher Unterschied zu erkennen. Offenbar kann nun derselbe in zweifacher Weise erklärt werden, nemlich einmal durch die Annahme, dass in dem Falle der vollkommeneren Spaltbarkeit mehr solche regelmässige Zwischenräume zwischen den Molekülen auf die Längeneinheit kommen, oder dass die Breite derselben im Verhältnisse zur Vollkommenheit der Spaltbarkeit stehe. In dem ersteren Falle würde die geringere Kohäsion, welche der vollkommeneren Spaltbarkeit entspricht, auf einer geringeren Masse der Moleküle beruhen, im letzteren auf einer Vergrösserung der Entfernung der anziehenden Moleküle von einander. Man kann ja in der That die Anziehungskraft auf die eine oder die andere Weise in gleichem Betrage verringern, und im Voraus lässt sich weder für noch gegen die eine oder die andre Anschauung mehr sagen. Erwägen wir aber die Folgen, welche nach diesen verschiedenen Anschauungen in Beziehung auf die Härteverschiedenheiten an einem Krystalle auf verschiedenen Flächen sich zeigen müssen, so werden wir sofort erkennen, dass wir eben durch die Beobachtungen der absoluten Härte auf verschiedenen Flächen eines und desselben Krystalles entscheiden können, welche von beiden mit den Beobachtungen besser in Uebereinstimmung stehe. Wir wollen zu diesem Behufe das Verhalten des Gypses etwas näher ins

Auge fassen. Ist die Anschauung richtig, dass die Güte der Spaltbarkeit abhängig ist von der Zahl der auf die Längeneinheit treffenden Spalten oder besser Zwischenräume zwischen den Molekülen, so muss uns dann auch bei 3 Blätterbrüchen wie beim Gyps, deren Winkel wir kennen, dadurch auch das Verhältniss der den Spaltungsrichtungen parallel laufenden Dimensionen des Moleküls gegeben sein, weil ja eben an den Enden der regelmässig gelagerten Molekülreihen die Zwischenräume, nach welchen sich die Spaltung richtet, sich finden. Nehmen wir z. B. an, die Güte der Spaltbarkeit am Gypse verhalte sich für die 3 Richtungen P, M, T wie 3 : 2 : 1 (auf die wirklichen genauen Bestimmungen kommt es bei unseren Erörterungen übrigens gar nicht an), so heisst das nach der in Rede stehenden Anschauung so viel als: auf die Längeneinheit kommen parallel P 3, parallel M 2 und parallel T je eine Spalte. Daraus construirt sich nun das Molekül des Gypses einfach als ein rhomboidisches Parallelepipedum (Fig. 5 Taf. II), die Fläche P ist ein Rhomboid, M und T 2 Rechtecke; geben wir T (senkrecht zu P) die Höhe 1, so ist seine Breite 2, M dann ebenfalls 1 hoch, aber die Breite dann 3, das Rhomboid P hat dann 2 parallele kürzere Seiten von 2, und 2 längere von 3 Länge. Bauen wir nun einen Krystall aus solchen Parallelepipeden auf, wie Fig. 5 es darstellt, wo zunächst nur 3 Moleküle der Länge, Breite und Höhe nach zusammengestellt gezeichnet sind, so sieht man ohne Weiteres, wie sich darnach die Härteverhältnisse gestalten müssen, wenn sie von der Zahl der Spalten, welche die ritzende Spitze bei gleicher Weglänge zu überspringen hat, abhinge. Offenbar müsste in diesem Falle T die härteste, P die weichste Fläche sein. Denn P ist ja durchzogen von den Spalten der Brüche M und T, welche auf die Längeneinheit 1 und 2 Spalten liefern, T dagegen ist durchzogen von den Spalten parallel M und P, von denen auf die Längeneinheit 2 und 3 kommen. Die Beobachtung

(s. S. 384) ergibt nun aber ein ganz anderes Resultat, indem T, das die härteste Fläche sein sollte, bedeutend an Härte der Fläche M nachsteht, welche weicher als T sein sollte.

Nehmen wir dagegen an, dass nicht die verschiedene Zahl, sondern die Breite der Spalten oder Zwischenräume zwischen den Molekülen die bessere oder schlechtere Spaltbarkeit bedinge, so wird der Einfluss derselben auf die Härte in allen Fällen einfach zu erklären sein.

Für die Flächen des Gypses M und T z. B. können wir uns dann in folgender Weise die Lagerung der Moleküle veranschaulichen. Die Fläche M ist durchzogen von den zwei rechtwinklich sich kreuzenden Spaltungsrichtungen P und T. Die Fläche T dagegen von M und P. Nehmen wir an in dem Verhältnisse ihrer Güte sei die Breite der Zwischenräume grösser, also die Breite von P : M : T verhalte sich wie 3 : 2 : 1, so wird die Lage der Moleküle auf M die Fig. 6 A dargestellte sein, die auf T dagegen entspricht Fig. 6 B. Auf jener sind es die breitesten Zwischenräume P und die schmalsten T, welche ihre Moleküle sondern, auf dieser die breitesten P und die von mittlerer Breite M. Offenbar wird auf dieser Fläche B eine Spitze leichter die Moleküle verdrängen, als in A auf der Fläche M, und leichter und tiefer eindringen.

Die Breite der Spalten wird sich aber noch in ganz anderer Weise bemerkbar machen müssen, wenn wir auch noch die Form der Moleküle und die Richtung der Spalten, d. h. den Winkel, den sie mit den Flächen bilden, ins Auge fassen. Wir werden da sofort gewahr, wie wenig wir die Erscheinungen der Härteverschiedenheit erklären könnten, wenn wir nur die Zahl oder Breite der Spalten ins Auge fassen wollten. Es bedarf zu diesem Behufe auch nur der Betrachtung ein oder der andern Figur, in welcher die Lage der Moleküle im Verhältnisse zu den verschiedenen Krystallflächen dargestellt ist. Denken wir uns z. B. einen Durch-

schnitt durch einen Kalkspathkrystall wie ihn Taf. I Fig. 3 darstellt; bei P ist die gerade Endfläche, R die Rhomboëder-, S die Säulenfläche. Hier sieht man ohne Weiteres, dass nicht allein die Zahl der Spalten, sondern die Form und Lage der Moleküle die Härte wesentlich beeinflussen müsse. Wir sehen da ohne Weiteres ein, warum auf der Säulenfläche nach abwärts in der Richtung LU die Härte eine geringere sein muss, als in umgekehrter nach aufwärts. In ersterem Falle findet ja die Bewegung der Moleküle von x nach S hin beim Losreissen statt und ist die Seite bei z frei, während in umgekehrter Richtung die z parallele Seite bei x am benachbarten Molekül anliegt und gegen dasselbe hingedrängt wird. In ähnlicher Weise verhält es sich auf der geraden Endfläche. Auch hier zeigt uns ein Blick auf die Lage der Moleküle, welche grosse Verschiedenheit in der Härte, oder, wie wir ja auch sagen können, welcher verschiedene Widerstand beim Abbrechen der Moleküle an den verschiedenen Stellen eines Krystalles herrschen muss, wie auch ein Blick auf die Figg. 3 und 4 Taf. II die Verschiedenheit der Härte in den verschiedenen durch die Pfeile angedeuteten Richtungen am Gypse ohne Weiteres begreiflich macht. Ebenso bedarf es keiner weiteren Auseinandersetzung, von welchem Einflusse die Dimensionen der Moleküle nach verschiedenen Richtungen hin auf die Härte haben müssen. Bei rechtwinklig gestalteten Prismen, wird in den verschiedenen Richtungen kein Unterschied der Härte wahrnehmbar sein, ob man in derselben von rechts nach links oder von links nach rechts fährt, wie wir das auch überall bestätigt finden, dagegen werden hier ungleiche Dimensionen und Verschiedenheiten in der Breite der Spalten von Einfluss sein. Denken wir uns z. B. ein Mauerwerk von Würfeln, oder von Backsteinen und die letzteren verschieden gestellt, einmal auf die breite Fläche, dann auf die lange schmale Seite oder auf die kürzeste und schmalste, so werden diese ver-

schiedenen Fälle ganz verschiedenen Kraftaufwand beim Abbrechen einer so construirten Mauer erfordern. Finden wir aber eine Verschiedenheit in ein und derselben Linie, je nachdem wir das ritzende Instrument in der einen oder der ihr entgegengesetzten Richtung bewegen, so können wir immer auf eine Abweichung von der rechtwinkligen Lage der Fläche gegen die Spalten schliessen.

Wie verhält es sich nun mit den Mineralien, welche nicht spaltbar sind? Wir haben schon oben erwähnt, dass von Manchen behauptet wird, die Krystalle seien ohne Ausnahme spaltbar, nur zuweilen in so geringem Grade, dass wir sie nicht nachweisen könnten. Halten wir an der Annahme fest, dass alle Krystalle aus Molekülen aufgebaut seien, welche sich in regelmässiger, symmetrischer Lage zu einander befinden, so dass die gleichen Richtungen bei allen auch in paralleler Lage sich befänden, so müssen wir allerdings die Möglichkeit einer Spaltbarkeit für alle annehmen. Dennoch können wir uns dann immer noch manche Verhältnisse denken, welche sie sehr wenig wahrnehmbar machen können. Selbst bei paralleler Lage aller Krystallachsen können wir uns ja immerhin noch wie eine verschiedene Entfernung der einzelnen Moleküle, so auch eine verschiedene Anhäufung denken. Z. B. für octaëdrische Moleküle können wir uns dieselben so gestellt denken, dass sie sich nur mit den Ecken berühren, oder auch so, dass sie sich mit den Kanten berühren, aber die nächste Reihe wieder nur die Ecken der unteren berührt. Wir könnten sie auch noch so gruppiren, dass in der Mitte der Mittelkanten (Lateralkanten) wieder ein Octaëder stehe, dessen Mittelpunkt dann natürlich in die Linie fallen würde, welche die Spitzen zweier benachbarter Octaëder verbindet. Noch grössere Mannichfaltigkeit in der Gruppierung findet bei flächenreicheren durch die Spaltbarkeit nachweisbaren Molekülen statt. Bei einer rhombendodekaëdrischen Gestalt z. B. wie sie die Zinkblende in so ausgezeichnete Weise

erkennen lässt, können wir von der octaëdrischen Stellung ausgehend, die Moleküle mit den 4 dann senkrecht stehenden Flächen an einander gereiht denken. Wir können sie aber auch in hexagonaler Stellung so geordnet denken, dass sie sich dann bei senkrechter Lage der Hauptachse mit den Säulenflächen parallel stellen und hier wieder zwei Modificationen annehmen, nemlich dass die Hauptachsen durch alle senkrecht auf einander stehenden Molekülreihen in gerader Linie hindurchgehen, also stets die untere Polecke des höheren mit der oberen des unteren sich berührt, oder wie die Bienenzellen gestellt, so dass die nächste höhere Reihe mit ihren Polecken in die einspringenden Ecken zwischen den Rhomboëderflächen der unteren sich legen.

Es bedarf wohl keiner näheren Auseinandersetzung, welchen Einfluss das auf die Härte haben muss, je nachdem die eine oder die andere Vertheilung statt hat. Und eben in dieser Beziehung sind die Härteuntersuchungen von nicht geringer Wichtigkeit, weil wir durch sie ein Mittel erhalten, die eine oder die andere dieser verschiedenen Möglichkeiten hinsichtlich der Anordnung der Moleküle zu prüfen. Denn, dass je nach dem verschiedenen Aufbau auch der Abbruch ein verschieden leichter oder schwerer nach verschiedenen Richtungen sein muss, ist wohl selbstverständlich. Natürlich können wir auch, wo wir keine Spaltbarkeit nachweisen können, nicht von einem Einflusse derselben auf die Härte etwas aussagen, aber dennoch müssen sich auch in einem solchen Falle die übrigen Factoren, welche wir für die Härte als bestimmend gefunden haben, noch bemerklich machen und eine Verschiedenheit der Härte erzeugen. Wenn sich dieselbe auch auf der einen oder der andern Fläche in verschiedenen Richtungen nicht bemerkbar machen sollte, wie dies z. B. nach den Untersuchungen Exner's auf den Flächen des chlorsauren Natriums und unterschwefelsaurem Blei der Fall war, so wird sich dieselbe doch auf den verschiedenen

Flächen bemerkbar machen müssen, sowie wir es nicht mit einem Körper des regulären Krystallsystems zu thun haben. Bei dem letzteren werden wir ja stets die Moleküle nach den 3 Hauptachsen von gleichen Dimensionen annehmen müssen, ebenso die Zwischenräume zwischen ihnen gleich, aber auch in diesem Falle wird sich auf verschiedenen Flächen um so mehr eine Ungleichheit in der Härte einstellen, je mehr das Molekül von der Kugelform abweicht, denn dächten wir uns einen Krystall aus lauter Hexakisoctaëdern aufgebaut, so würde derselbe viel weniger Unterschiede in den verschiedenen Richtungen einer ritzenden Spitze darbieten, als etwa ein aus Würfeln aufgebautes Octaëder, aus dessen Flächen die Würfecken ja ganz in derselben Weise hervorragen, wie die Rhomboëderecken aus der geraden Endfläche.<sup>1)</sup>

Bei allen übrigen Krystallsystemen müssen wir ja auch die Moleküle schon von verschiedenen Dimensionen annehmen und darnach muss sich auch je nach den Dimensionen dieser Moleküle eine Verschiedenheit auf den einzelnen Flächen zu erkennen geben. Unter den Mineralien, welche in etwas grösseren Krystallen vorkommen, wie sie zu Härteuntersuchungen nöthig sind, eignet sich kein anderes besser dazu, dieses zu prüfen, als der Aragonit. Derselbe hat zwar angeblich nach der Fläche  $h = b : \infty a : \infty c$  blättrigen Bruch, aber Quenstedt bemerkt mit vollem Recht dazu „man hat grosse Mühe sich nur von seinem Dasein zu überzeugen, geschweige, dass er sich darstellen liesse.“ Untersucht man nun diese Fläche, die von keinen Spaltungsrichtungen durchzogen wird, so findet sich dennoch ein merklicher Unterschied in der Härte auf dieser Fläche, indem das Verhältniss der Härte parallel der Hauptachse  $c$  zu der parallel  $a$  ziemlich

1) Am Bleiglanz zeigen sich in der That auch auf der Octaëderfläche parallel der Kombinationskante mit der Würfelfläche und in der darauf senkrechten Richtung von dieser Kante nach und zu ihr hin Härten, die sich verhalten wie 2:3:1,1.

genau wie 1 : 2 sich verhält; es ergibt sich nämlich die Härte für diese 2 Richtungen 54 und 94. Bedeutend härter noch ist die gerade Endfläche, nemlich 4mal härter als die Fläche h in der Richtung parallel c. Einen Unterschied der Härte auf dieser Fläche konnte ich jedoch noch nicht sicher nachweisen, weil es schwer ist, Flächen der Art in grösserer Ausdehnung ohne vielfache Zwillingslamellen zu erhalten. Ich bemerke dies deshalb, weil dadurch die Angabe, der Aragonit sei auch nach  $a : b : \infty c$  (M)  $b : c : \infty a$  (P) spaltbar, höchst zweifelhaft erscheint. Wären diese Angaben nemlich richtig, so würde die Endfläche von einem dreifachen Blättersystem durchsetzt, von dem einen, parallel P, noch dazu in schiefer Incidenz. In diesem Falle würden wir nach allen bisher vorliegenden Versuchen beträchtliche Härteunterschiede auf dieser Fläche erwarten dürfen. Nach den vorhergehenden Erörterungen wird es wohl als ziemlich sicher feststehend anzusehen sein, dass zwar die Spaltrichtungen für die Härte von erheblichem Einflusse sind, dass aber als der eigentliche Grund der Härteverschiedenheiten die Verschiedenheiten der Masse, der Gestalt, der Entfernung und der Stellung der Moleküle anzusehen seien. Eben deswegen haben auch genaue Härteuntersuchungen ein theoretisches Interesse, indem sie uns mit ein Hilfsmittel an die Hand geben, die molekulare Konstitution der festen Körper kennen zu lernen, und im Vereine mit anderen physikalischen Untersuchungen uns dem Ziele näher bringen, den unsichtbaren Aufbau der Krystalle unserem geistigen Auge sichtbar zu machen.

---

Herr Zittel berichtet über eine von Herrn Dr. von Ammon ausgeführte Arbeit:

„Ueber fossile Medusen aus dem lithographischen Schiefer.“

Dieselbe wird in den „Denkschriften“ erscheinen.

---



Fig. 2.

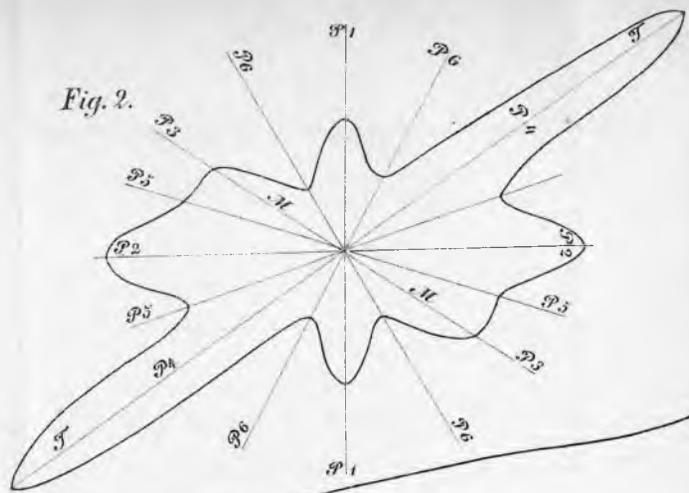


Fig. 1.

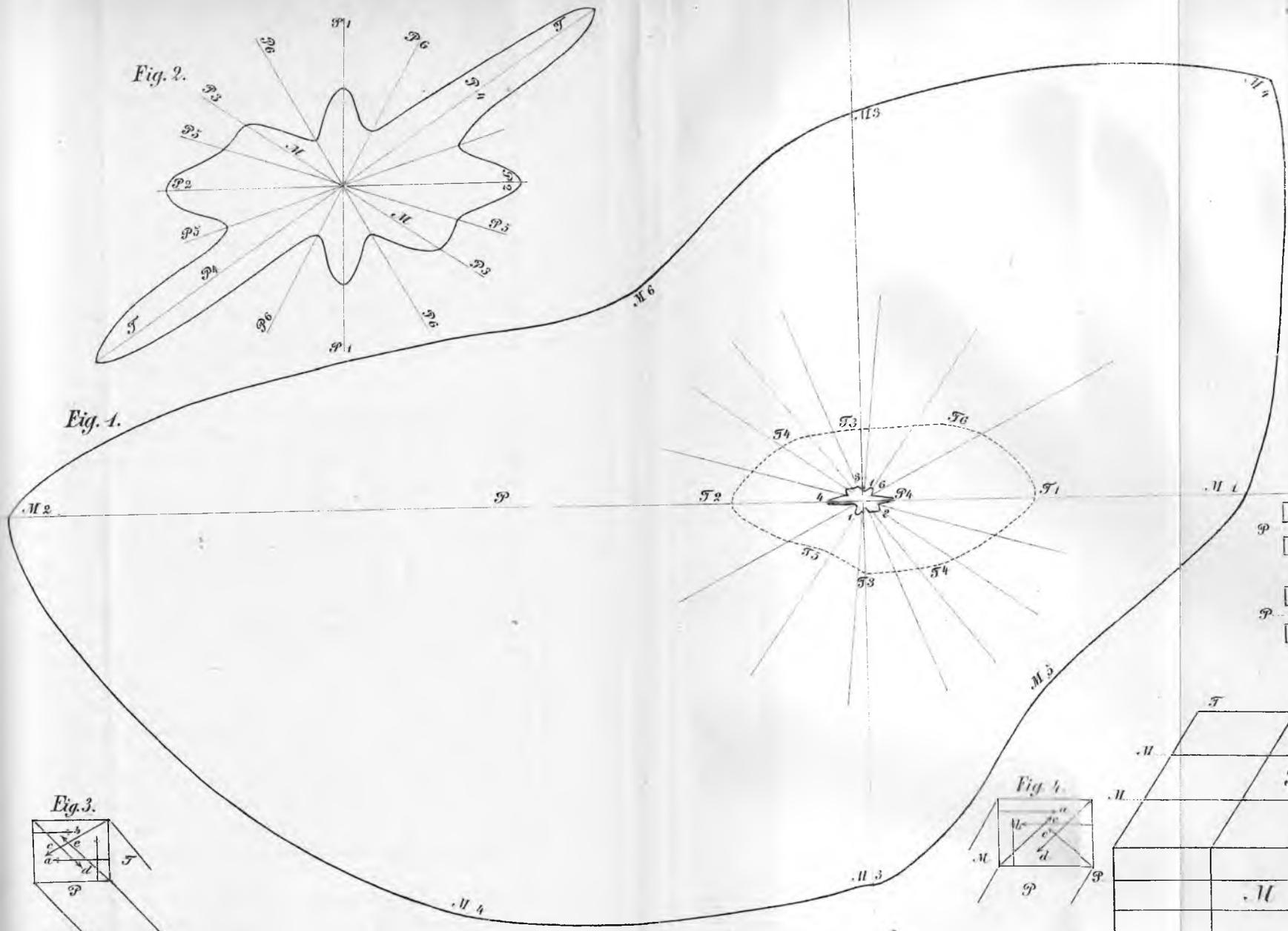


Fig. 6.

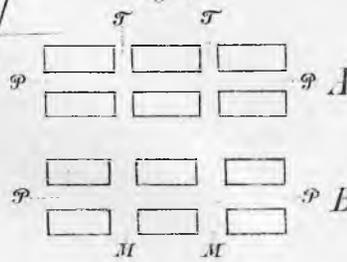


Fig. 5.

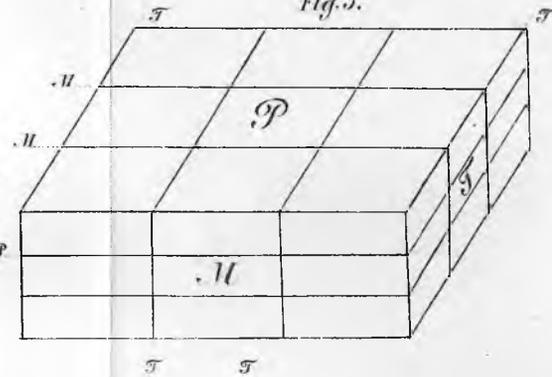


Fig. 4.

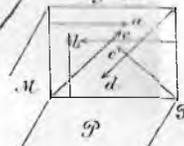
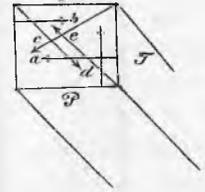


Fig. 3.



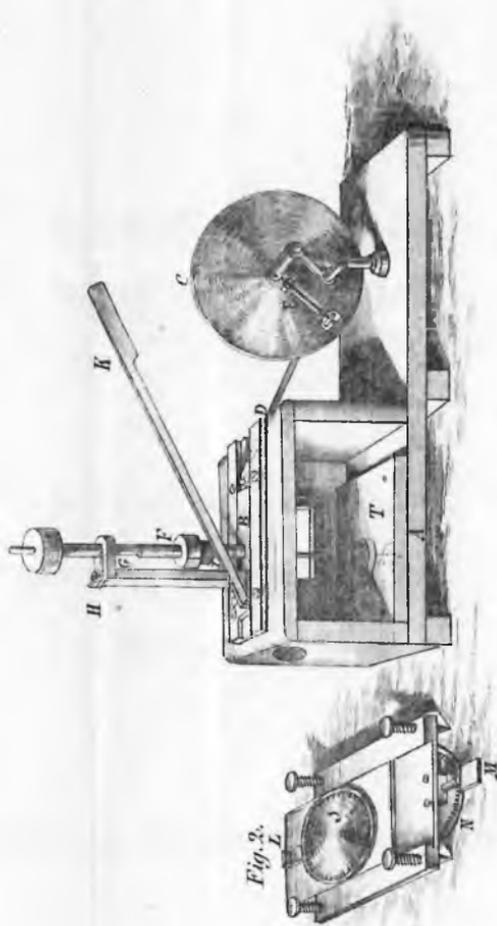


Fig. 2.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München](#)

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [1883](#)

Autor(en)/Author(s): Pfaff Friedrich

Artikel/Article: [Untersuchungen über die absolute Härte des Kalkspathes und Gypses und das Wesen der Härte 372-400](#)