

# Das Fließen fester Körper

unter hohem Drucke  
insbesondere des Eises.

Von

**A. v. Obermayer.**

---

Vortrag, gehalten den 13. Jänner 1904.

*(Mit Demonstrationen.)*

Mit 7 Abbildungen im Texte.



Die Versuche, über welche ich heute berichten will, beziehen sich auf die Umformung, welche plastische Körper unter hohem Drucke erfahren und welche man auch als Fließen bezeichnet hat. Zunächst soll der Ausfluß fester Körper, die in einem Gefäße allseitig eingeschlossen sind, durch eine Ausflußöffnung unter hohem Drucke vorgeführt und besprochen werden. Als den ausfließenden Körper wähle ich das Eis, welches für gewöhnlich sich gegen Stöße spröde erweist.

Solche Versuche über den Ausfluß fester Körper unter hohem Drucke wurden in den Jahren 1864—1869 von dem Zivilingenieur Alfred Tresca<sup>1)</sup> in Paris ange stellt. Er experimentierte mit einer großen hydraulischen Presse mit vier Zylindern, welche einen Maximaldruck von 100.000 *kg* gab und an einem geeigneten Manometer den augenblicklichen Druck abzulesen gestattete. Er brachte Wachs, Ton, Eis, Blei, Kupfer, Zinn und Silber u. dgl. m. zum Ausfließen und stellte mit geschichteten Wachskörpern die Vorgänge im Ausflußgefäße und im Strahle dar.

---

<sup>1)</sup> Sur l'écoulement des corps solides soumis à des fortes pressions. Comptes rendus, T. 59, p. 754. Sur l'écoulement de la glace soumise à des fortes pressions. Comptes rendus, T. 64, p. 398.

Von den Versuchsergebnissen machte er Anwendungen auf die Erklärung der Erscheinungen beim Walzen, Pressen und Stanzen der in der Industrie Verwendung findenden Materialien. Der französische Geologe Daubrée<sup>1)</sup> nahm Ende der Siebzigerjahre des vorigen Jahrhunderts diese Versuche zu dem Zwecke wieder auf, um die Entstehung von Schieferung in Gesteinen aus der Deformation derselben unter hohem Drucke nachweisen zu können. Er war hierzu durch die Versuche des Engländers Sorby (1855) angeregt, welcher durch Pressung eines Gemisches von Gips mit Eisenglanz eine deutliche Schieferung erzielte. Auch der bekannte englische Physiker John Tyndall (1856)<sup>2)</sup> hatte durch Pressen von Wachs eine Schieferstruktur hervorgebracht. Er schrieb dieselbe anfänglich bloß dem Drucke, später aber den durch den Druck bewirkten relativen Verschiebungen in der Masse zu.

Daß sich das Eis in den Gletschern bewege, war schon lange vor den Versuchen von Tresca bekannt. Die Alpenbewohner hatten diese Erscheinung beobachtet. Scheuchzer hatte 1705 diese Erscheinung durch die Annahme zu erklären versucht, daß die mit dem Frieren des Wassers im Gletscher verbundene Ausdehnung die Bewegung bedinge. Saussure schrieb (1799) diese Bewegung einem Gleiten des Eises auf dem Grunde

---

<sup>1)</sup> Etudes synthétiques de géologie expérimentale par A. Daubrée. Paris 1879.

<sup>2)</sup> Fragmente aus den Naturwissenschaften, S. 536.

zu. Der erste, welcher die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung quantitativ feststellte, war Hugi (Alpenreise 1830, Die Gletscher 1843). Eine Hütte, welche er 1827 auf dem Aargletscher erbaut hatte, war bis zum Jahre 1830 um 100 *m*, bis zum Jahre 1836 um 714 *m* nach abwärts bewegt. Agassiz fand dieselbe im Jahre 1871 um 1428 *m* nach abwärts verschoben (Système glaciaire 1847). Außerdem haben sich mit der Gletscherbewegung befaßt: Rendu, Bischof von Annecy (Théorie des glaciers de la Savoie 1841); der Edinburger Professor Forbes (Travels in the Alps of Savoy 1843), Schlagintweit (Physikalische Untersuchungen in den Alpen 1850), Tyndall (Glaciers of the Alps 1860). Insbesondere der bekannte englische Physiker Tyndall zeigte, daß unter Anwendung von Druck Eis mit Hilfe von Holzmodeln in beliebige Formen gepreßt werden kann, und erklärte die Bewegung der Gletscher aus dem Drucke der überliegenden Eismassen. Wir wollen später einen derartigen Versuch, Eis durch Druck zu formen, wiederholen.

Zunächst aber soll mit dem Ausflusse eines Eiszylinders von 18 *cm* Durchmesser und 27 *cm* Höhe durch eine Ausflußöffnung von 12 *cm* begonnen werden. Die Vorgänge im Inneren des Ausflußgefäßes entziehen sich selbstverständlich der Demonstration, doch ist es möglich, ein anschauliches Bild derselben zu schaffen, wenn die Ergebnisse der Versuche mit geschichteten Zylindern aus plastischem Tone zu diesem Zwecke herangezogen werden.

Der Ausflußapparat, der hier benutzt werden soll, enthält als Ausflußgefäß einen gußeisernen Hohlzylinder

von 18 *cm* innerem Durchmesser, welcher unterhalb durch einen beweglichen Kolben abgeschlossen ist, auf welchen das Eis eingetragen wird. Ich verdanke das genaue Ausdrehen dieses Zylinders und des zugehörigen, später zu erwähnenden Deckels dem Entgegenkommen der Gasmotorenfabrik Langen & Wolf in Wien. Durch eine Säule aus Weißbuchenholz stützt sich dieser Kolben auf eine quadratische Gußeisenplatte, die auf dem Kopfe des Preßkolbens eines hydraulischen Hebebockes aufruhet. Der gußeiserne Hohlzylinder ist mit seinen Flanschen auf vier Säulen aufgesetzt und niedergeschraubt, welche zugleich als Führung für die erwähnte quadratische Platte dienen. Die vier Säulen und die Schrauben, dann die Bleche sind dem physikalischen Kabinette der Technischen Militär-Akademie von der Eisenkonstruktionswerkstätte Ignaz Griedl kostenlos beigelegt worden.

Es wird nunmehr ein zylindrischer Eisblock in den Apparat eingetragen, welcher aus zerstückeltem Kunst-eis durch Pressen im Apparate erzeugt wurde.

Oberhalb wird der Ausflußzylinder durch einen Deckel aus Gußstahl geschlossen, der mit einer kreisförmigen Mittelöffnung und einem dazu konzentrisch eingedrehten Ringlager an der unteren Fläche versehen ist, in welchem letzteres die Platte mit der Ausflußöffnung eingesetzt wird. Außerdem ist der Deckel an der unteren Fläche konzentrisch zum Ringlager derart abgedreht, daß eine 1 *mm* vorstehende Ringfläche von 18 *cm* äußerem Durchmesser entsteht, mit deren äußerem Rande der Deckel in die Bohrung des Zylinders zentral einfällt.

Zur Bewegung ist der Deckel an zweien seiner oberen Rippen mit Ösen versehen, in welchen die Haken des mit einem Differentialflaschenzuge verbundenen Bügels eingreifen. Durch vier Stahlschrauben mit Köpfen und Muttern wird der Deckel an die oberen Flanschen des Ausflußzylinders niedergezogen. Der Eisstrahl tritt hier senkrecht nach oben aus. An einer neben der Ausflußöffnung aufgestellten Skala kann die Höhe der Eissäule über der obersten Fläche des Deckels abgelesen werden. Hierzu sind noch 7 *cm*, die Dicke des Deckels, zu addieren, um die gesamte Länge jenes Strahles zu finden.

Der Schiffshebebock, dessen wir uns hier bedienen wollen, verschwindet seiner geringen Dimensionen wegen fast in der Versuchsanordnung. Er ist eine Type, welche unter dem Namen Tangyes, hydraulischer Schiffshebebock oder Hydraulic Jack im Handel ist. Derselbe ist nach dem Prinzip einer hydraulischen Presse konstruiert. Die Druckpumpe ist samt der Flüssigkeit im Inneren des Stahlgußgehäuses eingeschlossen und es wird der Stempel derselben durch einen Hebel mittels eines Daumens bewegt. Durch diese Druckpumpe kann mit Hilfe des Ventils im Preßzylinder ein Druck von  $390 \text{ kg/cm}^2$  hergestellt werden; derselbe wird an einem Manometer abgelesen, welches nebst dem Drucke in  $\text{kg/cm}^2$  noch den Gesamtdruck angibt, welchen der Preßkolben ausübt. Da der Durchmesser des Preßkolbens 8.25 *cm* und seine Querschnittsfläche 53.5  $\text{cm}^2$  beträgt, ist der gesamte Druck, welchen die komprimierte Flüssigkeit, hier Vaselineöl, auf den Preßkolben ausübt, sonach  $53.5 \cdot 390 =$

20.800 *kg*. Es ist dies ungefähr das Gewicht von 266 Menschen, deren einer im Mittel 75 *kg* wiegt, das ist etwa das Gewicht so vieler Menschen, als in diesem Saale auf den Sitzplätzen Platz finden, und noch von 80 Menschen, welche stehen. Dabei ist die Länge des Apparates 41 *cm*, die Breite 20 *cm*, die Höhe einschließlich des Kopfes des Preßkolbens 28 *cm*, die Hubhöhe 15 *cm* und das Gewicht 46 *kg*.

Der Hebebock ruht auf einem Tische mit 7 *cm* dicker Eichenholzplatte, welche mit 5 *mm* dickem Eisenblech belegt ist. Der Zug von 20.000 *kg* spannt selbstverständlich nur die Eisensäulen und Schrauben und wirkt von unten auf die Tischplatte. Der Tisch selbst hat an zweien seiner Füße Rollen, an den anderen Hebel, so daß derselbe gefahren werden kann. Es ist dies eine Einrichtung, welche sich an allen schweren Apparaten des physikalischen Kabinettes der Technischen Militär-Akademie bewährt hat.

Zur Erhebung einer Last von 20.000 *kg* durch eine Höhe von 1 *cm* ist eine Arbeit von 200 *kgm* erforderlich. Da bei Maschinen die Arbeit der Kraft gleich jener der Last ist, so hat man hier einen ganz beträchtlichen Weg der Kraft, die am Ende des Pumpenhebels wirkt, zu erwarten. In der Tat wurden bei einem Versuche 14·2 *cm* eines Eiszylinders bei einem mittleren Drucke von 18·000 *kg*, zum Ausflusse gebracht und dazu 91 Pumpenhuber erfordert, bei welchen die wirkende Kraft jedesmal einen Weg von 70 *cm*, im ganzen also einen Weg von 6370 *cm* zurückzulegen hatte. Nun ist  $6370 : 14\cdot2$

= 448·5, das heißt, der Weg der Kraft war 448·5 mal so groß als jener der Last. Die Last würde, von Widerständen abgesehen, durch eine Kraft von 41·4 *kg* überwunden werden. In Wirklichkeit muß die Kraft am Hebelende größer genommen werden.

Das kinematische Gegenstück zu dem Hebebocke ist der Differentialflaschenzug, der hier zur Bewegung des Deckels benützt wird. In der hydraulischen Presse wird die Kraft mittels der Flüssigkeit durch Druck auf die Last übertragen, im Flaschenzuge geschieht dies durch den Zug der Kette. Ein solcher Differentialflaschenzug hat eine feste Rolle mit zwei Kettenläufen von wenig verschiedenem Durchmesser. Die Kette, welche über den größeren Kettenlauf geschlungen ist, führt zur beweglichen Rolle herab, an welcher die Last — hier der Deckel — hängt, von hier hinauf zum kleineren Kettenlaufe und dann schließt sich die Kette mit dem anfänglichen Stücke zu einer Kette ohne Ende zusammen. Bei einer Bewegung der oberen Rolle wickelt sich dies eine Kettenstück, welches die bewegliche Rolle trägt, z. B. auf den größeren Kettenlauf der festen Rolle auf, das andere von dem kleineren Kettenlaufe um etwas weniger ab. Wenn ich an dem ersteren Kettenstücke um 1 *m* herabbewege, so ist die Differenz der auf- und abgewickelten Kettenlänge 8 *cm*. Die Last hebt sich daher 4 *cm*. Das theoretische Verhältnis der Kraft zur Last ist 1 : 24, das wirkliche Verhältnis ist wegen der Reibungs- und Kettenstreitigkeitswiderstände 1 : 7. Der Flaschenzug bleibt zufolge der Reibung in jeder Lage im Gleichgewichte.

Wir wenden uns nunmehr zur Betrachtung der Vorgänge während des Ausflusses selbst und bedienen uns dazu der mit Zylindern plastischen Tones erhaltenen Versuchsergebnisse. Solche Tonzylinder können aus horizontalen Schichten oder aus konzentrischen Schichten

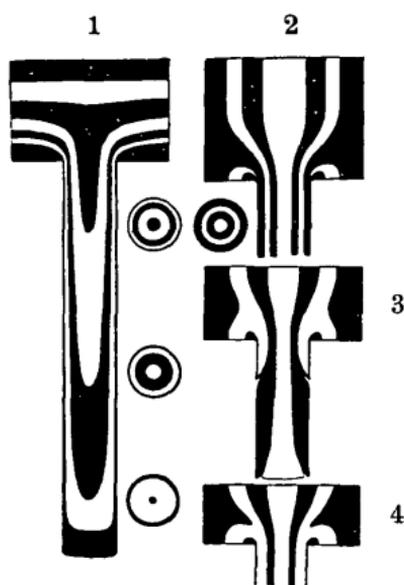


Fig. 1—4.

aufgebaut werden, welche man verschieden färbt.

Die Figur 1 zeigt den Längsschnitt durch Tonblock und Strahl bei horizontaler Schichtung und weit fortgeschrittenem Ausflusse. Die horizontalen Schichten beginnen sich am Ausflusse in der Weise zu beteiligen, daß sie sich in einer bestimmten Entfernung von der Ausflußöffnung in der Mitte wölben und daß diese Wölbung in die nächste, gegen die Ausflußöffnung

gelegene Schichte eindringt. Die horizontalen Schichten werden hierdurch im Strahle zu einseitig geschlossenen, oben trichterförmig geöffneten Röhren ausgezogen, die sich im Strahle konzentrisch umschließen. Die Querschnitte des Strahles sind neben die betreffenden Stellen hingesezt.

Die Schichte, welche unmittelbar an der Platte mit der Ausflußöffnung angelegen war, ist viel weniger ausgeflossen als die gegen das Gefäßinnere folgenden. Wir

wollen diese Schichte die erste nennen. Die folgenden Schichten, das heißt die 2. und 3., sind zum größten Teile ausgepreßt, sie sind im Gefäße nur mehr durch ganz dünne Lagen über der 1. Schichte vertreten. Die vierte Schichte ist im Gefäße wohl verdünnt, aber schon weniger als die 2. und 3., die 5. Schichte ist noch weniger verdünnt; die 6. Schichte beginnt sich eben zu wölben und sich dadurch am Ausflusse zu beteiligen, die 7. oberste Schichte ist noch unverändert. Wäre der Ausfluß eines Zylinders von mehr als sieben Schichten noch weiter fortgesetzt worden, so würde ein Rest der 1. Schichte noch immer im Gefäße verblieben sein, während die 2., 3., 4. . . . Schichte im Gefäße ungefähr in dem Gebiete, wo jetzt die 2. und 3. Schichte liegen, fortwährend verdünnt worden wären. Oberhalb dieses Gebietes findet die lebhafteste Beteiligung der Schichten am Ausflusse statt. Der Rest der 1. Schichte wird nur außerordentlich langsam, vielleicht niemals vollständig verdrängt.

Bei dem aus einem massiven Zylinder mit konzentrischen, zylindrischen Röhren geschichteten Zylinder wollen wir die Schichten von innen nach außen zählen. Der mittlere Zylinder wird daher als die 1. Schichte bezeichnet. Der Längsschnitt eines solchen zylindrischen Blockes, der schon eine Zeit ausgeflossen ist, samt einem kurzen Strahlstücke ist in Figur 2 dargestellt. Alle Schichten beteiligen sich am Ausflusse. Im Strahle umhüllen sich auch die Schichten konzentrisch. Die Verhältnisse der Querschnitte der Schichten im Strahle zu einander sind gleich denjenigen im Gefäße. Ist daher

der äußere Halbmesser einer Schichte, z. B. der 2. Schichte, gleich der Hälfte des Zylinderhalbmessers, so ist auch im Strahle der Halbmesser der 2. Schichte gleich dem halben Halbmesser des Strahles.

Bei dem hier dargestellten Ausflusse ist bereits Beharrungszustand eingetreten gewesen, das heißt, jedes anfänglich in einer Vertikalen herabsinkende Teilchen beschreibt genau dieselbe Bahn wie das vorausgehende Teilchen. Die Trennungslinien der konzentrischen Schichten stellen hiernach die Strömungslinien dar. Durch irgend einen Punkt im Gefäße gehen während des Beharrungszustandes die Teilchen stets mit der gleichen Geschwindigkeit sowohl der Größe als der Richtung nach. Eine Vorstellung vom Beharrungszustande kann man an einem Wasserlaufe, wie z. B. im Wienbette gewinnen. Die Wellen bleiben hier am selben Orte stehen und die Wasserteile laufen unterhalb durch. Jedes nachfolgende Teilchen beschreibt genau dieselbe Wellenlinie wie das ihm unmittelbar vorausgehende. Durch einen Punkt der Wasseroberfläche laufen die Flüssigkeitsteilchen stets mit gleich großer und gleich gerichteter Geschwindigkeit.

Nach der vorliegenden Figur zeigen sich im Ausflußgefäße Reste der 2. und 3. Schichte, die offenbar von der 4. durchbrochen wurden, dieselben entsprechen dem Reste der 1. Schichte beim Ausflusse des horizontal geschichteten Tonblockes.

Das sukzessive Durchbrechen innerer Schichten durch die äußeren ist in den folgenden Versuchen darge-

stellt. In der Figur 3 beginnt die 4. Schichte sich eben durch Bildung einer Wulst am Ausflusse zu beteiligen, die 3. Schichte hat die 2. bereits durchbrochen und tritt schon im Strahle auf. In der folgenden Figur 4 zeigt die 4. Schichte schon den Beginn des Durchbruches durch die 3. Schichte. Man könnte diese Entwicklung der Beteiligung der Schichten am Ausflusse als deren Anfangsanzeigen betrachten. Die letzte Figur gibt aber bereits auch die Endanzeigen, indem die Verdickung der 4. Schichte die inneren Schichten auszuquetschen beginnt, da die Höhe des ausfließenden Blockes eine geringe war.

Von einem Tonblocke, welcher horizontal geschichtet war und durch die 12 *cm*-Ausflußöffnung so wie im Augenblicke das Eis ausgepreßt wurde, ist hier ein Längsschnitt ausgestellt, welcher deutlich die Wölbung zeigt, mit welcher die Schichten ineinander eindringen.

Wenn ein solcher Tonstrahl, z. B. aus einer Öffnung von 6 *cm* gewonnen, quer durchgebrochen wird, so zeigt er eine sehr ausgesprochene konzentrische Schichtung auch dann, wenn der Ton homogen ist. Wird ein solcher Strahl noch der Länge nach auseinandergebrochen, so zeigt derselbe eine stylolithartige Struktur. Daubrée hat solche Versuche mit Ton ausgeführt, dem Glimmerblättchen beigemischt waren, und diese konzentrisch schiefrige Struktur sehr ausgesprochen erhalten, später aber dieselbe auch an homogenem Ton nachgewiesen.

Die relativen Verschiebungen der Tonteilchen aneinander geben die Veranlassung zur Ausbildung dieser Struktur. Wir können dieselbe auch im ausfließenden

Tonblocke finden, sehr ausgesprochen, wenn wir einen Block bis auf eine bloß 1 cm mächtige Schichte auspressen. Ein Querbruch zeigt dann eine ganz ausgesprochene Schieferung. Während in einer homogenen Flüssigkeit, deren Ausfluß unterbrochen wurde, von den vorhergehenden Verschiebungen keine Spuren nachweisbar sind, zeichnen sich die relativen Verschiebungen in den festen Körpern aus und geben von den abgelaufenen Vorgängen Zeugnis. Es ist nun allerdings die mehrfach aufgestellte Behauptung nicht von der Hand zu weisen, daß die Schieferbildung durch eine Ungleichmäßigkeit des angewandten festen Körpers bedingt sei. Jede Struktur ist ja eine Ungleichmäßigkeit im Materiale. Das eine kann aber als feststehend angesehen werden, daß eine Schieferstruktur nur durch Umlagerung der Teilchen entstehen und daher durch relative Verschiebungen derselben hervorgebracht werden müsse. Dabei wird eine vorhandene Inhomogenität die Ausbildung einer Struktur wesentlich erleichtern. Ein Druck kann nur durch die eingeleiteten Verschiebungen zur Ausbildung einer Struktur beitragen. Im Eise mögen die durch den Druck erzeugten, von Tyn-dall<sup>1)</sup> in gepreßten Eisprismen nachgewiesenen, wahrscheinlich innerer Schmelzung entspringenden Trennungsflächen mit der Verkürzung und dem damit verbundenen seitlichen Verbreitern der Prismen zusammenhängen.

Wenn das Auspressen eines Tonblockes bis zu den letzten Resten fortgesetzt wird, so vermag das seitlich

---

<sup>1)</sup> Gletscher der Alpen, S. 500, Fig. 80. 81.

herangeschobene Materiale die Ausflußöffnung nicht mehr vollständig zu erfüllen, es entsteht ein Strahl, der auf mehrere Zentimeter hohl ist. Wird der Tonrest im Gefäße quer durchgebrochen, so erhält man, wie schon erwähnt, eine sehr ausgesprochene Schichtung, eine schieferartige Struktur des nicht viel über einen Zentimeter dicken Restes. Die Schichtung biegt sehr ausgesprochen in den Strahl hinein um.

Auch Eis gibt gegen Ende des Ausflusses einen hohlen Strahl, aber in dem Maße, daß sich die Wandungen verdünnen, nimmt die Zerklüftung des Strahles zu. Ganz ähnliches tritt bei Weichparaffin ein.

Kleine Zylinder von 2.5 *cm* Durchmesser, welche aus Bleiplatten von 2 *mm* Dicke geschichtet wurden, geben genau die Erscheinung, welche in der Figur 1 aufgezeichnet sind. Ein Längsschnitt des Zylinders und des Strahles läßt dieselbe genau erkennen. Eine Zusammenstellung mehrerer Längsschnitte mit Strahlen, die aus Ausflußöffnungen von verschiedenem Durchmesser gewonnen waren, bestätigen das eben Gesagte. Die durch den Ausfluß gewonnenen Bleidrähte verraten äußerlich nichts von ihrer Struktur. Ein Querschnitt läßt die Trennungsflächen der konzentrischen Schichten erkennen; noch auffälliger offenbaren sich dieselben, wenn die Bleidrähte hin- und hergebogen werden. Es lösen sich dann auf dem Bruche die konzentrischen Schichten recht deutlich voneinander.

Die Bleiröhren, welche im Handel vorkommen, werden auch durch den Ausfluß von Blei unter hohem

Drucke erzeugt. Es reicht aber dabei in die Ausflußöffnung ein Dorn hinein, welcher die Innenweite bestimmt. Solche Bleiröhren werden in den Werken von Winiwarter in Gumpoldskirchen angefertigt. Die Ausflußgefäße werden

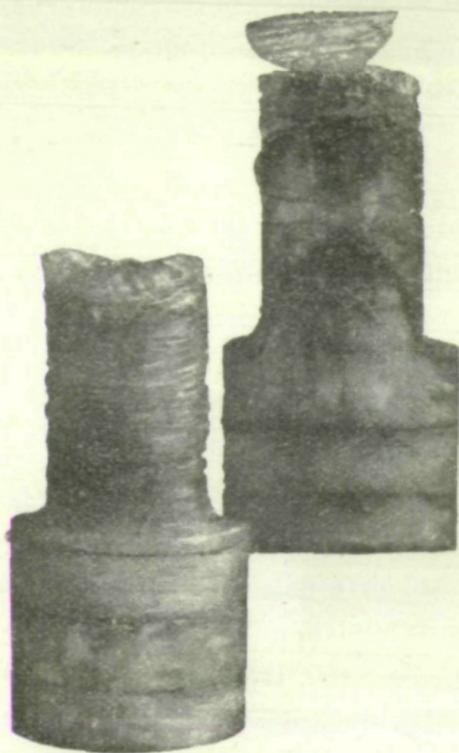


Fig. 5.

mit geschmolzenem Blei angefüllt und die Röhren aus dem erstarrenden Blei in der Nähe des Schmelzpunktes gepreßt.

Daß die Vorgänge beim Ausfließen des Eisessens dieselben sind wie beim Ton, wurde mit Hilfe eines aus Eisscheiben geschichteten Eisblockes nachgewiesen. Zwischen die Scheiben war ein färbiges Pulver, am besten ein Gemisch von Chromgelb mit Englischrot eingestreut.

In der beifolgenden Fig. 5, sind die beiden Teile eines Längsschnittes durch Strahl und ausfließenden Block dargestellt. Auf der Außenseite ist die scheibenförmige Absonderung im Strahle, auf der Schnittfläche das Eindringen der unteren Schichten in die oberen mit Wölbungen gerade so wie beim Ton zu erkennen. Die

hierdurch hervorgerufenen Spannungen in den äußeren Schichten des Strahles führen zur scheibenförmigen Zerteilung derselben.

Ton, welcher zwar mit Wasser befeuchtet, aber nicht gut durchgeknetet ist, verhält sich so wie das Eis, die Strahlen zerteilen sich, spalten sich schuppenförmig nach auswärts gebogen ab u. dgl. m. und am Ende des Ausflusses beginnt der hohle Strahl sich merklich zu zerklüften. Das Verhalten des nicht gut durchgekneteten Tones und des Eises beim Ausflusse sind nahezu gleich, beide zeigen plastisches Ausweichen gegen Druck, zerreißen auf Zug; sie sind beide dickflüssig, die innere Reibung überwiegt die Kohäsion. Solche dickflüssige Körper sind z. B. Schlammströme, Gipsbrei u. dgl. m. Diese Körper sind dadurch von den zähflüssigen Körpern unterschieden, bei welchen plastisches Ausweichen auf Druck mit Fadenziehen beim Risse verbunden ist, etwa so wie bei Honig, Teer, Gummilösungen, Schwarzpech, heißem Siegelack oder dem in der Glasbläserflamme erweichten Glase. Die Kohäsion überwiegt bei diesen Substanzen die innere Reibung.<sup>1)</sup>

Es gibt Übergänge zwischen dickflüssig und zähflüssig und an demselben Körper, z. B. an Weichparaffin, Wachs, Ceresin, können dieselben bei verschiedenen Temperaturen beobachtet werden. Es ändern sich demgemäß auch die Ausflußerscheinungen solcher Körper, insbesondere die Erscheinungen am Strahle.

<sup>1)</sup> A. Heim, Handbuch der Gletscherkunde 1885, S. 190.

Wir unterbrechen nunmehr den Ausflußversuch, lüften die Ventilschraube des Hebebockes und lassen das Vaselinöl vom Preßzylinder in das äußere Gehäuse zurückströmen. Nunmehr werden auch die Schrauben des Deckels gelüftet und der Deckel mit dem Differentialflaschenzuge abgehoben. Durch einen Druck auf das obere Ende des Strahles wird verhindert, daß der daran emporgleitende Deckel den Strahl zerstöre. Der Ring mit der Ausflußöffnung hat sich aus dem Deckel gelöst und ist auf dem Eisrest im Zylinder zurückgeblieben.

Durch Unterlegen der Weißbuchensäule mit Weißbuchenklötzen bei herabgesunkenem Preßkolben und erneuertes Aufpumpen wird nunmehr der Eisrest samt dem Strahle aus dem Ausflußzylinder herausgehoben. Die gesamte Länge des Strahles ist 29 *cm*, der Eisrest hat eine Höhe von 15 *cm*. Der hohen Temperatur des Saales wegen ist, trotzdem der Ausflußzylinder durch eine hineinpassende Zinkblechbüchse mit einer Kältemischung aus gestoßenem Eis und Schnee gekühlt war, das ausgeflossene Eis recht weich gewesen und es ist ein recht kompakter Eisstrahl entstanden, der nur wenig tiefergehende horizontale Trennungen aufweist. Brechen wir den Strahl an einer solchen Trennung ab, so fällt uns sofort der äußere Rand des Bruches in die Augen; derselbe ist recht gut zusammengefroren und zeigt die ausgesprochene Tendenz einer konzentrischen Schichtung, es hebt sich eine etwa 1 *cm* dicke durchsichtige Schichte von den inneren Teile des Strahles ab, sonst ist der Bruch körnig. Ein Längsbruch läßt auch nur die

körnige Struktur des Eises erkennen, zeigt aber nicht den stylolithartigen Aufbau der Längsbrüche der Ton-, Paraffin-, Wachs- und dergleichen Strahlen.

So wie bei Ton, so hat sich auch hier die stärkere relative Verschiebung der Eisteilchen gegeneinander, im Eise, in Form einer Struktur aufgezeichnet.

Es soll nunmehr auch der bereits eingangs erwähnte, von Tyndall herrührende Versuch gezeigt werden. Wir schließen die untere Öffnung des Ausflußzylinders durch eine 2 *cm* dicke, bis an den Rand der Flanschen des Ausflußzylinders reichende Stahlplatte und führen unter dieselbe einen aus zwei Teilen bestehenden, mit Eisstücken gefüllten Holzmodel ein, dessen Oberteil an Stiften geführt wird, welche in den Unterteil eingesetzt sind. Wenn die Presse angezogen wird, drückt der gewölbte Oberteil das Eis in den ausgehöhlten Unterteil des Modells und aus dem Eise formt sich eine Schale, welche sich nach einigen leichten Schlägen vom Model löst. Die Eisstücke sind vollkommen aneinandergefroren. Man nennt diese Eigentümlichkeit des Eises, daß getrennte Stücke aneinanderfrieren, die Regelation; dieselbe gelingt auch mit zwei beliebigen Eisstücken, welche man mit leichtem Druck aufeinanderpreßt. J. Thomson erklärte dies dadurch, daß der Schmelzpunkt des Eises erniedrigt wird, daß daher an der Berührungsstelle Eis abschmilzt und wegen der hierbei gebundenen Wärme das Wasser rundum wieder anfriert. Die Erniedrigung des Schmelzpunktes ist allerdings höchst unbedeutend, für 1 *kg/cm*<sup>2</sup> Druckerhöhung bloß 0·007° C. Man kann auch annehmen, daß

die Moleküle des Eises aus dem einen Stück in das andere eindringen und daß dadurch eine feste Verbindung hergestellt werde. Es treten indessen solche Erscheinungen nicht nur beim Eise, sondern auch bei anderen Substanzen ein, an welchen man dies gar nicht vermuten würde. Der belgische Physiker Spring<sup>1)</sup> hat gezeigt, daß Metalle wie Blei, Gold, Aluminium, bei Temperaturen von 200 bis 400<sup>o</sup>C. aufeinandergelegt, durch das Gewicht allein zusammenschweißen; ja verschiedene Metalle wie Blei und Zinn legieren sich sogar. Gold, welches auf Blei gepreßt wird, diffundiert,<sup>2)</sup> wie von Roberts Austen gezeigt wurde, in das Blei schon bei gewöhnlicher Temperatur hinein und kann allerdings nach Jahren in den anliegenden Bleischichten nachgewiesen werden.

Bei gewöhnlicher Temperatur diffundiert in 1000 Jahren so viel Gold in das feste Blei als in einem Tage in geschmolzenes Blei. Die Moleküle des Eises und der eben genannten Metalle bewegen sich zum Teile wie Flüssigkeitsmoleküle, sie entfernen sich merklich aus ihren Gleichgewichtslagen, übergehen in neue solche Lagen und können dabei in Substanzen eindringen, mit denen diese Körper in Berührung sind und die dieses Eindringen zulassen.

Die Regelation spielt in den plastischen Veränderungen des Eises eine wichtige Rolle. Wenn wir eine

---

<sup>1)</sup> Naturwissenschaftliche Rundschau IX, S. 624.

<sup>2)</sup> Über die Diffusion von Gold und Blei bei gewöhnlicher Temperatur. Naturwissenschaftliche Rundschau XVI, S. 47.

Platte Eis von bestimmter kristallographischer Orientierung — beim Flußeis ist die kristallographische Achse senkrecht zur Oberfläche — zum Ausflusse bringen, so finden wir im Strahle keine Spur kristallographischer Orientierung mehr. Der Eiskristall zerteilt sich in lauter kleine Körner, die sich aneinander verschieben, sich gegeneinander verdrehen und doch wieder aneinanderfrieren. Wenn wir eine Eisplatte aus dem Strahle oder dem Eisblocke schneiden, an jener Stelle, wo Bewegung stattfand, so erweist sich dieselbe aus Körnern von Stecknadelkopfgröße zusammengesetzt, die im polarisierten Lichte durch die verschiedene Färbung kenntlich werden. Bei dünnen Platten sieht man übrigens die Trennungslinien in Gestalt sehr feiner Sprünge mit freiem Auge.

Das Gletschereis zeigt auch diese Konstitution, nur nehmen die Körner vom Firn, das ist dem Sammelgebiete des Gletschers, bis zur Gletscherzunge im Durchschnitte an Größe zu. In der Firngegend haben die Körner die Größe einer Erbse, tiefer unten jene einer Haselnuß, dann jene einer Wallnuß und am Ende, insbesondere langer Gletscher, kommen nebst kleinen Körnern noch solche von 7—8, ja sogar von 10—12 *cm* Durchmesser vor. Jedes solches Korn ist ein Kristallindividuum, von polyedrischer Gestalt, mit gekrümmten Grenzflächen, die sich genau an die Flächen des Nachbarkornes schließen. Die verschiedenen Körner greifen oft knotig ineinander und sind dann gelenkartig verbunden, so daß Stücke des Gletschers sich durch mäßigen Druck biegen lassen. Diese Körner zeigen, voneinander losge-

löst, in warmtrockener Luft an der Oberfläche eine Streifung, die rundum läuft und im allgemeinen senkrecht auf der optischen Achse steht. Man bezeichnet dieselben als die Forelsche Streifung.

In unserem Ausflußversuche kommen in verhältnismäßig kleinem Abstände Geschwindigkeitsdifferenzen von 1.6 bis 2.5 *cm* vor. In grober Annäherung kann angenommen werden, daß zwei Eisteilchen im Abstände von 1 *mm* sich an den Stellen der raschesten Bewegung um etwa 0.5 *mm* in der Minute verschieben. In den Gletscherströmen sind die Geschwindigkeitsdifferenzen jedenfalls beträchtlich kleiner. Ein solcher Eisstrom bewegt sich, wie 1841 der Bischof Rendu von Annecy erkannte, in der Regel in der Mitte am schnellsten, an den Rändern langsamer. Steinreihen, welche in gerader Linie über den Gletscher gelegt werden, deformieren sich im Laufe der Zeit derartig, daß die Mitte am weitesten vorrückt. Es existieren viele Messungen der Geschwindigkeit der Gletscherbewegung, welche zum Teile mit sehr ausgebildeten Mitteln angestellt sind. Ich will hier eine Messung anführen, die ich im Jahre 1877 im unteren Drittel der Zunge des Rothmoosferners im Ötztale in der Zeit vom 8. bis 13. September mit ziemlich primitiven Mitteln ausführte. Ich fand ein Vorrücken der Gletschermitte der sehr regelmäßig ausgebildeten Zunge dieses Gletschers von 24 *cm* in 24 Stunden. Ich war im Jahre 1900 wieder im Ötztale am Fuße dieses Gletschers und fand die 1877 an 450 *m* breite Zunge wesentlich zurückgewichen und verschmälert. Die relativen Verschie-

bungen der Eisteile in solchen Gletschern sind jedenfalls viele hundertemale kleiner als in einem solchen Ausflußversuche.

In den großen grönländischen Gletschern kommen viel größere Geschwindigkeiten der ungleich mächtigeren und breiteren Eismassen vor. So fand Erich v. Drygalski<sup>1)</sup> während der Grönlandexpedition der Gesellschaft der Erdkunde in Berlin in den Jahren 1891 bis 1893 an dem großen Karajak-Eisstrome an der Westküste Grönlands, unter etwa 71° n. B., dort, wo der Eisstrom sich von dem das Innere bedeckenden Inlandeise loslöst, zwar nur Geschwindigkeiten von 30 bis 40 *cm* im Tage, so wie diese auch an den größeren Gletschern der Alpen beobachtet werden. Diese Geschwindigkeiten nehmen aber gegen das 8000 *m* über die Randlinie der Küste vorspringende, 6500 *m* breite Ende des Gletschers, das mit einem 100 *m* hohen Steilrande zum Meeresspiegel abfällt, bereits auf 19 *m* in 24 Stunden zu. Trotz dieser beträchtlichen Geschwindigkeit dürften auch hier die relativen Verschiebungen im Eise sehr klein im Vergleiche zu den Ausflußversuchen bleiben.

Für das Wachstum der Eiskörner scheinen diese geringfügigen relativen Verschiebungen von keiner Wesenheit zu sein. Alle diesbezüglich aufgestellten Hypothesen wie, daß kristallographisch gleichorientierte Körner besser regelieren und dann fest aneinander haften (Heim), die kleineren Körner die größeren aufsaugen

---

<sup>1)</sup> Naturwissenschaftliche Rundschau 1898, XIII, S. 265.

(Hagenbach und J. Russel), oder daß mit der allmählichen Regelation eine Art Umkristallisieren verbunden ist, welche die gleichmäßige kristallographische Orientierung fördert, oder wirklich, wie Erich v. Drygalski ausführt, der Druck und die Schmelzpunktserniedrigung im Eise eine Rolle spielen, sind durch die Beobachtung von Emden hinfällig, daß das Eis, längere Zeit bei Null Grad aufbewahrt, Kornstruktur annimmt und daß diese Körner im Laufe der Zeit durch Umkristallisieren wachsen.

In den großen grönländischen Gletschern sind nach Drygalski die optischen Achsen der Körner im unteren Teile der Gletscher zumeist senkrecht zu den Schichtenflächen, das ist den Blaubändern, und diese wieder senkrecht zur Druckrichtung gestellt, die optischen Achsen somit in der Druckrichtung gelegen. Wenn aber das Eis zufolge des Druckes abschmilzt, so hat in der Flüssigkeit der Druck keine Richtung mehr; der Flüssigkeitsdruck ist ein Zustand der Flüssigkeit, der sich auf jedes eingeführte Flächenelement normal äußert. Der Druck könnte nur im festen Eise das Umkristallisieren in bestimmtem Sinne fördern.

Da das Eis als dickflüssiger Körper durch Zug sehr leicht zum Reißen gebracht wird, bilden sich im Gletscher überall dort, wo Spannungen auftreten, so wie am Umfange der durch die Ausflußversuche gewonnenen Strahlen Spalten. Es ist dies zumeist am Rande des Gletschers der Fall. Diese Spalten werden auch Randspalten genannt. Oft bricht aber der Eisstrom über einer Stelle,

wo der Untergrund eine stärkere Neigung annimmt, der Quere nach auseinander oder zerklüftet sich vielfach wie in den Gletscherkatarakten. Unterhalb solcher Eiskaskaden vereinigen sich die Eisblöcke wieder und gehen als geschlossener Strom weiter.

Ist schon bei der Entstehung des Gletschereises aus dem Firnschnee eine Menge Luft im Eise eingeschlossen, die nur zum Teile durch Druck ausgepreßt wird, so erfüllen sich die zahlreichen Spalten des Gletschers mit Schnee und frieren dann wieder zu oder schließen sich, weiße Bänder im Eise zurücklassend. Zudem ist das Gletschereis körnig, die Masse desselben durchaus nicht homogen und daher die Möglichkeit zur Bildung von Strukturen vorhanden. In der Tat wird das Gletschereis stellenweise von der sogenannten Blaubandstruktur durchsetzt, die an der Oberfläche des aperen Gletschers höckerig zum Vorschein kommt, aber besonders schön in den Gletscherspalten gesehen werden kann. Diese blattartige Struktur des Eises zeigt, in der Ebene der Blätter angesehen, eine ausgezeichnet schöne blaue Farbe.

Nach A. Heim<sup>1)</sup> bildet eine vollkommen entwickelte Bänderung eines Gletschers als ganzes aufgefaßt Büschel von ineinanderliegenden Schalen, deren talauswärtsliegender Teil mit dem Vorderteile eines Löffels oder eines Kahnens verglichen werden kann. Im Querprofile erscheinen sie als nach oben geöffneter Fächer. Es sind über diese Bänderung verschiedene Hypothesen

---

<sup>1)</sup> Gletscherkunde, S. 136.

aufgestellt worden. Tyndall hat dieselbe als eine Druckerscheinung aufgefaßt, er ist der Ansicht, daß diese Schieferstruktur des Eises durch Druck entstehe. Forbes hat diese Blaubandstruktur der relativen Verschiebung der Eisteilchen aneinander zugeschrieben, wofür der Umstand sehr zu sprechen scheint, daß unterhalb von Gletscherkatarakten oder an Stellen, wo der Gletscher sich durch eine Talenge zwingen muß, wo also gewiß Umformungen im Eise auftreten, diese Bänderung besonders ausgebildet ist. v. Drygalski schließt sich im allgemeinen der Ansicht von Tyndall an. Der Umstand, daß in unseren Ausflußversuchen von Eis am Umfange der zylindrischen Strahlen eine konzentrische Schichtung angedeutet ist, die mit den relativen Verschiebungen der Eisteile aneinander unzweifelhaft zusammenhängt, spricht sehr dafür, daß die Blaubänderung des Gletschereises mit den Verschiebungen in der Eismasse des Gletschers zusammenhängt.

Wir betrachten nunmehr jenen Fall des Fließens plastischer Massen, welcher eintritt, wenn in dieselben ein irgendwie gestalteter Körper eingetrieben wird. Einige Längsschnitte durch geschichtete Tonblöcke, in welche die Körper senkrecht zu den Schichten eingetrieben wurden, sind hier ausgestellt. Ein Zylinder schiebt mit seiner vorderen Grundfläche eine große Menge Material vor sich her, welches nur allmählich — in der unmittelbar anliegenden Schichte vielleicht gar nicht — abfließt. An diesen Materialresten gleiten die anderen Schichten, sich fortwährend verdünnend, ab. Bei einem

Kegel oder bei einem Paraboloid findet das Abfließen vollständiger statt. Das Eintreiben von Keilen parallel zu den Schichten des Blockes zeigt, wie die Tonreste, welche an der Keilfläche von den ursprünglich getroffenen Schichten mitgenommen wurden, durch die Deformation der ankommenden Schichten abgetrennt werden, so wie dies bei den aus konzentrischen Schichten gebildeten Blocke aufgezeigt wurde. Die rascheste Bewegung erfolgt wie bei der Grundfläche des Zylinders in einiger Entfernung von derselben. Die Trennungslinien der Schichten zeigen hier die Strömungslinien des Tones gegen den Keil. Eine tropfbare Flüssigkeit oder die Luft fließen an eindringenden Körpern auch ab, nur schließen sich dieselben hinter dem Körper wieder derartig zusammen, daß kein flüssigkeitsfreier Raum entsteht.

Wird die Geschwindigkeit gesteigert, so verändert sich die Erscheinung. Bei Geschwindigkeiten, größer als die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft, das sind  $333 \text{ m/sec}$ , wie dieselbe bei den Geschossen der modernen Kriegswaffen vorkommen, bildet sich, wie unser ausgezeichnetes Mitglied Herr Hofrat Mach auf photographischem Wege nachwies, in Luft die sogenannte Kopfwelle, eine akustische Erscheinung, aus. Hofrat Mach hat in diesem Vereine über seine Versuche am 10. November 1897 berichtet.<sup>1)</sup> Diese Kopfwelle hat die Eigenschaft, daß sie Trägerin des Knalles ist. Ein Geschoß, welches langsamer als der Schall bewegt ist, saust zuerst, ehe es

---

1) Über Erscheinungen an fliegenden Projektilen.

ankommt, ein Geschöß mit einer Geschwindigkeit größer als jene des Schalles, kommt mit dem Knalle zugleich beim Beobachtungsort an, und der Knall des Geschützes langt erst danach ein.

Was geschieht aber in einem festen Mittel wie der Ton? Das Ergebnis von Schüssen gegen geschichtete Tonplatten, aus einer Entfernung von 25 Schritten, ist hier ausgestellt. Das 8 *mm*-Mannlichergeschöß mit einer Geschwindigkeit von 610 *m* in der Sekunde hat eine Öffnung von 7 *cm* Durchmesser in der von einem Rahmen umgebenen Tonplatte erzeugt, welche nach beiden Seiten aufgeworfene, trichterartig erweiterte Ränder zeigt. Diese Ränder sind gegen die Mitte der Platte fast symmetrisch und lassen kaum erkennen, wo das Geschöß ein-, wo es ausgetreten ist. Die Öffnung hat das Aussehen, als wäre sie durch eine Explosion in der Mitte der Platte erzeugt. An einem solchen aus drei Tonplatten geschichteten Blocke sind beide äußere Schichten von der inneren getrennt und nach auswärts gebogen und die Schußöffnung erweitert sich bis auf 10 *cm*. Die mittlere Schichte zeigt eine fast kreisrunde Öffnung, von 7 *cm* Durchmesser, mit verdickten Rändern.

Eine ähnliche explosionsartige Erscheinung tritt ein, wenn der plastische Ton in zylindrische Büchsen gefüllt wird, die allseitig verlötet sind. Die Einschußöffnung durch das Blech ist kaum weiter als 8 *mm*, der Ton in der Büchse zeigt aber eine fast kugelförmige Höhlung, die sich gegen die Austrittsseite des Geschosses öffnet, woselbst auch die Blechbüchse zackig einreißt.

Die ganze Büchse ist aufgetrieben, und zwar umsomehr, je kleiner sie ist. Es sind hier drei Büchsen von 6 cm Höhe und 25, 16 und 12 cm Durchmesser zusammengestellt, die durchschossen wurden. Die kleinste derselben ist durch den Schuß vollständig zerrissen.

Mit Flüssigkeiten oder mit Kleister gefüllte Blechbüchsen werden durch solche Schüsse auch zersprengt und, wenn eine recht breite Lotstelle gewählt und durchschossen wird, so verschieben sich die beiden Blechteile, Fig. 6, wie von Bircher gezeigt wurde,<sup>1)</sup> gegeneinander derartig, daß die Schußöffnungen derselben sich nicht mehr decken. Das Zerreißen der Blechbüchsen tritt hiernach erst ein, nachdem das Geschosß aus denselben ausgetreten ist.



Fig. 6.

Der belgische Professor Melsens, welcher diese Explosionserscheinungen beobachtete, versuchte, dieselben durch die vom Geschosse mitgeführte Luft zu erklären. Er zeigte mir, als ich ihn im Jahre 1878 in Brüssel besuchte, eine Versuchseinrichtung, welche diese Anschauung zu bestätigen schien. Es scheint aber doch, daß hierbei ein Irrtum unterlaufen ist, da durch die schon erwähnten Versuche von Mach unzweifelhaft festgestellt ist, daß die Verdichtung der Luft vor dem

<sup>1)</sup> Neue Untersuchungen über die Wirkung der Handfeuerwaffen, von Oberst Bircher, Korpsarzt. Mit 40 Tafeln. 1896.

Geschosse nur geringfügig ist, ja es zeigte sich sogar, daß diese Kopfwelle beim Durchdringen eines Kartenblattes vollständig reflektiert wird und sich hinter demselben wieder neu bildet. Das Geschöß streift daher bei einem solchen Vorgange die mitgeführte Luft vollständig ab. Ganz etwas ähnliches haben die Versuche von Boys und von Quintilio-Majorana und Calatabiano ergeben, wobei das Durchschießen von Glasscheiben in verschiedenen Stadien photographiert wurde.

Man hat, insbesondere von ärztlicher Seite,<sup>1)</sup> diese Explosionserscheinungen dem sogenannten hydraulischen Drucke und der sogenannten Höhlenpressung zugeschrieben, welche aus der Verdrängung der Flüssigkeiten oder der gallertartigen Massen durch das eindringende Geschöß entstehen. Die Versuche mit dem plastischen Ton zeigen aber, daß es sich hier um mehr



Fig. 7.

als eine bloße Verdrängungserscheinung handelt. Die Höhlungen in den mit Ton gefüllten, allseitig geschlossenen Tonbüchsen lassen sich mit Hilfe der Höhlenpressungen nicht vollständig erklären. Noch weniger kann aber der folgende Versuch, Fig. 7, als Verdrängungserscheinung aufgefaßt werden. Es ist dabei gegen ein quadratisches Tonprisma von etwa 10 *cm* im Quer-

<sup>1)</sup> Busch, Archiv für klinische Chirurgie, 1874, XVI, S. 155; 1875, XVIII, S. 201.

schnitte und 12 *cm* Höhe geschossen und eine Seitenfläche etwas unterhalb der oberen Grundfläche getroffen worden. Der Oberteil des Prismas ist ganz auseinandergetrieben, so als ob auf demselben eine Explosion stattgefunden hätte.

Man muß zur Erklärung dieser Erscheinungen annehmen,<sup>1)</sup> daß durch den Stoß des Geschosses gegen die Tonmassen dieselben derart heftig weggeschleudert werden, daß in den durchschossenen Tonmassen die beschriebenen Höhlungen, an einem von einem Streifschusse getroffenen Prisma die aufgezeigten Stauchungserscheinungen auftreten.

Wie die photographische Fixierung der Vorgänge beim Durchschießen von zylindrischen, mit Wasser gefüllten, an den Grundflächen mit Membranen geschlossenen Zylindern nach der Richtung der geometrischen Achsen, die von den Professoren Cranz und Koch<sup>2)</sup> in Stuttgart angestellt wurden, erkennen lassen, tritt durch die Einschußmembran bereits Wasser aus, solange sich das Geschöß noch innerhalb der Blechbüchse befindet; dagegen reißt die Ausschußmembran in Stücke erst dann, wenn das Geschöß dieselbe schon durchdrungen und die Blechbüchse verlassen hat. Die durch den Stoß in Bewegung gesetzten Wassermassen brauchen zur Vollfüh-

---

<sup>1)</sup> A. v. Obermayer, Schießversuche gegen plastischen Ton. Sitzungsber. der Wiener Akademie, Bd. CVI, Abt. II a, 1897, S. 381.

<sup>2)</sup> Über die explosionsartige Wirkung der modernen Infanteriegeschosse. Annalen der Physik, 4. Folge, Bd. 3, 1900.

rung der ihnen aufgenötigten Bewegung viel mehr Zeit als das Geschöß zum Durchlaufen des Materiales, sie treten aber zuerst aus der Einschußöffnung entgegen der Geschößbewegung aus.

Zum Durchschießen eines 6 *cm* dicken Tonblockes durch ein 8 *mm*-Mannlichergeschöß ist kaum ein Zehntausendstel einer Sekunde erforderlich. In dieser kurzen Zeit kommt fast die ganze vom Geschosse betroffene, verdrängte und in Bewegung gesetzte Tonmasse beinahe gleichzeitig in Bewegung. Es verschiebt sich jedes mittlere Teilchen senkrecht zur Richtung der Geschößbewegung, da es durch die Nachbartteile an jeder anderen Bewegung verhindert wird. An der Einschußfläche beginnen die Teilchen nach rückwärts auszuweichen, wie nach den Versuchen von Cranz und Koch zu schließen, d. i. nach der Richtung des geringsten Widerstandes, ebenso an der Ausschußfläche.

So dienen uns die Versuche mit plastischem Tone auch hier zum Studium von Erscheinungen, die sich sonst mit einfachen Versuchsanordnungen kaum erforschen lassen, sie halten durch das Fließen des Tones die Veränderungen fest, welche mit so außerordentlich großen Geschwindigkeiten wie die Geschosse der modernen Feuerwaffen begabte Körper durch den Stoß zu erzeugen vermögen, wenn sie selbst nur durch eine fast verschwindende Zeit wirken können, und geben uns dadurch ein anschauliches Bild dieser Vorgänge.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://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: 1904

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Obermayer Albert von

Artikel/Article: [Das Fließen fester Körper unter hohem Drucke insbesondere des Eises. 307-338](#)