

**www.e-rara.ch**

## **Johann Samuel Traugott Gehler's Physikalisches Wörterbuch**

**Gehler, Johann Samuel Traugott**

**Leipzig, 1825-1845**

**ETH-Bibliothek Zürich**

Shelf Mark: Rar 8737

Persistent Link: <https://doi.org/10.3931/e-rara-8925>

[Haarröhrchen. - Harmonica.]

---

### **www.e-rara.ch**

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien – von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material – from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes – des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

---

**Nutzungsbedingungen** Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelinformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [Link]

**Terms of Use** This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [Link]

**Conditions d'utilisation** Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [Link]

**Condizioni di utilizzo** Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [Link]

## H.

Haarröhrchen s. Capillarität.

## H ä n g e b r ü c k e n .

**Ports suspendüs; Bridges of suspension.** Brücken, deren Fahrweg nicht von einer festen Unterlage getragen wird, sondern an einer biegsamen Verbindung beider Ufer aufgehängt ist. Diese Verbindung besteht entweder aus Seilen von Eisendraht, oder aus eisernen Ketten, daher diese Werke auch *Drahtbrücken*, oder *Kettenbrücken* genannt werden. Früher wurden unter *Hängebrücken* vorzüglich diejenigen hölzernen Brücken verstanden, deren Fahrweg von einem im Seiten-Geländer und Dach angebrachten hölzernen Sprengwerk getragen wurde, wie z. B. die ehemalige Schaffhauser Brücke und einige Andere.

Die Erfindung der Hängebrücken gehört den Gebirgsländern Asiens und America's an. Starke Seile aus Stroh, Weidenruthen, oder Lianen verfertigt verbinden die felsigen Ufer eines Waldstroms, und der Weg geht über ein Quergeflecht von dünneren Stricken, das jene zusammenhält<sup>1</sup>. Reiser oder Bretter bedecken das Letztere, und ein parallel zur Seite gezogenes Seil macht das Geländer dieses schwankenden, dem Tritt der Wanderer nachgebenden, Baues aus. ALEXANDER VON HUMBOLDT, der im Januar 1802 auf der Brücke *Penipe* über den Flus *Chambo* setzte, giebt derselben eine Länge von 120 Fufs bei 7 Fufs Breite. Die Seile von den faserichten Theilen der Wurzel der

<sup>1</sup> Eine Abbildung einer solchen Brücke in ihrer einfachsten Gestalt sehe man in Rugendas Vues du Brésil. 1827. Beschreibungen von Augenzeugen finden sich in Legentil la Barbinais nouveau vcy. autour du monde T. I. p. 88.

*Agave Americana* verfertigt, waren  $\frac{1}{4}$  Fufs dick<sup>1</sup>. Von derselben Art muß auch die Brücke gewesen seyn, welche der vierte Yncas, MAYTA CAPAK, ein weiser Regent und großer Feldherr zur Erweiterung seiner Eroberungen über den Fluß Apurimak spannte. Sie bestand aus fünf mannsdicken Tauen von Bindweiden, von denen drei den Boden der Brücke ausmachten, während die beiden Andern als Seitenlehnen dienten. Sie waren an einem System von Querbalken befestigt, welche gegen zwei aus dem Felsen gehauene oder auch gemauerte große Pfeiler gelegt wurden. Seile von der Dicke eines Armes machten den Querverband aus, und nahmen die Bretter des Fußbodens auf, die dann noch mit Schilf oder Reisig bestreut wurden. Diese Brücke war zweihundert Schritte lang und zwei Varas (7 Fufs) breit<sup>2</sup>.

Auch in der alten Welt wird die Erfindung der Hängebrücken einem Krieger zugeschrieben, und wohl dürfte hierin den Asiaten die Priorität zukommen. In der chinesischen Provinz Setschuen befinden sich drei Brücken, die von dicken Seilen getragen werden. Berühmter jedoch ist die eiserne Kettenbrücke über den Panho in der Provinz Quei-tschu. Auf den beiden Ufern des zwar nicht breiten, aber sehr tiefen Flusses wurden zwei massive steinerne Pfeiler von 6 bis 7 Fufs Breite und 17 bis 18 Fufs Höhe erbaut, welche (übereinstimmend mit der soliden Construction der heutigen Engländer), zusammen ein Thor bilden. An jedem Pfeiler hängen vier Ketten an ungeheuer großen Ringen, und diese sind durch kleinere Ketten dergestalt mit einander verbunden, daß das Ganze einem Netz mit großen Maschen ähnlich sieht. Die Brücke ist mit starken Bohlen belegt, die wohl mit einander zusammenhängen, und von den Pforten aus führt eine feste, auf vorspringenden Balken liegende Brücke zum Niveau der Ketten hin: zu beiden Seiten ist ein einfaches hölzernes Geländer angebracht<sup>3</sup>. Aehnliche Brücken befinden sich in dem benachbarten Thibet. Unweit der Stadt

1 Humboldt *Vues des Cordillères et Monumens des peuples indigènes de l'Amérique*.

2 *Allgem. Historie d. Reisen*. T. XV. S. 392. u. 588. Die Errichtung dieser Brücke dürfte auf das Ende des zwölften Jahrhunderts fallen.

3 *Allgem. Hist. d. Reisen*. T. VI. S. 199. (nach Du Halde).

*Lassa* (30° 33' N. Br. und 91° 40' L. v. Greenw.) führt eine Brücke von fünf Ketten über den Fluß *Tsanga*. Jede Kette soll aus 500 Ringen von 1 Fuß Durchmesser bestehen<sup>1</sup>; woraus *RENDEL* eine Distanz der Ufer von etwa 480 Fuß ableitet, dreimal grösser als *TURNER* sie angiebt<sup>2</sup>. Das Geländer ist von Bambusrohr. *TURNER* beschreibt noch eine andere Kettenbrücke für Fußgänger, deren Construction mit der besten Methode der heutigen Architekten übereintrifft. Zwei parallele Ketten von 4 Fuß Distanz sind über 8 Fuß hohe Pfeiler gelegt, und gehen dann unter einer geringen Neigung nach der Erde hin, wo sie an einen großen Steinblock befestigt sind, welcher unter einer Last von Steinen begraben liegt. An diesen ist vermittelst Bändern aus Wurzeln und Schlingpflanzen eine Bohle von 8 Zoll Breite als Brückenweg aufgehängt, von solcher Länge, dass die Mitte 4 Fuß unter die Ketten zu liegen kommt. Die Länge der Brücke beträgt 55 Fuß.

Noch klarer und vollständiger erscheint diese Construction *Fig.* in einer Brücke, die nach dem Berichte des Capt. *BASIL HALL*<sup>1</sup> unweit St. Yago in Chili über den Fluß *Maypo* geführt ist<sup>3</sup>. Sechs starke gedrehte Riemen von rohem Büffelleder, je drei auf jeder Seite in einer Ebene übereinander hängend, tragen an verticalen ledernen Bändern von der Dicke des kleinen Fingers den vier Fuß breiten aus kreuzweis gelegten Brettern bestehenden Fahrweg. Die letzteren sind, merkwürdig genug, an jenen so befestigt, daß jeder erste verticale Riemen an dem obersten Trageleine, der folgende an dem mittlern, und der dritte am untersten angehängt ist. Am einen Ufer geht die Brücke in einen Felsen von 20 bis 30 Fuß Höhe über dem Wasser; dort sind die Riemen in den Felsen selbst festgemacht. Auf dem andern flachen Ufer jedoch ist ein hohes Gerüst von starken Balken aufgerichtet, über welches die sechs Riemen hinübergezogen und in sehr wenig geneigter Richtung um eingegrabene Stämme gewunden sind. Der Fahrweg selbst ist möglichst geradlinig; die Hauptseile aber bilden einen flachen Bogen. Den Aussagen der Einwohner zufolge haben die Spanier bereits bei ihrem Eintritt

1 *GEORGI*, Alphabetum Thibetanum.

2 *RENDEL*, description de l'Indostan. T. III. p. 92. et *TURNER* Relation de l'Ambassade au Thibet. S. 75. u. 79. d. deutsch. Uebers.

3 *Edinburgh philos. Journ.* No. 27. p. 52.

in dieses Land vor 300 Jahren diese Brücken, so wie sie jetzt sind, vorgefunden.

Vermuthlich war es die Kenntniß dieser Brücken, die einen wenig bekannten Schriftsteller, FAUSTUS VERENTIUS in den Stand setzten, im J. 1625 in einem in mehreren Sprachen herausgegebenen Werke die Hängebrücken mit aller Vollständigkeit und nach ihrer besten Construction zu beschreiben <sup>1</sup>. Die Seltenheit dieses Werks und die schlechte Einrichtung der orientalischen Kettenbrücken mochten Ursache seyn, daß die Aufmerksamkeit der europäischen Architekten nie auf diesen Gegenstand hingelenkt wurde, und daß selbst der erste Versuch dieser Art in England, die Kettenbrücke von Winch über den Fluß Tees, welcher die Grafschaften Durham und York scheidet, in Dunkelheit blieb <sup>2</sup>. Diese Brücke ist nach Art der Chinesischen gebaut; zwei Ketten von 70 Fufs sind 60 Fufs hoch über einen Abgrund gespannt; die Brücke von 2 Fufs Breite liegt auf den Ketten selbst, und ist nur auf der einen Seite mit einer Lehne versehen; sie ist auch allen den Biegungen und Schwankungen unterworfen, die dieser Construction eigenthümlich sind. Man setzt die Zeit ihrer Erbauung ins J. 1747. Erst mit dem gegenwärtigen Jahrhundert beginnt die eigentliche Epoche der Hängebrücken, und zwar zuerst in America, seitdem der Landeigenthümer FINLAY die richtigen Grundsätze dieses Baues hervorrief, zufolge welcher der Fahrweg der Brücken von verticalen Stangen getragen wird, die an den Ketten aufgehängt sind. Bereits im J. 1808 war die Regierung der vereinigten Staaten im Fall, für diese Brücken ein Patent zu bewilligen, und im Jahr darauf wurde über den Fluß Merrimak in der Provinz Massachusets eine fahrhabe Kettenbrücke von 244 Fufs engl. einfacher Bogenweite u. 30 Fufs Breite errichtet. Zehn Ketten, jede etwa 516 Fufs lang, waren über gemauerte Traggpfeiler von 37 Fufs Höhe und ein auf diesen errichtetes Zimmerwerk von 35 Fufs Höhe geschlagen, und weiterhin tief unter schweren Steinmassen in die Erde befestigt. Die Brücke soll 20000 Piaster gekostet haben, und auf eine Last von 10,000 Centner berechnet seyn. Nicht minder gigan-

1 NAVIER, Memoire et Rapport sur les ponts suspendus. Paris, 1824. Introd. u. SEGUIN aîné Des ponts en fil de fer. 1826. 4. p. 27.

2 STEVENSON Bridges of suspension. Edinb. philos. Journ. No. X. u. Bibl. univers. T. XXI.

tisch ist eine Brücke von 350 Fufs aus zwei Bogen, welche über den Wasserfällen von Skuykill schwebt, und eine andere aus vier Bogen von 450 Fufs.

Schon im J. 1807 hatte ein französischer Ingenieur BELÜ das Project eingegeben, über einem Arm des Rheins zwischen Wesel und Ruderich eine Brücke mit einen hängenden Bogen von 770 franz. Fufs Oeffnung zu schlagen. Der Fahrweg hätte über die Ketten hingehen sollen, mithin wäre, da man denselben keine merkliche Senkung hätte geben dürfen, die Spannung außerordentlich groß geworden; eine Betrachtung, die nicht geeignet war, diesem Vorschlage Eingang zu verschaffen.

Dem Beispiele der kühnen Amerikaner folgend faßte der englische Ingenieur TELFORD im J. 1813 den Plan, über die Ausmündung des Mersey 20 engl. Meilen unterhalb Liverpool eine Kettenbrücke zu führen. Sie sollte aus einem Hauptbogen von 940 fr. Fufs nebst zwei Halbbogen von 450 Fufs bestehen, mithin etwa 1900 Fufs ganze Länge erhalten, und 62 Fufs hoch über dem Wasser schweben, um den Schiffen freien Durchgang zu gestatten. Das Ungeheure dieser Unternehmung machte die Actionnaires erschrecken; doch gab sie immerhin Gelegenheit zu nützlichen Untersuchungen über die Stärke des Holzes und Eisens, die BARLOW in einem besondern Werke mitgetheilt hat.

Bis zum J. 1818 wurden in England nur drei kleinere Brücken für Fußgänger erbaut; die zu Galashiel von 111 Fufs Länge, die von Kings Meadows über den Tweed von 110 Fufs, und die von Thirstane über den Etterik von 125 Fufs Länge. Alle drei sind von Eisendraht construirt nach einem System, dessen Verwerflichkeit sich besonders bei der Kettenbrücke von Dryburgh zu erkennen gab, die im Januar 1815 vom Sturm zerissen wurde. Der Fahrweg ist hier nämlich nicht an einem Kettenbogen aufgehängt, sondern wird durch Schrägbänder  $\tau, \tau, \tau$ ; die als Radien vom Tragpfeiler (p) ausgehen, gehalten; <sup>Fig. 2.</sup> eine Anordnung, die hauptsächlich nach der Mitte der Brücke hin, der verticalen Haltung des Fahrwegs äußerst ungünstig ist. Die Vereinzelnung der Tragekräfte in diesen Radien veranlaßte eine ganz ungleiche Spannung in denselben, so daß die einen Alles zu tragen hatten, während dem die andern locker waren. Die senkrechten Schwingungen dieser Brücke waren daher so stark, daß einst vier Personen, die sich den Spafs machten, die Schaukelung zu ihrem Maximum zu bringen, eine der längsten

Ketten sprengten, und dafs in jenem Sturme nach dem Urtheil der Augenzeugen Niemand die Brücke hätte betreten dürfen, ohne von diesen Schwingungen über das Geländer hinausgeworfen zu werden.

Nach dieser Zeit trat TELFORD mit dem Projecte auf, durch eine Hängebrücke die Ufer des Canals zu vereinigen, welcher England von der Insel Anglesea trennt, und die Menaistrafse genannt wird. Von beiden Küsten treten gemauerte Brücken, auf Arcaden ruhend, heraus, zwischen welchen der Hauptbogen von 540 F. Weite die Hängebrücke bildet. TELFORD wollte sie ansechszehn Eisentaunen aufhängen, deren Construction jedoch von den eigentlichen Drahtseilen merklich abwich. Sechs und dreifsig viereckigte lange Eisenstangen von einem halben Zoll Durchmesser sollten so an einander gelegt werden, dafs sie ein viereckiges Prisma bildeten, dessen Durchschnitt ein Quadrat von drei Zollen Seite war. Vier Segmente von der Form eines senkrechten Cylinderabschnitts mit den planen Seiten auf das Prisma gelegt, sollten sodann das Quadrat seines Querschnittes zu einer Kreisfläche ergänzen, so dafs das Ganze ein rundes Tau vorgestellt hätte, dessen Theile durch einen spiralförmig umgewundenen Draht zusammengehalten worden wären. Allein er gab dieses System nachher wieder auf, und bei der Ausführung wurden Ketten aus 10 Fufs langen Stäben verfertigt, angewandt; jetzt (i. J. 1828) bildet diese Brücke nebst der nächst zu erwähnenden Unionbrücke eines der schönsten Denkmale moderner Bankunst.

Die erste grofse, nach den besten Grundsätzen ausgeführte Kettenbrücke (die Unionbrücke über den Tweed) wurde im Aug. 1819 von dem Erfinder der Ankerketten, dem Capitain SAMUEL BROWN angefangen, und in eilf Monaten zu Stande gebracht. Ihre Spannweite beträgt 420 Fufs und die Brücke selbst ist 380 Fufs lang und 18 Fufs breit: in der Mitte ist sie um 2 Fufs gehoben, so dafs sie, selbst wenn die Ketten etwas nachgeben sollten, nie concav werden kann. Sie hängt an zwölf Ketten, von denen je zwey in horizontaler Ebene neben einander liegen, und bei ihren Gelenken die verticalen Tragstangen zwischen sich aufnehmen. Auf jeder Seite der Brücke hängen drei solcher Kettenpaare über einander dergestalt, dafs ihre Gelenke nicht in der nämlichen Verticalen sich befinden, sondern je um  $\frac{1}{4}$  eines Kettenstabes der Länge nach versetzt sind.

Auf diese Weise bilden die Aufhängestangen eine Reihe von gleichen Zwischenräumen, die nahe genug sind, um die zwei äußern Längerbalken des Fahrweges gehörig zu stützen. Die Kettenstäbe sind Cylinder von 15 Fufs Länge und 2 Zoll Durchmesser. An ihren Enden sind sie aufgetrieben und durchbohrt; ein ovaler stählerner Bolzen befestigt sie zwischen zwey platte Eisenstücke, welche das Gelenk der Kette ausmachen. Ihre Länge beträgt 432 Fufs von einem Aufhängepunct zum andern, und sie bilden daselbst mit der Horizontallinie einen Winkel von 12 Graden. Der Pfeil der Senkung des mittlern Kettenpaares ist etwa 26 Fufs, das Gewicht dieser Ketten beträgt gegen 2000 Centner. An dem flachern schottischen Ufer des Flusses gehen sie über einen gemauerten Pfeiler von 60 Fufs Höhe, 57 Fufs Breite, und 19 Fufs Dicke nach der Richtung der Brücke. Bis auf 20 F. Höhe ist er gerade, nachher verjüngt, so daß er eine abgestumpfte Pyramide darstellt, deren obere Fläche noch 28 und 15 F. in Kanten hält: in der Höhe des Fahrwegs ist er noch 32 F. breit. Ein gewölbtes Thor von 12 Fufs Breite und 17 Fufs Höhe führt durch denselben auf die Brücke. Jede dieser Doppelketten geht über eine große Rolle, und ist daselbst in kürzere Gelenke nach Art der Ketten in Taschenuhren gebrochen; sie liegen in verticalen Intervallen von 2 Fufs über einander. Von da gehen die Spannketten schräg nach der Erde hin, so daß sie den Boden unter einem Winkel von etwa 35 Graden berühren, und setzen diese Richtung bis auf 24 Fufs Tiefe unter denselben fort. Daselbst sind sie durch ungeheure Tafeln von Gufeisen von 6 und 5 Fufs in Kanten, die in der Mitte, 5 Zoll am Rande  $2\frac{1}{2}$  Zoll Dicke haben, geführt, und mit großen ovalen Bolzen verzapft; der darüber befindliche Raum ist mit Steinen und Erde fest ausgefüllt. Am englischen Ufer ist das Mauerwerk an einem Sandsteinfelsen angelegt, und bedurfte seiner Lage wegen nur 24 Fufs Höhe; seine Dimensionen sind mit den vorigen einerlei; hier gehen die Ketten nur über eine Art Sattel von Gufeisen, und treten dann in beinahe senkrechter Richtung an das Fundament des Mauerwerks hinunter; sie werden dort von eben so großen Tafeln festgehalten, die in dem Felsen eingesprengt und noch durch ein horizontal darüber gehendes Gewölbe gesperrt sind. Der Fahrweg liegt auf hölzernen Längerbalken, die 15 Zoll hoch und 7 Zoll dick sind; die querliegenden Bohlen haben 3 Zoll Dicke und sind für die Fuhrwerke mit eisernen

Geleisen versehen. Die Tragstangen von 1 Zoll Dicke stehen 5 Fufs aus einander, an jeder Kette um 15 Fufs. Das Gelände ist 5 Fufs hoch, und besteht aus einem eisernen Netze, dessen Rauten 6 Zoll Seite haben. Das ganze Werk mit Gemäuer und Eisen wurde von dem Erbauer für die geringe Summe von 5000 Pf. Sterling geliefert; allein die Unternehmer fanden nachher für gut, seine Uneigennützigkeit durch ein Geschenk von 1000 Pfund zu belohnen.

Die Seichtheit der Küste am Hafen von Leith veranlafste den nämlichen Architekten, den Bau eines langen Einladungsdammes (Einschiffungsdammes, embarcadère) nach dem Princip der Kettenbrücken vorzuschlagen. Er wurde im J. 1821 ausgeführt. Die ganze Länge dieser Brücke beträgt 700 Fufs, welche auf drei Bogen von 230 Fufs vertheilt sind: ihre Breite hält 4 Fufs. Der erste Unterstützungspfeiler befindet sich am Lande, und ist gemauert, der äußerste, welcher den Kopf der Brücke ausmacht, besteht aus 40 eingerammten, Pfählen, die einen Raum von 60 Fufs Länge und 50 F. Breite einschliessen, und durch horizontale Querbalken zu einem festen Bau, der sowohl dem Wellenschlage als auch dem Zuge der Ketten zu widerstehen vermag, verbunden sind. Die zwei zwischenliegenden Unterstützungspunkte sind ebenfalls nur Pfahlwerk, mit durchbrochenen Pfeilern aus Gufseisen, über welche die Ketten gehen.

Die Vortheile, die diese so einfache Ladungsbrücke gewährte, die Zertheilung, vermöge welcher ein so durchbrochenes Pfahlwerk die Wuth der Wellen entkräftete, veranlafste bald eine ähnliche noch gröfsere Unternehmung bei Brighton. Die dortige Brücke besteht aus drei Hängebogen, jeder von 230 Fufs Länge; ihre Breite beträgt 11 Fufs.

Im J. 1823 verfertigte der unternehmende Baukünstler BRUNEL zwei Kettenbrücken, die nach der Insel Bourbon bestimmt waren. Die dort wüthenden Orkane machten eine vorzügliche Stärke aller Theile nothwendig. BRUNEL versah daher den Fahrweg noch mit einem umgekehrten Kettenbogen unter der Brücke. Das Ganze besteht aus zwei Bogen von 130 Fufs Länge. In der Mitte gehen die Ketten über einen durchbrochenen Pfeiler von Gufseisen von 24 Fufs Höhe, der auf einer über das Wasser herausragenden gemauerten Unterlage ruht.

In Frankreich waren die Gebrüder SÉGUIN zu Annonay, die

ersten, welche den Versuch einer kleinen Hängebrücke für Fußgänger wagten, die nur 50 Franken kostete. Ihnen folgte bald der Oberst DÜFOUR in Genf, der eine Brücke über zwei Graben der dortigen Festungswerke leitete. Wenn allerdings die erste Idee, statt der Ketten die wohlfeileren Drahtseile anzuwenden, den Gebrüdern SÉGUIN angehört, so hat dagegen DÜFOUR das Verdienst, dieses System in einem hinreichend großen Maßstabe ausgeführt, und seine Vorzüge durch eine Menge trefflicher Versuche begründet zu haben. Das von ihm über diesen Bau herausgegebene Werk enthält überdem die ersten theoretischen Untersuchungen über diesen Gegenstand, und eine Menge sehr schätzbarer praktischer Angaben und Winke, wobei selbst etwanige Mißgriffe mit einer Offenheit und Bescheidenheit dargelegt sind, die das wahre Kennzeichen persönlicher Vorzüglichkeit ausmacht. Der Raum, über den man zu schreiten hatte, betrug 269 engl. Fuß; in der Mitte des Grabens befand sich ein Zwischenwall von 84 Fuß Breite, der äußere Graben war 110 Fuß, der innere 75 Fuß weit. Dieses nöthigte ihn, der Brücke zwei Bogen zu geben, deren Zwischenpfeiler man genau in die Mitte setzte. Die Tragpfeiler waren 12 Fuß hoch und 11 Fuß breit, und von einem Thorwege von 10 Fuß Höhe u. 6 Fuß Breite durchbrochen. Der Fahrweg hängt an sechs Drahttauen, deren jedes aus 90 Drähten No. 14. von 2,1 Millim. (oder 0,93 Par. Lin.) Durchmesser besteht, und die zu dreien auf jeder Seite senkrecht über einander hängen. Das unterste derselben berührt den Fahrweg, und das oberste das Gelände desselben. Auf der Stadtseite sind sie hinter dem Tragpfeiler mit verticalen, am äußern Ende angelegten Spannkettten verbunden, welche solid im Boden befestigt sind. Die Hängestangen, welche die Brücke tragen, bestehen aus 12 Drähten, die wie die Drahttaue mit ausgeglühtem Eisendrathe umwunden sind. Um die horizontalen und verticalen Schwankungen der Brücken zu verhindern, sind an den Endpunkten einer jeden zwei seitwärts und niederwärts gehende Schrägbänder, aus 32 Drähten bestehend, angebracht, und in der Stützmauer des Grabens befestigt. Die Brücken selbst, von 6 Fuß Breite bestehen aus Holz, und sind mit eisernem Geländer versehen. Eine umständliche Beschreibung des bei Verfertigung der Drahtseile und der Errichtung der Brücke selbst angewandten Verfahrens machen DÜFOUR's Schrift zu einem unentbehrlichen Hilfs-

buche für jeden, der den Bau einer geößern oder kleineren Drahtbrücke versuchen möchte.

Eine Drahtbrücke für Fuhrwerke wurde im Jahr 1825 von den Gebrüdern SÉGUIN zwischen Tain und Tournon über die Rhone errichtet. Eine königl. Verordnung hatte im Jan. 1824 die Erbauung derselben und den Unternehmern ein angemessenes Brückengeld für 99 Jahr bewilligt. Sie besteht aus zwei gleichen Hängebogen, jeder von 262 franz. F. Länge, deren 12 Drahtseile über einen Zwischenpfeiler, 31 F. hoch über dem Fahrwege aufgehängt sind. Letzterer hat zwischen den Geländern 13 F. Breite, ist aber auf 50 F. um den Mittelpfeiler bis auf 19 F. erweitert, um sowohl das Vorbeifahren der Fuhrwerke zu erleichtern, als auch der Brücke in horizontaler Richtung mehr Festigkeit zu geben. Beide Brücken steigen gegen den Mittelpfeiler mit einiger Wölbung hinan, so daß das Ganze einem Bogenstück von 1078 F. Radius gleich sieht. Das gemauerte Widerlager auf der Seite von Tournon ruht auf anstehendem Fels, der Zwischenpfeiler und die Tragmauer auf der Seite von Tain liegen auf solidem Pfahlwerk, dessen Fuß mit Steinblöcken verwahrt ist. Die Unterlage des Mittelpfeilers ist ein gemauertes Prisma von 52 F. Länge in der Richtung des Stromlaufes, 18 F. Breite und 24 F. Höhe vom Rost des Pfahlwerkes bis zur Brücke. Ein Thorweg von 12 F. Breite und 18 F. Höhe durchbricht den darüber stehenden Pfeiler. Von entsprechender Ausdehnung und Festigkeit sind auch die mit Pforten versehenen Widerlager der Endpunkte. Jedes der zwölf Drahtseile besteht aus 112 Eisendräthen von No. 18. 3 Millim. oder  $1\frac{1}{2}$  Lin. d. d. Sie gehen je sechs auf jeder Seite über den Pfeiler und die Widerlager, hinter welchen sie meist vertical hinuntergezogen sind, und bilden drei Hängebogen, an welchen in abwechselnder Ordnung die verticalen Tragstäbe der Brücke aufgehängt sind. Das Geländer der Brücke aus rautenförmig zusammengelegten Holzstäben gebildet, deren Rauten durch verticale Eisenstangen zusammengezogen werden, bietet eine bedeutende Festigkeit dar, und hilft den Fahrweg steifer machen. Die vereinte Tragkraft der Drahtseile wurde zu 450000 Kilogr., die der Widerlager auf 600000 K. berechnet. Bei einer obrigkeitlich angeordneten Prüfung der Brücke wurde dieselbe durch Ueberführen mit Kiessand allmähig bis auf 58000 Kilogr. belastet, wobei die Senkung des Bogens gemessen

wurde. Sie ging für diese Last bis auf 9 Zoll, dagegen zeigten zwei empfindliche Wasserwaagen, welche auf dem einen Widerlager und auf dem Mittelpfeiler sich befanden, nicht die geringste Aenderung. Endlich brachte man zwei beladene Wagen, die mit ihren Pferden zusammen 7900 Kil. wogen, auf die Brücke, wozu sich noch über 50 Personen gesellten, so dass dieselbe mit 69150 Kil. belastet war. Dessen ungeachtet war weder an den Drahtseilen noch an dem Mauerwerke nur die mindeste Spaltung oder Störung zu bemerken; und als man Tags darauf die Last wieder abräumte, trat auch die Senkung der Ketten wieder bis auf 2 Zolle in ihre vorige Lage zurück. Dieser Bau leistet also den genügenden Beweis, daß man auch mit Drahtseilen, wie mit Ketten, große fahrbare Brücken construiren kann.

Seit der Zeit hat sich die Zahl der Ketten und Drahtbrücken noch bedeutend vermehrt; im St. Petersburg allein befinden sich gegenwärtig fünf Drahtbrücken, von denen zwei für Fuhrwerke bestimmt sind, und bis 97800 Kilogr. tragen. In Wien ist durch die Errichtung der Sophienbrücke die Bahn für diese Constructionen gebrochen. Auch in England und America ist die Zahl der Kettenbrücken zunehmend. Die Fortschritte der Mechanik und besonders der Siderotechnik werden allmählig auch in den übrigen Theilen Europas eine Veranstaltung verbreiten, welche eine der nützlichsten Früchte der Thätigkeit unsers unternehmenden Zeitalters ist.

### Allgemeine Bemerkungen.

Es kann nicht die Absicht dieser Darstellung seyn, eine vollständige Anweisung zum Bau der Hängebrücken zu geben: diese findet der Wilsbegierige in dem geschichtlichen Details über die bisher erbauten Ketten- und Drahtbrücken, deren Literatur am Schlusse dieses Artikels gegeben ist, vorzüglich in dem für diesen Gegenstand classischen Werke von NAVIER, denjenigen von DÜFOUR, SÉGUIN und Freiherrn von MITIS. Aus der Geschichte der Hängebrücken ergibt sich auch zuvörderst, daß diejenige Construction, bei welcher der Fahrweg an einzelnen, von einem Gerüste am Ufer ausgehenden, Rädern oder Schrägbändern aufgehängt ist, wegen der ungleichen Anspannung der Letztern keine Sicherheit gewähre, und daß diese nur von einer, beide Ufer vereinigenden, biegsamen Li-

nie erwartet werden kann, welche nach Art der *Kettenlinie* gekrümmt ist. Schon GALILEI kannte dieselbe, und machte auf ihre nahe Uebereinstimmung mit der Parabel aufmerksam, ohne sich jedoch in eine mathematische Untersuchung derselben einzulassen<sup>1</sup>. Später bemerkte JOH. JOACHIM JUNG von Hamburg, daß die Kettenlinie eine von der Parabel verschiedene Linie sey, und im J. 1690 stellte JAC. BERNOULLI in den *Actis Eruditorum* nach damaliger Uebung die Theorie derselben als ein Problem auf, das durch LEIBNITZ und JOH. BERNOULLI gelöst<sup>2</sup> ward. Im J. 1697 wurde eben dieses von DAVID GREGORY<sup>3</sup> versucht, der zuerst die Tauglichkeit der umgekehrten Kettenlinie für steinerne und hölzerne Brückenbogen bemerkte; EULER'S<sup>4</sup> allgemeine Theorie der Spannung eröffnete endlich den einfachsten Weg zur vollständigen Bestimmung dieser Linie.

Theorie und auch die von GALILEI selbst angerufene Erfahrung zeigen, daß die Kettenlinie, wenn die Entfernung ihrer festen Punkte gegen ihre Senkung sehr groß ist, wie dieses gerade bei den Hängebrücken statt findet, sehr wenig von der Cykloide und auch von der Parabel abweiche. Da überdem die Kette hier nicht freischwebend erscheint, sondern durch den angehängten Brückenweg in allen Theilen einen nahe gleichen senkrechten Zug erleidet, so entfernt sich ihre Gestalt von der eigentlichen Kettenlinie und geht wirklich in die Parabel über,

---

1 Allzubestimmt wird beinahe in allen Lehrbüchern ausgesprochen, daß GALILEI die Kettenlinien mit der Parabel *verwechselt* habe. Indem er die parabolische Bahn geworfener Körper untersucht, zeigt GALILEI aus der Senkung einer schweren Kette, und der Unmöglichkeit, sie genau horizontal und geradlinigt auszuspannen, auch die Unmöglichkeit eines geradlinigten horizontalen Schusses. Eine auf ein Bret gezeichnete Parabel, den Scheitel nach unten gekehrt, sey mit der Bahn einer aufgehängten Kette *sehr nahe* übereinstimmend, und die Anpassung sey um so genauer, je flacher der Bogen, oder je ausgespannter die Kette sey; für Elevationswinkel unter  $45^\circ$  fallen diese Curven *quasi ad unguem* zusammen. Die Kettenlinie biete also für die Praxis ein bequemes Mittel dar, die Punkte verschiedener Parabeln auf einer Tafel schnell zu bestimmen. S. Galilei *Opere*. T. III. p. 169. Edit. von Padua. 1744.

2 Bernoulli *Opera*. T. I. p. 48, u. III. p. 491.

3 *Philos. Trans.* Abridged. I. p. 39.

4 *Novi Comment. Petropol.* T. XV. u. XX.

sie ist nur Kettenlinie, wenn das Gewicht des Brückenweges gegen dasjenige der Kette Null ist, und umgekehrt wird sie zur völligen Parabel, wenn die Schwere der Ketten gegen das der Last der Brücke selbst nicht in Betracht kommt. Das Letztere ist, wenn auch nicht immer, doch bei weitem am häufigsten der Fall, und so kann man bei der Berechnung der einzelnen Bestimmungsstücke statt der unbequemen Ausdrücke, welche die strenge Theorie der Kettenlinie liefert, die einfachern der Parabel in Anwendung bringen. Ueberhaupt müssen alle Verhältnisse nicht nach einer theoretischen Annahme der einen oder andern Curve, sondern mit sorgfältiger Rücksicht auf den definitiven Zustand des Ganzen berechnet werden. Hierher gehört namentlich die Berechnung der Tragstangen, deren Länge bei der Anwendung im Großen nach der einen oder andern Theorie beträchtlichen Verschiedenheiten unterworfen ist<sup>1</sup>. Immerhin liefert die gemeinsame Theorie dieser Curven einige wichtige Hauptsätze, welche bei Constructionen dieser Art zum Grunde gelegt werden müssen, deren Beweis in den betreffenden Lehrbüchern nachgesehen werden kann:

1. Die Gewalt, mit welcher die Kette *in horizontaler Richtung* auszuweichen strebt, ist in allen Theilen derselben gleich groß, und der Spannung im Scheitel gleich.

2. Die Gewalt, mit welcher die Kette in irgend einem Punkte *nach verticaler Richtung* zu zerreißen strebt, ist gleich dem Gewichte der Kette von diesem Punkte an bis zum Scheitel.

3. Die *Spannung am Scheitel* oder die horizontale Spannung steht bei gleichen Spannweiten im umgekehrten Verhältniß mit der Tiefe des Bogens oder dem Pfeile von der Chorde nach der Mitte desselben.

4. Sie wächst hingegen nach den Quadraten der Spannweiten.

5. Am Scheitel ist die Spannung am kleinsten, und sie

---

<sup>1</sup> SÉGUIN umgeht die Berechnung der Länge der Tragstangen durch ein praktisches Verfahren. Nachdem eine der Ketten aufgehängt ist, spannt er einen feinen Draht als Abscissenlinie genau in der Richtung des Fahrwegs, und bestimmt von diesem aus die Ordinaten nach der Curve hin durch directe Messung, deren Ergebnisse jedoch später nach Belastung der Curve einer Berichtigung unterworfen seyn möchten.

wächst mit der Abscisse vom Scheitel an gerechnet; sie ist daher am Aufhängepunkte am größten.

6. Für jedes Bogen-Element ist sie proportional der Co-secante des Winkels, den dasselbe mit der Horizontallinie bildet; daher bei flachen Bogen die Spannung außerordentlich groß wird.

7. Die Spannung einer Stelle in der Kettenlinie ist der Quadratwurzel aus ihrem Krümmungshalbmesser proportional, sie ist daher vom Scheitel an zunehmend.

8. Die horizontale Spannung verhält sich wie der Krümmungshalbmesser am Scheitel und wird durch das Gewicht einer Kette gemessen, die mit diesem Krümmungshalbmesser einerlei Länge hat, und vom gleichen Querschnitt mit der Kette am Scheitel ist. Nun ist in der Parabel der Krümmungshalbmesser genau dem halben Parameter gleich, und somit ist nach der bekannten Gleichung dieser Curve  $y^2 = px$ , die horizontale Spannung  $Q = \frac{1}{2}p = \frac{y^2}{2x}$ . Bezeichnet  $y$  die halbe

Fig. 4. Spannweite  $\frac{1}{2}W$ , und  $x$  den Pfeil  $f$ , so wird  $Q = \frac{W^2}{8f}$ ,

und da  $W$  eigentlich das Gewicht eines Prisma ausdrückt, dessen Basis der Querschnitt der Brücke in der Gegend des Scheitels (Ketten und Fahrweg zusammengenommen) und dessen Höhe die Spannweite ist, so ist die horizontale Spannung dem Gewichte der ganzen Brücke gleich, wenn die Senkung der Kette den achten Theil der Spannweite beträgt. Ist  $f = \frac{W}{n}$ ,

also  $W = nf$ , so wird  $Q = \frac{nf \times nf}{8f} = \frac{nW}{8}$ . Wird z. B.

der Pfeil nur halb so groß ( $\frac{1}{16}$  der Länge) also  $n = 16$ , so wird die horizontale Spannung  $= 2W$ , d. h. doppelt so groß als das Gewicht der Brücke. Hierbei ist jedoch noch dasjenige Gewicht der Kette außer Acht gelassen, das vom Ueberschuss der Bogenlänge über die Spannweite herrührt, und welches selten mehr als  $\frac{1}{100}$  der ganzen Last ausmacht. Sind also beide, der Fahrweg und die Ketten durchgängig von gleichförmigem Querschnitte, so ist die Spannung am Scheitel dem Gewichte des Ganzen gleich, wenn  $f = \frac{1}{8}W$ , und sie verändert sich im umgekehrten Verhältniß mit der Senkung  $f$ .

Diesen allgemeinen theoretischen Sätzen lassen sich aus

NAVIER'S vollständiger Untersuchung des Gegenstandes noch einige andere über die verticalen und lateralen Schwankungen eines solchen Systems, so wie über seine Längenschwingungen beifügen, die jedoch durch die verschiedene Solidität der Construction wesentlich modificirt werden. Wenn auch das Nachgeben und die Biagsamkeit eines Systems bei einem allzustarken Impuls das Zerbrechen hindert, so wirkt auf der andern Seite eine allzugroße Beweglichkeit und das Hin- und Herarbeiten abnutzend und zerstörend auf die einzelnen Theile und ihre Verbindung. Aus diesem Grunde, da die Schwankungen der Ketten im geraden Verhältniß der Quadratwurzel des Pfeiles und im umgekehrten der Spannweite stehen, dürfte es gerathener seyn, die *Senkung* im Verhältniß der Spannweite *in so weit zu vermindern*, als es die dadurch vergrößerte horizontale Spannung nur immer gestattet, und dagegen zu diesem Ende die Stärke der Tragketten zu vermehren<sup>1</sup>. Nicht minder wichtig ist es auch, dem *Fahrwege*, sey es durch die Einrichtung seines *Geländers* oder durch ein leichtes Sprengwerk die *möglichste Steifigkeit* zu verschaffen, und somit sowohl die localen Eindrücke einer beweglichen Last auf das Ganze zu vertheilen, als auch den Seitenbiegungen der Brücke, welche von Windstößen auf sie ausgeübt werden, entgegen zu wirken<sup>2</sup>. Auch das Gewicht des Fahrwegs, welcher durch seine Construction oder durch Bedecken mit Kiessand erhöht werden kann, trägt wesentlich dazu bei, das Ganze gegen die Einwirkung der zufälligen Lasten unempfindlicher zu machen. Wenn auch eben dieses eine vermehrte Stärke der Tragketten erforderlich macht, so wird dagegen, zumal bei größeren Brücken an Sicherheit und Dauerhaftigkeit wesentlich gewonnen.

Die *Tragpfeiler* der Ketten können für leichte Brücken von Zimmerwerk, für größere von Gufseisen oder Mauerwerk gemacht werden. Sie bilden entweder bloße Säulen, oder eine Masse breiter als die Brücke selbst, durch welche ein Thorweg auf diese hinführt. Die letztere Construction, wenn sie auch

1 Bei den americanischen Kettenbrücken ist die Senkung meist  $\frac{1}{4}$  der Spannweite, bei den Englischen etwa  $\frac{1}{15}$ .

2 Wie BRUNEL'S Versuch, durch einen, nach DÜFOUR'S Vorschlag, unter dem Fahrweg zu beiden Seiten fortgeführten, *nach oben convexen* Kettenbogen die Steifigkeit der Ersten zu bewirken, sich bewährt habe, ist noch nicht bekannt geworden.

etwas schwerfällig aussieht, dürfte doch durch ihre Solidität für grössere Brücken sich empfehlen. *Eine bedeutende Ausdehnung der Basis* dieses Mauerwerks, seyen es Säulen, Pyramiden oder Prismen, oder eine große cubische Masse ist unerlässlich, um dem mächtigen Seitenzuge zu widerstehen, und durch eine hinreichende Zurücksetzung des Schwerpunktes jede Umwälzung unmöglich zu machen. Diese Vorsicht wird besonders nothwendig, wenn man die Spannketten sogleich hinter ihrem Auflagepunkte senkrecht herunterführt, und sie dort entweder an Felsen oder großen Steinblöcken anhaftet, oder in eine Art Keller hinabgehen läßt, wo sie unter dem Gemäuer befestigt werden. Obwohl hier der senkrechte Zug der Spannketten jede Umstürzung unmöglich macht, so wird dagegen dem beinahe horizontalen Seitenzug der Tragketten, und der Verschiebung durchaus kein anderer Widerstand entgegengesetzt, als welchen die Solidität des Gemäuers leistet, daher diese Leitung der Spannketten bei Säulen von geringer Basis Gefahr bringen würde. Dafs hierbei überhaupt auf eine hinreichende *Befestigung des Ufers*, da, wo sie nicht von Natur gegeben ist, durch ein tiefgehendes Pfahlwerk gesehen werden müsse, bedarf keiner Erinnerung.

Die sicherste Unterstützung der Ketten bleibt immer diejenige, wo sie dergestalt über die Tragpfeiler hin gezogen werden, dafs sie *zu beiden Seiten gleiche Winkel* bilden. In diesem Falle wird der Druck, den sie ausüben, ganz senkrecht, und insofern nur das Fundament fest ist, so wird auch eine weniger massive Unterstützung doch keinen Unfall besorgen lassen. Um dabei jeden Seitenzug zu verhindern, sollte man auch die, von starker Belastung oder durch Wärmeausdehnung bewirkte Reibung der Ketten auf der Unterlage dadurch beseitigen, dafs man sie über Rollen oder Sectoren gehen läßt, deren Axen auf dem Gemäuer liegen. Die Kleinheit des Winkels, welchen in dem angenommenen Falle die Spannketten mit dem Boden bilden, setzt ihren Befestigungspunct weiter landeinwärts, und macht es möglich, sie nicht durch die bloße *Beschwerung* mit einer großen Steinmasse zu sichern, sondern ihrer Verrückung auch den unermesslichen Widerstand entgegen zu setzen, welchen die Unverschieblichkeit und Incompressibilität einer auch nur mäfsigen Erdmasse (z. B. beim Ankern der Schiffe oder bei der Befestigung der Erdwinden) leistet. In

dieser Beziehung ist die von BRUNEL bei der Brücke auf Bourbon und die von TELFORD bei der Bangor- oder Menai-Brücke gewählte Anordnung, bei welcher die Ketten mit ihren Scheitelpuncten die Ufer berühren, des horizontalen Zuges wegen besonders vortheilhaft, indem dadurch bei einiger Hineinführung der Ketten ins Ufer die Erbauung der kostbaren Widerlager grossentheils beseitigt wird. Eben dieses läßt sich auch dadurch erreichen, daß man die Ketten *unter* dem Fahrwege aufhängt, und diesen auf jene hinstellt. Hierbei wird jedoch durch die bedeutende Dicke, welche den verticalen Tragstangen gegeben werden muß, das Gewicht beträchtlich vermehrt; die tiefhängende Kette versperrt die Fahrt, und die Brücke dürfte bei starkem Winde nachtheiligen lateralen Pendelschwingungen ausgesetzt seyn.

Das *beste Material* für die Construction der Hängebrücken bleibt immerhin das geschmiedete Eisen: seine Stärke muß jedoch bei jedem Bau durch eine besondere Vorrichtung geprüft werden <sup>1</sup>, und man ist übereingekommen, die Belastung desselben nur auf ein Drittel der Kraft gehen zu lassen, welche erforderlich ist, dasselbe zu zerreißen, indem bei dieser Anspannung das Eisen seine vollkommene Elasticität behält, und die Anordnung seiner innern Theile noch nicht verändert wird <sup>2</sup>. Die Erfahrung an den Chinesischen Kettenbrücken, und an andern frei aufgehängten eisernen Ketten, leisten hinreichende Beweise für die Dauerhaftigkeit dieses Stoffes, wenn er nicht mit oxydirenden Substanzen, oder etwa mit Metallen, die einen galvanischen Proceß in demselben hervorrufen, in Verbindung kommt, ein Umstand, der besonders beim Befestigen der Eisentheile an die Erde (z. B. bei dem Eingießen mit Blei) zu berücksichtigen ist.

Noch scheint es nicht ausgemacht, ob von den beiden Arten von Hängebrücken die eine einen entschiedenen Vorzug vor der andern habe. In England ist, zumal für die größeren

<sup>1</sup> Man sehe hierzu die Apparate von RENNIE in den Philos. Trans. f. 1818. (ann. de Chimie Sept. 1818.); die von DÜROU u. MITIS in den unten benannten Werken, Vergl. Th. II. S. 137. dieses Wörterbuchs.

<sup>2</sup> Sehr viele Angaben über die Stärke des Eisens findet man in NAVIER'S Résumé des leçons données à l'école roy. des ponts et chaussées; Mécanique. T. I. Paris, 1826. 8.

Brücken, die Methode der *Ketten* vorherrschend, indem daselbst nur etwa drei, und zwar nur für Fußgänger von Draht gemacht worden sind; und es ist nicht zu leugnen, daß diese Entschiedenheit von Seite so kenntnißreicher, alle ihre Einrichtungen so wohl in Beziehung auf Zweckmäßigkeit als Kostenersparung so wohl ponderirender Mechaniker hierin von großem Gewichte ist. Dagegen haben die Gebrüder SÉGUIN in Frankreich den Thatbeweis geleistet, daß man auch solide fahrbare *Drahtbrücken* bauen könne, und eben dieses wird auch durch ähnliche *Constructions* in St. Petersburg dargethan. Die Sache kann unter verschiedenen Gesichtspuncten betrachtet werden, deren gegenseitige Abwägung zum Theil durch örtliche Verhältnisse bestimmt werden kann: 1. „Von Seite der *Stärke und Dauerhaftigkeit*; 2. in Beziehung auf *leichte Verfertigung oder Ausbesserung*, und 3. in Rücksicht auf *Wohlfeilheit*.“ In Betreff der *Stärke* zeigen die Versuche von SÉGUIN und die von DÜFOUR, daß gezogener unausgeglühter Draht verhältnißmäßig bedeutend stärker ist, als Stangeneisen, und daß diese Stärke bei feinerem Drahte zunimmt. Auch haben nach DÜFOUR's Erfahrung, die aus vielen Drähten zusammengesetzten Taue eben so viel Stärke, als die Summe der einzelnen Drähte ausmacht<sup>1</sup>. Gegen die Oxydation werden dieselben durch fleißiges Bedecken mit Firniß hinreichend geschützt. Vielleicht dürfte in der Folge die von dem Genfer Künstler DARIER mit Erfolg versuchte Ueberzinnung der Taue, und nachherige Glättung durch den Drahtzug eine vollständige Sicherung gewähren. Das Unbequemste wäre wohl die Steifigkeit solcher Taue bei verstärktem Durchmesser. Daß in denselben einzelne Drähte unbemerkt reißen sollten, ist nicht zu befürchten, wenn man sie, wie DÜFOUR that, vor der Vereinigung einzeln einer doppelt so großen Anspannung aussetzen würde, als ihre spätere Tragkraft erheischt. Die Leichtigkeit mit welcher sol-

---

1 In CORDIERS *Ponts et Chaussées* wird von einem Englischen Ingenieur SAMUEL WARE die Stärke des Eisendrahtes von  $\frac{1}{2}$  Zoll Dicke derjenigen des Stangeneisens gleich gesetzt, und die Stärke eines Drahttaues zu der Summe der Kraft seiner einzelnen Drähte wie 40 zu 65 angenommen; doch ohne nähere Angaben. SÉGUIN hat durch directen Versuch nur  $\frac{1}{13}$  Unterschied zum Nachtheil des Drahtseiles gefunden.

che Drahtseile verfertigt werden können <sup>1</sup>, die bedeutende Länge von 60 bis 100 Fufs, die man auf einmal erhält, der Umstand, dafs Alles kalt bearbeitet werden kann, ist entschieden zu ihren Gunsten; da hingegen bei den Ketten die Enden der Stangen geschmiedet, gebohrt, zur bestimmten Länge ausgestreckt, in genaue Gelenke gepafst, und mit gedrehten Bolzen verschraubt werden müssen. Bei diesen ist jedoch die Befestigung der verticalen Tragstangen sicherer und leichter, als bei den Drahtsäulen, wo sie nur durch einen das Seil umgebenden Wulst von Draht in ihrer Stelle gehalten werden. Wenn überdem nach DÜFOUR's und SÉGUIN's nicht zu bezweifelnden Angaben die Stärke des Drahtes zu derjenigen des Stangeneisens sich nahe wie 3 zu 2 verhält (indem ein Quadrat-Millimeter des erstern bei 63, des letztern bei 42 Kilogrammen zerreift), so ist auch die *Wohlfeilheit*, sowohl in Beziehung auf das Quantum des Materials, als auf den Arbeitslohn ganz auf Seite der Drahtseile. Dagegen ist nicht zu leugnen, dafs bei gehöriger Einrichtung auch die Verfertigung von Ketten, wegen der Gleichheit ihrer einzelnen Bestandtheile ziemlich geschwind von statten gehen kann, dafs man ihre Gröfse jedem auch noch so hohen Bedürfnisse anpassen kann (ein Umstand, der bei den Drahtseilen doch gewisse Grenzen finden dürfte), dafs man zu keiner Zeit etwa von verborgenen Fehlern zu befürchten hat, und dafs bei eintretenden Reparaturen jedes einzelne Glied leicht herausgenommen werden kann, während dem die Beschädigung eines Seiles mehr Kosten und Mühe verursacht. Nur ist bei diesem System *sehr genaue Arbeit* eine wesentliche Bedingung; da hingegen das der Drahtseile eine weniger sorgfältige Ausführung erfordert. Wenn daher das Erstere für alle und jede noch so sehr ins Gröfse gehende Unternehmungen dieser Art seinem Zwecke genügen kann, so wird das Letztere bei ungleich geringerm Aufwande dennoch für die gewöhnlichen Fälle der Brücken für Fußgänger und leichte Fuhrwerke gute Dienste leisten, und diese Kostenersparung ist hier oft um so wichtiger, als die meisten Unternehmungen dieser Art nur von Privaten, oft auf ein sehr mäfsiges Brückengeld hin gemacht werden müssen.

---

1 Nach DÜFOUR verfertigten drei Arbeiter in 8 Stunden 36 Métres Drahtseil von 90 Drähten.

Noch ist die Einführung der eisernen Hängebrücken zu neu, um über ihre Tauglichkeit ein entscheidendes Urtheil zu fällen. Die Zeit wird lehren, ob die anscheinende Wohlfeilheit mit ihrer Dauer in einem günstigen Verhältnisse stehe. So wie ihr Princip von dem der steinernen und hölzernen Brücken wesentlich verschieden ist, so muß es auch ihre Anwendung seyn. Für kürzere und stark befahrene Uebergänge werden die bisherigen Constructionen immer vortheilhafter seyn, und nur, wo diese nicht zureichen, bei allzu kostbaren oder schwierigen Wasserbauten, beim Uebersetzen über breite und tiefe Klüfte und namentlich etwa für Wasserleitungen dürften die Hängewerke ihren überwiegenden Vorzug bewähren<sup>1</sup>.

H.

## H ä r t e.

*Durities; Dureté; Hardness, rigidity.*

Die Härte der Körper steht der *Weichheit* entgegen, und bezeichnet also eine relative Eigenschaft derselben, für welche kein absolutes Mafs existirt, indem vielmehr jeder Körper nur

---

1 Zur Literatur dienen Edinb. philos. Journ. X, XI, XXI. Edinb. Journ. of Science No. V. Bibl. univers. sc. et arts XXI, XXIII, XXX, XXXI. Hauptsächlich NAVIER Rapport et mémoire sur les ponts suspendus. 1824. 4. avec atlas. Ferner DUPIN Voy. dans la gr. Bretagne. Force commerciale av. atlas. CORDIER ponts et chaussées. 1823. 8. av. atlas. IGN. VON MITIS, die Sophienbrücke in Wien. 1826. 8. Atlas. J. L. SPAETH über d. Tragbarkeit der Union-Kettenbrücke in Dingler's polytech. Journ. XXVII. Description of the iron bridges of suspension over the strait of Menai at Bangor, and over the river Conway in North Wales. 1824. 8. Philos. Trans. f. 1827. Ueber Drahtbrücken insbesondere: DUFOUT Descr. d'un pont suspendu en fil de fer. 1824. 4. u. nach diesem C. F. W. BERG der Bau der Hängebrücken aus Eisendraht. 1824. 8. SÉGUIN l'aîné: des ponts en fil de fer. Sec. Ed. 1826. 4. Bulletin de la Soc. d'Encourag. No. 248. über die Draht-Kettenbrücken von DELESSERT zu Cassy u. LAROCHEFOUCOLD zu Liencourt. Zwei schöne Engl. Kupferstiche, die Unionbrücke und die Bangorbrücke darstellend. J. G. K. Die Kettenlinie und ihre Anwendung im Allgemeinen, insbes. zum Theil auf Ketten-Hängebrücken. 1826. 8. Beitrag zum Bau der Kettenbrücken, welche in der Mitte mit einem beweglichen Brückentheile zu einer Durchfahrt eingerichtet sind. 1826. 4. In dieser Schrift wird das mißliche System der Radien oder schrägen Suspensionen empfohlen.

hart oder weich in Verhältniß zu irgend einem andern Körper genannt wird. Der specifische Charakter der Härte besteht darin, daß die Theile der Körper dem Eindringen jedes andern Körpers, der Trennung von einander, oder der Verschiebung aus ihrer Stelle einen großen Widerstand entgegensetzen, dagegen selbst in die Theile weicherer Körper einzudringen, sie zu trennen oder zu verschieben vermögen; mit einem Worte: ein Körper ist härter als ein anderer, wenn er diesen ritzt, selbst aber durch diesen nicht ritzbar ist, in welcher Beziehung insbesondere die Mineralogen diese Eigenschaft als Kennzeichen der Fossilien benutzen.

Bleiben wir zuvörderst bloß bei den Thatfachen stehen, so sind einige Körper allezeit härter als andere, so daß ihnen diese Eigenschaft ohne Widerrede zukommend beigelegt werden muß. So ist das Eisen härter als Blei, die kieselerdehaltigen Steine sind meistens härter als die kalkerdehaltigen, die unorganischen härter als die organischen. Inzwischen gehen die nämlichen Körper unter verschiedenen Bedingungen vielfältig in den Zustand größerer Härte über, und dieses zuweilen in einem wahrhaft ungläublichen Grade. Bei organischen Substanzen geschieht dieses meistens durch größere Näherung der Elemente und Entfernung der sie trennenden Flüssigkeiten; so erhärtet der Pflanzensaft zur harten Holzfaser, das Firniß, das im heißen Wasser gelösete Stärkemehl, der thierische Leim u. s. w. gehen durch Austrocknung in den Zustand bedeutender Härte über, und ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei der Bildung der Knochen, der Nägel, Klauen, Hörner und insbesondere der Zähne, deren Schmelz einen der härtesten, zuweilen fast dem Angriffe einer Feile widerstehenden und durch Eisen nicht ritzbaren Körper darbietet. Verschiedene unorganische Körper werden härter, wenn ihre Theile einander näher gebracht oder sie dichter werden, und ohne Zweifel ist dieses bei allen der Fall, wozu bei einigen noch die Entfernung der Feuchtigkeit eine bedeutende Vermehrung der Härte herbeiführt. Letzteres ist insbesondere der Fall bei dem weichen Thone, welcher durch Austrocknen und Brennen zu dem oft ausnehmend harten Porzellane wird. Mehrere Metalle werden härter durch Hämmern, Walzen u. dgl., z. B. Silber, Messing, Kupfer und Eisen, gehen aber durch Glühen und langsames Erkalten wieder in den Zustand größerer Weichheit über. Bei Eisen und Stahl

besteht ein gewöhnliches Mittel des Härtens darin, daß man dieselben erhitzt und dann schnell abkühlt, wobei indess das Eisen nur auf der Oberfläche bedeutend härter, im Ganzen aber spröder wird, der Stahl aber durchaus einen der Differenz zwischen der anfänglichen Hitze und der plötzlich erzeugten Abkühlung proportionalen Grad der Härte annimmt. Insgemein geschieht das Härten dadurch, daß er bis zum Dunkelrothglühen erhitzt und dann schnell in kaltes Wasser getaucht wird; ist aber der Stahl an sich schon von einer harten Sorte (indem es in dieser Hinsicht sehr verschiedene Arten giebt), so wird er zugleich ausnehmend spröde, mithin wegen seiner Zerbrechlichkeit für den technischen Gebrauch minder geeignet, und man muß die aus ihm verfertigten Werkzeuge daher wieder anlassen, d. h. allmählig bis zu einem geringeren oder größeren Grade der Wärme erhitzen, welcher durch die auf seiner Oberfläche erscheinende Farbe bestimmt wird. Der geringste Grad des Anlassens, wobei Härte und Sprödigkeit nur wenig gemildert werden, geht bis zur hell-strohgelben Farbe, ein weiterer dann zur dunkelgelben, zur karmesinrothen, violetten, dunkelblauen und grau-schwarzen, bei welcher fast alle Härtung wieder aufgehoben ist. Diese Farben der Oberfläche sind Folgen einer anfangenden oder weiter fortgesetzten Oxydirung einer verschwindend dünnen Metallschicht<sup>1</sup>. In manchen Fällen giebt man dem Stahle die zum Federn erforderliche Härte, indem man ihn bis nahe zum Glühen erhitzt und dann in Oel taucht oder ihn mit Unschlitt bestreicht (das sogenannte Abbrennen), welches sich anfangs entzündet, im Ganzen aber eine langsamere Abkühlung bewirkt, als das Eintauchen in Wasser, weil Oel und Unschlitt eine geringere Wärmecapacität haben als Wasser, und durch den heißen Stahl auf eine höhere Temperatur gebracht werden, als dieses beim Wasser möglich ist, welches noch obendrein durch die Dampfbildung eine unglaubliche Wärme plötzlich entzieht und dadurch eine sehr schnelle Abkühlung bewirkt. Hierzu kommt noch, daß das Fett die Oberfläche des Stahles gegen eine weitere Verbrennung schützt und die Trennung des Kohlenstoffs von derselben verhütet, somit also die Verwandlung des Stahls in Eisen hindert. Auf gleiche

---

<sup>1</sup> Vergl. *Eisen* Th. III. S. 161. FUSINIERI in Brugnatelli Giorn. Dec. II. II. 145. DAVY in Gilb. Ann. LI. 206.

Weise pflegen die Künstler, z. B. die Uhrmacher und Mechaniker, die Spitzen der feinen Bohrer auf eine solche Weise zu härten, daß sie mit einem Löthrohre die Lichtflamme dagegen blasen, sie dadurch glühend machen und dann schnell in das Unschlitt des Lichtes oder das Oel der Lampe tauchen. Nach einer mündlichen Mittheilung des Dr. EIMBKE in Hamburg pflegt der bekannte Mechaniker REFSOLD den Spitzen der Bohrer eine außerordentliche Härte dadurch zu geben, daß er sie in Quecksilber ablöscht <sup>1</sup>.

Die Härte der Körper wird ferner bedingt durch ihre Verbindung mit andern Körpern, wobei jedoch so viele Abweichungen von einer allgemeinen Regel stattfinden, daß man eine solche kaum oder überall nicht aufzustellen vermag. Am natürlichsten und einfachsten würde es seyn, wenn die Härte zweier verbundener Substanzen das arithmetische Mittel derjenigen der einzelnen wäre, und so ist es auch ziemlich genau bei den Verbindungen des Goldes mit Silber und Kupfer, des Zinns mit Blei; allein diesem gänzlich widersprechend ist es, daß das zähe und mäsig harte Kupfer mit dem härteren Zink verbunden das sehr weiche Messing und mit dem weichen Zinn vereinigt nach dem Verhältniß der Mischung, z. B. 5 zu 1 das harte Clockengut und 2 zu 1 das noch ungleich härtere Spiegelmetall liefert. Das Eisen wird durch einen Zusatz von 0,01 Kohlenstoff zum harten Stahl und von 0,02 bis 0,04 derselben Substanz zum noch härteren Gußeisen, indem letzteres zwar nicht eigentlich gehärtet, aber rasch gekühlt, von den besten englischen Feilen nicht angegriffen wird. Dieses Verhalten ist übrigens aus der großen Härte des reinen Kohlenstoffs in Diamant leichter erklärbar, als daß das Eisen durch einen unbedeutenden Zusatz von Alumium und Silicium, desgleichen von Chrom, Silber, Platin u. s. w. merklich härter, ja sogar mit

---

1 Die mancherlei Arten des Verfahrens beim Härten des Stahls findet man in den Werken über die Bereitung desselben. Zur gleichmäßigen Verbreitung der Wärme schlägt Nicholson vor, ihn auf einer erhitzten Bleimasse schwimmend bis zur erforderlichen Temperatur zu erhitzen. Vergl. Lydiatt. in Nichols. Journ. of Nat. Phil. 1814. N. 156. G. Ll. 203. Encyclop. meth. Art. Acier. T. I. p. 436. Praktische Anweisung zum Härten des Stahls von PRECHT findet man im Jahrb. des polyt. Instit. I. 194.

Schwefel verbunden im Schwefelkies so hart wird, daß letzterer zum Feuerschlagen mit Stahl geeignet ist.

Ein mit der Härte der verschiedenen Körper nahe verwandtes Phänomen wurde vor einigen Jahren zufällig entdeckt und ist seitdem vielfältig besprochen. Man setzt nämlich mit Grunde voraus, daß der härtere Körper den weicheren schneidet, ritzt oder zerstört, wie dieses auch in der Regel der Fall ist. Als Ausnahme von dieser Regel sind einige früher bekannte Thatsachen zu betrachten, daß nämlich beim Schleifen scheinbar weichere Körper von den härteren allmählig Partikelchen wegreißen, wie z. B. in den Cylinderuhren die weicheren Zähne des Rades in den stark gehärteten Cylinder einschneiden und das Leder eines Streichriemens Stahlpartikelchen von den Rasirmessern abzureißen pflegt. Allein dieses geschieht nur dann, wenn von den Schleif- und Polir-Mitteln kleine Theilchen zurückgeblieben sind oder die Staub-Partikelchen dergleichen darbieten, welche wegen größerer Zähigkeit und Weichheit sich in die minder harten Körper eindrücken, dort zurückgehalten werden, hierdurch als Schleifmittel dienen, neue Theilchen losreißen, und durch diese dann vermehrt die härteren Körper angreifen. Hiernach also kann den weicheren Theilen nicht selbst und unmittelbar die Fähigkeit des Einschneidens in härtere beigelegt werden. Dennoch aber ist ein solches allerdings unter geeigneten Bedingungen sehr wohl möglich, BARNES und PERKINS nämlich wollten eine schnell um ihre Axe laufende Scheibe von weichem Eisen mit einer Feile etwas kleiner machen, und fanden zur ihrer großen Verwunderung, daß die Scheibe ganz unversehrt blieb, die Feile dagegen angegriffen wurde. Es ergab sich bald, daß die nächste Ursache hiervon in der schnellen Bewegung der Scheibe zu suchen sey, und als sie diese noch vermehrten, wurde die Feile unter Funkensprühen gänzlich durchschnitten, die Scheibe aber nicht kleiner und bloß an ihrem Rande bedeutend härter <sup>1</sup>. Die Sache machte Aufsehen, und wurde zuerst daraus erklärt, daß die schnelle Bewegung der Scheibe den Stahl der Feile sehr heiß mache, während sie selbst bei dem steten Wechsel neuer Berührungspuncte kalt bleibe, und auf diese Weise selbst härter als die sehr erhitzte Stelle der Feile diese zu schneiden in den Stand

<sup>1</sup> Journal of Science oct. XVI. 155.

gesetzt werde <sup>1</sup>. Seitdem ist die Erscheinung selbst so oft wiederholt beobachtet, daß es ganz überflüssig seyn würde, die übereinstimmenden Resultate der zahlreichen Beobachtungen insgesamt namhaft zu machen. Unter die genaueren gehören die durch DARIER und COLLADON angestellten. Sie nahmen harte Grabstichel und eine Scheibe von ganz weichem Eisen. So lange dann der Rand der Scheibe am Grabstichel mit einer geringeren Geschwindigkeit als 34,5 Fuß in einer Secunde bewegt wurde, griff der Grabstichel das Eisen an, hörte aber auf, das Eisen zu schneiden, sobald die Bewegung über diese Grenze hinaus schneller wurde; erreichte sie 70 F. in einer Secunde, so schnitt die Scheibe in den Grabstichel ein, und zwar mit einer von hier an der zunehmenden Geschwindigkeit proportionalen Wirkung. Daß die Erweichung des harten Stahls durch die Hitze der Reibung die Ursache hiervon nicht seyn könne, ging daraus klar hervor, daß bei gehöriger Geschwindigkeit der Scheibe die Wirkung im ersten Momente der Berührung eintrat, und bei absichtlich weich gemachten Grabsticheln geringer war. Aus den am Rande der Scheibe sich ansetzenden Stahlpartikeln ist die Erscheinung gleichfalls nicht erklärlich, denn diese findet man erst später und ihre Menge ist sehr unbedeutend. In Gemäßheit der gesammten Versuche sind diese Experimentatoren daher geneigt anzunehmen, daß der Stahl durch das schnellbewegte Eisen zerschlagen und fortgerissen wird, ehe er Zeit hat, in dasselbe einzudringen. Mit einer Geschwindigkeit von 130 bis 200 F. in einer Secunde liefs sich auch Quarz, Achat u. s. w. etwas schneiden. Eine Uhrfeder mit der scharfen Kante der Scheibe genähert wird augenblicklich eingeschnitten, mit der flachen Seite die Scheibe berührend wird sie glühend. Eine Scheibe aus einer Mischung von Zinn und Kupfer brachte blofs ein Zittern in den genäherten Körpern hervor, ein Rad von Kupfer wurde auch bei einer Geschwindigkeit von mehr als 200 F. Geschwindigkeit stets von den Grabsticheln angegriffen, schnitt dagegen andere Körper, welche härter als Kupfer und weicher als Stahl waren. Als eine Merkwürdigkeit wurde noch beobachtet, daß die Kupferscheibe mit Stahl keine Wärme gab <sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> So erklärten die Herausgeber der Ann. de Chim. et de Phys. XXIV. 235.

<sup>2</sup> Bibl. univ. XXV. 281.

Es scheint mir im mindesten nicht zweifelhaft, daß die hier gegebene Erklärung die richtige des Phänomens sey. Um sie deutlicher vorzustellen, wollen wir uns die schnell bewegte Scheibe denken, von welcher ein Theilchen des Randes durch ein Theilchen des Grabstichels getroffen wird. Letzteres würde in diesem Falle das erstere abreißen oder zur Seite schieben; allein ehe dieses geschieht, tritt schon ein anderes an dessen Stelle, und wenn daher die Kraft des Stahltheilchens geringer ist als diejenige, welche die Summe der mit ihm in Berührung kommenden Theilchen des Eisens in der zum Abreißen erforderlichen Zeit gegen dasselbe ausübt, so muß es nothwendig selbst fortgerissen oder von der übrigen Masse getrennt werden. Das Phänomen hat also einige Aehnlichkeit damit, daß das Quecksilber, so leicht es auch sonst jedem Eindrucke eines festen Körpers nachgiebt, mit so außerordentlicher Gewalt gegen das verschlossene Ende einer luftleeren Röhre schlägt, und diese wenn auch vom dicksten Glase, so leicht zerschellt, mit den Erscheinungen des Wasserhammers und dem bekannten Versuche, daß man ein Unschlittlicht durch ein tannenes Brett zu schießen vermag. Das vorher angenommene Eisenheilchen im Rande der Scheibe bewegt sich nämlich mit einem gewissen Momente der Kraft gegen das Stahlheilchen; welches eine Function seiner Masse und Geschwindigkeit ist, und wenn daher dieses Kraftmoment in Verbindung mit der Cohäsion, mit welcher es mit der Masse des Eisens zusammenhängt, größer ist als die Cohäsion des unbewegten Stahlheilchens, so muß letzteres abgerissen werden. Eine unmittelbare Folgerung aus diesen Versuchen ist übrigens, daß harte Körper sich am besten durch noch härtere schneiden, reißen, stechen und überhaupt bearbeiten lassen, je langsamer sie bewegt werden; daß dagegen die schneidenden, reißen und überhaupt zerstörenden Körper um so stärker angreifen und so viel wirksamer seyn müssen, je schneller sie bewegt werden. Letzteres ist in der Praxis beim Bohren, Feilen, insbesondere dem Schleifen u. s. w. wichtig, ersteres beim Abdrehen eiserner, gusseiserner und hauptsächlich stählerner Sachen sehr zu berücksichtigen. Geübte Künstler wußten dieses unlängst aus eigener Erfahrung, sind aber durch diese interessante Beobachtung aufmerksamer darauf geworden, und wenden die Regel häufiger an, ohne sie, wie früher, gegenwärtig noch unbeachtet zu lassen. So hat namentlich PER-

KINS schon das härteste Gulseisen mit stählernen Werkzeugen abgedreht, indem er ihm eine sehr langsame Bewegung von etwa 6 F. in einer Secunde gab <sup>1</sup>, und auch diese Geschwindigkeit liefse sich unter Umständen noch wohl vermindern.

Die Aufstellung einer Tabelle, um die verschiedenen Körper nach dem Grade ihrer Härte in eine Reihenfolge zu ordnen, scheint mir für ihren Zweck zu viel Raum zu erfordern, da dieser kaum ein anderer als ein technischer seyn könnte; in der Mineralogie, worin diese Eigenschaft als Kennzeichen der Körper gilt, findet man dieselbe ohnehin überall angezeigt. Unentbehrlich ist dagegen, die Sache aus dem physikalischen Gesichtspuncte betrachtet, eine Untersuchung über die eigentliche Ursache dieser bei den verschiedenen Körpern so ungleichen Beschaffenheit, obgleich sich schon der Analogie nach voraussehen läßt, daß ein Versuch dieser Art schwerlich zu einem befriedigenden Resultate führen wird. Die Begriffe der Alten hierüber waren ihrer übrigen Naturkenntniß ganz angemessen. Nach ARISTOTELES war die Härte eine secundäre Qualität, weil sie als Folge der Trockenheit einer primären Qualität erschien, nach EPIKUR und seinen Anhängern folgte sie aus der Härte der Atome, nach CARTESIUS aus der Ruhe der Theile, und stand in sofern der Flüssigkeit entgegen, welche er mit mehrern andern aus der Bewegung derselben ableitete. NEWTON hat mehrmals den Satz ausgesprochen, dass er die Atome der Körper für absolut hart halte, und diese Eigenschaft liegt auch so nothwendig im Wesen der Atome, wie man sich dieselben vorstellen muß, daß jener große Denker weniger consequent hätte schließen müssen, als man dieses an ihm gewohnt ist, wenn er anders hätte urtheilen wollen <sup>2</sup>; allein aus der Härte der Atome kann niemand mit irgend einem Grunde die Härte der Körper ableiten, weil ja alle Atome, auch die der weichen und flüssigen Körper, ihrer Natur nach hart seyn müssen. Dagegen führt NEWTON die Härte auf die Stärke der Cohäsion zurück, insofern diejenigen Körper die härtesten seyn sollen, deren Atome sich mit den größten Flächen berühren, und eben deswegen bei gleicher

<sup>1</sup> Gill's Technic. Reposit. 1825. Oct. p. 247.

<sup>2</sup> Joh. Bernoulli spricht aus metaphysischen Gründen den Atomen die Härte ab, S. Opp. III, Nro. 135. ch. 1., als ob ein Atom im strengen Sinne des Wortes ohne absolute Härte denkbar seyn könnte.

Stärke der Cohäsion minder leicht trennbar sind. Inzwischen ist die Sache zu schwierig, als daß diese Erklärung genügen sollte, und sie läßt sich den vorhandenen Thatsachen nach überhaupt nicht auf ein solches allgemeines Princip zurückführen. Zu einer allgemeinen Erklärung reicht die Annahme späterer Naturphilosophen von einer gröfseren oder geringern Menge des in den Körpern vorhandenen und gebundenen Elementarfeuers gleichfalls nicht hin, wenn man hierunter die bekannte Wärme, nicht etwa ein gewisses unbekanntes Princip verstehen will, und eben so wenig der Conflict der einander entgegen wirkenden Dehnkraft und Ziehkraft, wie sich aus den folgenden Betrachtungen von selbst ergeben wird.

Zuvörderst sind Härte und Cohäsion keineswegs identisch, wie nach der zuletzt angegebenen Theorie folgen würde. Der Diamant ist der härteste unter allen Körpern, und dennoch lassen sich, ohne daß hierüber directe Versuche vorliegen, seine Blätter muthmaßlich leichter trennen, als die Theile des Stahls, welcher von ihm geritzt wird; Gufseisen ist härter als Schmiedeeisen bei geringerer Cohäsion, ein gleiches Verhältniß findet statt bei Zink und Kupfer, ja der härteste Stahl zeigt geringere Cohäsion, als der angelassene u. dgl. m. Die Härte ist ferner dem specifischen Gewichte, also der gröfsern Nähe der Atome keineswegs proportional, wie schon aus der Vergleichung von Quecksilber und Blei mit Eisen und Kupfer genügend hervorgeht, ja sogar ein Stahlstab wird nach FORTIN<sup>1</sup> länger, wenn man ihn härtet, und also specifisch leichter; aber eben so wenig findet ein umgekehrtes Verhältniß statt, denn Zinn z. B. ist leichter als Kupfer und auch weicher, wie auf gleiche Weise das Kalium u. s. w. Eben so wenig ist Härte der specifischen Wärmecapacität direct proportional, wie schon aus der Vergleichung von Wasser und allen Metallen, noch ist sie derselben umgekehrt proportional, wie aus der des Eisens und Bleies folgt. Endlich findet ein solches constantes Verhältniß auch rücksichtlich der Schmelzbarkeit nicht statt, denn Blei und Platin sind beide weicher als Eisen, und davon ist das erste weit leichter, das zweite schwerer schmelzbar als das letzte. Wollte man sich die Mühe geben, auf gleiche Weise das elektrische Ver-

<sup>1</sup> S. G. G. Schmidt Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Giefs. 1826. S. 34.

halten der verschiedenen Körper, ihren Glanz, ihre Verwandtschaft zum Sauerstoff u. s. w. zu betrachten, so würde man nur noch um so gewisser zu der Ueberzeugung gelangen, daß die Härte mit keiner dieser übrigen Qualitäten in einem nothwendigen Zusammenhange steht; und daher auch daraus nicht erklärt werden kann. In einigen Fällen ist die gröfsere Härte allerdings eine Folge der einen oder der andern zu den Körpern hinzukommenden Substanz, allein, daß sie allgemein durch irgend einen bestimmten Stoff erzeugt werden sollte, wie etwa nach früherer Vorstellung durch das Phlogiston, daran wird jetzt niemand ernstlich denken, und außerdem werden auch die nämlichen Körper ohne das Hinzukommen eines solchen unbekanntes Etwas bald mehr bald minder hart, z. B. durch Hämmern oder Ablöschen, im letzteren Falle auch dann, wenn sie mit einem Cement dicht umgeben und gegen den Zutritt eines Körpers von Außen gesichert sind.

In Allgemeinen läßt sich daher nur so viel bestimmt angeben. Größere Härte ist wohl in allen Fällen mit größerer Sprödigkeit verbunden, ohne daß eine Raumverminderung diese begleitet, und daher von dieser Seite betrachtet, eine gröfsere Annäherung der Theile anzunehmen ist. Von der andern Seite aber hebt die vermehrte Wärme die Härte in der Regel auf, und macht die meisten Körper mit Vermehrung ihres Volumens nicht bloß weich, sondern selbst flüssig, so daß also eine gewisse Nähe der Theile nothwendige Bedingung der Härte wie der Cohäsion seyn muß, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß viele Körper durch Hämmern, Pressen und Zusammendrücken härter werden. Nimmt man hinzu, daß einige Körper, namentlich Glas, Eisen, Stahl, u. s. w. durch plötzliches Abkühlen bedeutend härter und spröder werden, dann aber zugleich eine eigenthümliche Anordnung ihrer Theile zeigen, welches beides durch abermaliges Erhitzen und allmähliges Erkalten wieder aufgehoben wird, so müssen wir nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen annehmen, daß die Härte ihrem Wesen nach mit der Cohäsion zusammenfällt, und sich also auf eine innigere Berührung der Elemente zurückführen läßt, zugleich aber durch die gleichzeitig entstehende Sprödigkeit limitirt wird, vermöge welcher die in einer gewissen Lage vereinigten Theile keine Verrückung zulassen, ohne getrennt zu werden. Es lassen sich sonach auch diese Erscheinungen füglich mit der Cor-

pusculartheorie vereinigen, und kann hiergegen kein Einwurf daraus hergenommen werden, daß einige Metalle, namentlich das zur Verfertigung des *Gong-Gong* dienende<sup>1</sup>, wie überhaupt das Kupfer und die Mischungen desselben, durch plötzliches Abkühlen nicht härter werden, sondern vielmehr weicher als durch langsames Erkalten; denn es darf nicht vorausgesetzt werden, daß die erhitzten Körper in diesem Zustande größerer Ausdehnung gerade eine solche Lage ihrer Theile annehmen, aus welcher durch plötzliches Festwerden eine überwiegende Stärke des Zusammenhanges hervorgehen müßte, vielmehr kann unter Umständen gerade das Gegentheil statt finden. Diese immerhin noch mangelhafte Erklärung muß also bis dahin genügen, daß es uns vielleicht gelingt, tiefer in die Kenntniß des eigentlichen Wesens der Materie einzudringen.

M.

## H a g e l.

Steine, Kiese, Schlofsen; *Grando*; Grêle, glaçons; *Hail*, *Hailstones*; nennt man die Eiskörper, welche sehr häufig statt des Regens ungleich an Größe und Menge vom Himmel herabfallen, wobei man dann zu sagen pflegt: es *hagelt*, *schlofset*, *kieset* und auch wohl es *steinet*. Das ganze oft sehr großartige, mitunter ungläublich verheerende, allezeit mit Furcht erfüllende Phänomen des Hagelns muß zwar aus dem Standpuncte des Physikers betrachtet, sehr interessant seyn, bietet aber zugleich der Schwierigkeiten noch viele dar, und ist bis jetzt keineswegs vollständig erklärt. Zur deutlichen Uebersicht werde ich daher zuerst das Geschichtliche zusammenstellen und dann die Erklärung nachfolgen lassen.

### A. Beschaffenheit des Hagels.

1. Eine kenntlich verschiedene Species des Hagels bilden die sogenannten Graupeln (*grando minutissima*; grésil), der Regel nach vollkommen runde, nur selten durch einzelne Hervorragungen von der runden Gestalt abweichende Körner von

---

1 S. Art. *Gong-Gong*.

der Gröfse eines Hirsekornes (0,3 Lin. Durchmesser) bis zu der einer starken Erbse (2 bis 2,5 Lin. Durchmesser). Sie sind allezeit undurchsichtig, mehr oder minder der Weifse des Schnees sich nähernd, und in den kleinsten Körnern sie erreichend; die gröfsten dagegen nähern sich der Beschaffenheit des Hagels, indem sie einen dünnen Ueberzug von Eis annehmen. Sie scheinen im Ganzen aus einer Menge kleiner Eisnadeln oder aus feinen Schneetheilchen zusammengefügt zu seyn, und zeigen sich daher ungleich hart, indem einige Körner leicht zerreiblich sind, andere dagegen die Härte des Eises fast erreichen. Die kleinsten Körper sind am genauesten kugelförmig, die gröfsern weichen am meisten von dieser Gestalt ab.

2. Der eigentliche Hagel besteht aus verschiedenen gestalteten meistens rundlichen oder noch mehr paraboloidischen<sup>1</sup> Körpern von der Gröfse einer kleinen Erbse bis einer welschen Nuß, welche in der Mitte einen den Graupeln ähnlichen Kern von 0,5 bis 1 oder gar 2 Lin. Durchmesser haben<sup>2</sup>, nach Ausen aber durchsichtiges in der Regel wenig blasiges, häufig opakes, fast milchig scheinendes Eis als zusammenhängende Masse, nur selten als concentrische Kringe. Vollkommen rund werden die Hagelkörner selten gefunden, sondern sie haben meistens hier und da Hervorragungen, Eindrücke, zuweilen Blasen u. s. w.<sup>3</sup>, auch folgt dieses schon daraus, weil man sie im Fallen nicht füglich auffangen kann, auf dem Boden oder in der Hand aber sogleich eine partielle Schmelzung derselben eintritt. VOLTA<sup>4</sup> meint, die Hagelkörner seyen niemals rund, sondern zuweilen zusammengedrückt sphäroidisch, zuweilen an einer Seite coupirt und halbkugelartig, zuweilen linsenförmig und mit Facetten, seltener mit Erhabenheiten als Folgen der Vereinigung mehrerer Körner, am häufigsten mit Zusammendrückungen und Vertiefungen durch das Aneinanderstossen, durch partielle Schmelzungen oder Vereinigung mit Regentropfen während ihres Falles. Ich selbst habe aufser mehreren kleinern drei große und darunter eins der furchtbarsten Hagelwetter erlebt, die in den Annalen der Meteorologie vorkommen, habe dann gleich unter-

1 S. Encyclop. Method. Part. Phys. III, 403.

2 SAUSSÛRE Voy. §. 2075.

3 MUSSCHENBROEK Int. II. 117. §. 2394.

4 Journ. de Phys. LXIX. 286. 333.

sucht, und gefunden, daß in allen unversehrten Körnern der weisse Kern vorhanden war, indem ich diejenigen, worin dieser sich als Seltenheit nicht fand für zerschlagene und durch Schmelzung abgerundete Eisstücke zu halten geneigt bin. Die gewöhnlichste Form scheint mir die kugelrunde, denn diese hatten alle die anfänglich fallenden kleineren, und die von mir gleich im Fallen genau beobachteten, z. B. diejenigen, welche durch die zerschlagenen Scheiben der Fenster in die Zimmer flo- gen; indess giebt es der Ursachen so viele, welche eine Abwei- chung von dieser Gestalt erzeugen können, z. B. das Schlagen gegen einander und gegen harte Körper, partielles Wegschmel- zen u. s. w. daß bei weitem die Mehrzahl nicht völlig kugelrund ist. Eben so scheint mir der grösste Durchmesser eines reinen Hagelkorns in mittleren Breiten nicht über 1,5 bis höchstens 1,75 Par. Zoll zu gehen, obgleich es bei weitem grössere giebt, welche aber zwei, drei und mehrere Kerne haben, und also als zusammengesetzte anzusehen sind, bei denen eben diese Zusam- mensetzung meistens auch die äussere Gestalt bedingt. MUS- SCHENBROEK, VOLTA u. a. sind gleichfalls der Meinung, daß die grössern Hagelkörner durch Vereinigung gebildet werden, und DELCROS<sup>1</sup> hält die runde Gestalt und die Anwesenheit ei- nes weislichen Kernes nach einer Menge von Beobachtungen für dasjenige, was die Erfahrung in den meisten Fällen als Re- gel darbietet. Unter die sehr seltenen Ausnahmen gehört das Fallen kleiner runder Körner durchsichtigen Eises, welche oh- ne Zweifel aus gefrorenen Regentropfen entstanden sind<sup>2</sup>.

3. Beispiele von grösserem und ungewöhnlich grossen Ha- gelkörnern gehören nicht eben unter die Seltenheiten, wenn gleich nur einige wenige Fälle das ganz ungewöhnliche nach- weisen. Schon MUSSCHENBROEK<sup>3</sup> zählt eine Menge Beispiele dieser Art auf und erwähnt zugleich, daß die älteren Physiker geglaubt hätten, die Hagelwolken beständen aus massivem Eise welches zerbräche und daher in so grosser Menge herabstürzte. Nach DECHALES soll 1470 zu Rom Hagel von der Grösse eines Casuar-Eies gefallen seyn. Auf der Flandrischen Insel Ryffel fiel 1686 im Mai Hagel, dessen meiste Körner die Grösse eines

1 Bibl. univ. XIII. 154.

2 ARAGO in Annuaire présenté au Roi. Pour l'an 1828.

3 Introd. II. 1017. §. 1495.

Taubeneies hatten, allein es wurden auch einige von 0,5 und sogar von 1  $\mathcal{Q}$  schwer gefunden<sup>1</sup>. Nach HALLEY fiel am 29. April 1697 zu Flintshire Hagel von 5 Unzen Gewicht, und ROB. TAYLOR beobachtete am 4. May desselben Jahres in Hartfordshire Hagelkörner, deren Umfang 14 engl. Zoll betrug<sup>2</sup>. Sehr bekannt durch die Beschreibung von PARENT<sup>3</sup> ist das große Hagelwetter geworden, welches 1702 am 15. Mai die Gegend um Iliers verwüstete. Die kleinsten Körner waren zwei Daumen dick, die mittleren wie Hühnereier, die größten wie eine geballte Faust, und wogen  $\frac{3}{4}$   $\mathcal{Q}$ ., welche letztere Angabe indess schwerlich als ganz genau betrachtet werden kann, insofern die genannte Größe das angegebene Gewicht nicht erreicht. Im Jahre 1724 sollen bei Monte-Rotondo Hagelkörner über 1  $\mathcal{Q}$  schwer gefallen seyn<sup>4</sup>, MUSSCHENBROEK<sup>5</sup> beobachtete selbst zu Utrecht 1736 ein starkes Hagelwetter, wobei die meisten Körner die Größe eines Taubeneies hatten, einige aber, aus mehreren zusammengesetzt, die Größe eines Hühnereies erreichten. Am 11. Juli 1753 sammelte MONTIGNOT zu Toul polyedrische Hagelstücke von drei Zoll Durchmesser<sup>6</sup>. Unter dem Hagel, welcher 1787 am Comersee fiel, befanden sich Stücke von 9 Unzen an Gewicht. LAMPADIUS<sup>7</sup> fand bei dem schrecklichen Hagelwetter in Beverungen im J. 1792 noch nach 14 Tagen in den Kellern zusammengeflossene Haufen Hagel, und darunter Stücke von 13 Loth schwer, NÖGGERATH<sup>8</sup> aber 1822 am 7. Mai, als ein furchtbares Gewitter die Gegend um Bonn verwüstete, Hagelkörner von 2; 3; 4; bis 12 Loth an Gewicht. In demselben Jahre waren viele verheerende Hagelwetter, namentlich am 9. Juni in Trient, wobei nach öffentlichen Blättern Hagelkörner von der Größe eines italienischen Brodes 8 bis 16 Unzen

1 Phil. Trans. N. 203. p. 858.

2 ARAGO in Annuaire pour 1829.

3 Hist. de l'Ac. 1703. p. 19.

4 Allgem. Zeit. 1817. Juli.

5 A. a. O.

6 ARAGO a. a. O.

7 Hannöv. Magaz. 1792. St. 93.

8 Schweigg. J. N. F. VIII, 84. Abbildung des Hagels und Beschreibung des Hagelwetters von demselben findet man in Hesperus u. s. w. 1823, N. 167 und 168, entlehnt aus Nova acta Acad. Car. Leop. nat. eur. T. II. S. 560.

schwer die Dachziegel zerschmetterten. Im Jahre 1802 fiel bei Annaberg Hagel, wovon einzelne Stücke ein Pfund wogen, und bei Buck im Posener Departement von der Gröfse einer geballten Mannsfaust<sup>1</sup>. Ich selbst im Jahre 1801 in Hannover Hagelkörner von 8 Loth Gewicht in Menge gewogen, allein keins von 16 Loth Gewicht; in Herrenhausen aber fand man in der Dammerde des botanischen Gartens am andern Tage Eindrücke wie durch die Unterschale einer mittlern Caffetasse gemacht, welche auf Hagelkörner von mehr als 1  $\frac{1}{2}$  Gewicht deuteten<sup>2</sup>.

Bei einem furchtbaren Hagelwetter auf der Orkadischen Insel Stronsa im Jahre 1818 fielen Körner von der Gröfse eines Gänseeies, welche sogar die hölzernen Fensterrahmen zerschlugen, auch eigentliche Stücke Eis von allerlei Gestalten, meistens zwar rund, viele mit Spitzen und so scharfen Kanten, dafs man nicht darüber hingehen konnte, ohne sich die Füfse zu verletzen. Die gröfseren wurden auf  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$  geschätzt, und einige waren bis 4 Zoll tief in das Ackerland gedrungen<sup>3</sup>. Nicht minder merkwürdig war ein Hagelwetter, welches einen Theil der englischen Armee auf einem Marsche in der Gegend von St. Sebastian bei Roncevalles 1813 überraschte. Der Hagel fiel mit Sturm ganz ohne Blitz und Donner, und die Körner nahmen nach STEWART'S<sup>4</sup> Erzählung zu von der Gröfse einer Bohne bis zu der eines Hühnereies. Sie bestanden aus meist durchsichtigem Eise, waren im Allgemeinen rund und hatten Eiszapfen von der Länge und Dicke, wie die Zacken einer gemeinen silbernen Gabel. STEWART vermuthet hieraus, dafs sie ursprünglich die doppelte Dicke halten, so dafs die Zacken beim Schmelzen stehen geblieben wären, was schwer zu glauben ist.

4. Die hier angegebenen Beispiele liefsen sich noch um verschiedene vermehren; allein aufser diesen giebt es einige mehr oder minder genau bewahrheitete Erzählungen von Hagelstücken, deren Form und Gröfse Bewunderung erregen mufs. MORTON<sup>5</sup> erzählt, dafs in Northampton im Jahre 1693 ebene

1 G. XVI. 75.

2 S. Blumhof's Beschreibung in Voigt's Mag. III. 363.

3 Transact of the Royal Soc. of Edinburgh. IX. 187. daraus kürzer in Edinb. Phil. Journ. N. VIII. 365. Noch kürzer bei G. LXVIII. 316.

4 Edinb. Phil. Journ. Nro. XVII. 194.

5 Natural history of Northampton. Chapt. 5. p. 341.

Eisstücke von 2 Z. Länge und 1 Z. Dicke gefallen sind, und Kugeln von 1 Z. Durchmesser mit 5 hervorragenden Spitzen; in Herforden in England aber soll 1697 Hagel von 9 Z. Umfang<sup>1</sup> und bei Krems 1719 von 6 ℔ Gewicht gefallen seyn<sup>2</sup>. Einzelne Eisklumpen, welche 1717 bei Namür herabfielen, sollen 8 ℔ gewogen haben, und 1767 bei Potsdam die Gröfse eines Kürbisses gehabt haben, wodurch ein Ochse getödtet und einem Bauer ein Arm abgeschlagen wurde<sup>3</sup>. CROOKSHANK berichtet von einem Gewitter, welches er in Nordamerica erlebte, wobei Hagelkörner von 13 bis 15 Z. Umfang herabfielen, aber aus mehreren kleineren zusammengebacken waren. Im Jahre 1739 fiel bei Würzburg Hagel von 3 ℔ Gewicht<sup>4</sup>, im folgenden fielen in Frankreich Eisstücke 2 Z. lang, 1 Z. breit und 0,5 Z. dick<sup>5</sup>; nach VALLACE in seiner Beschreibung der Orkadischen Inseln fielen daselbst 1680 bei einem heftigen Gewitter Eisstücke von 1 Fuß Dicke<sup>6</sup>, POSE D'ANTIC sah am 13. Juli 1786 genau oktaëdrische Hagelkörner<sup>7</sup>, TESSIER<sup>8</sup> beobachtete selbst das außerordentlich grofse Hagelwetter von 1788, fand einige Hagelkörner von gewöhnlicher runder Form fast 3 Z. im Durchmesser haltend, und erhielt die genauesten Nachrichten von andern, welche ungewöhnlich gestaltet waren. Dahin gehören die halbkugelförmigen, die mit Hervorragungen wie mit Spitzen versehenen, andere von fast oktaëdrischer Gestalt, noch andere lang und dick wie Eisstücke, und endlich solche, welche ästige Stalaktiten vorstellten, in denen an der dicksten Stelle sich ein weißer Kern befand. Nach genauen Nachrichten wurden einzelne Hagelkörner von 2 Zoll 9 Lin Länge und 2 Z Dicke, und sogar eins von 4 Zoll 9 Linien Länge und 2 Zoll Dicke gefunden, und dennoch wog dieses noch kein halbes Pfund. TESSIER bemerkt mit Recht, dafs sich nach diesen genauen Bestimmungen die übertriebenen Angaben würdigen lassen, welche

- 
- 1 Phil. Trans. N. 229. p. 579.
  - 2 Breslauer Saml. 1720.
  - 3 Allgem. Zeit. 1817.
  - 4 Musschenbroeck, a. a. O.
  - 5 Hist de l'Ac. 1741. p. 218.
  - 6 Encyclop. meth. Part. Phys. III. 403.
  - 7 Journ. de Phys. 1788. Juli.
  - 8 Mém. de l'Ac. 1790. 263.

man anderwärts namentlich bei RICHARD<sup>1</sup> findet. Wenn ferner ADANSON angiebt, daß er bei dem Hagelwetter zu Paris am 7. Juli 1769 Hagelkörner von der Form eines Meniscus gefunden habe<sup>2</sup>, so läßt sich füglich annehmen, daß dieses Bruchstücke zerschlagener Hagelkörner waren, welche sich nach Art concentrischer Kugelschichten abgelöset hatten. Endlich erzählt auch PERON<sup>3</sup> merkwürdige Sachen von der Beschaffenheit des Hagels auf Neuholland. Er selbst erlebte dort ein furchtbares Hagelwetter, welches aber nicht sowohl durch die Größe der Eismassen, als vielmehr durch ihre Menge und Form sich auszeichnete. Statt rundlicher Hagelkörner fielen nämlich prismatische Eisstücke, wovon die größten eine Unze wogen, und bei 29 Lin. Länge 17 Lin. Breite und 8 Lin. Dicke hatten. Für die Engländer, setzt PERON hinzu, war diese Erscheinung nicht auffallend, denn sie hatten sie schon oft beobachtet, am ausgezeichnetsten aber im December 1795, indem gleichfalls statt gewöhnlichen Hagels Eisstücke herabfielen, wovon die größten 6 bis 8 Z. lang und wenigstens zwei Finger dick waren. Die abentheuerlichste Erzählung, falls wir annehmen wollen, daß das Factum wirklich so erfolgt sey, wie es erzählt wird, hat GILBERT aus nicht genannten öffentlichen Nachrichten entlehnt<sup>4</sup>, und es ist seitdem schon manche physikalische Hypothese dadurch unterstützt oder darauf gebauet. Es heißt nämlich: Am 28. Mai 1802 fiel in Ungarn bei dem Dorfe Putzemischel während eines Gewitters und Hagelwetters ein viereckiger Eisklumpen aus der Luft, 3 F. lang, 3 F. breit und 2 F. dick. Acht Männer vermochten nicht ihn aufzuheben; man schätzte ihn auf 11 Centner, und nach drei Tagen fand man noch Ueberbleibsel davon. Nicht weit davon

1 Hist. nat. de l'air et des météores. A Paris 1770. VII Vol. kl. 8. deutsch. Frankf. 1773. 8. BOUQUET hat in seiner Collection des historiens de France aus EGINHARD, HERMANNUS CONTR. und der Chronik von Rheims die Nachricht von dem großen Hagelklumpen aufgenommen, welcher 823 den 24. Juni gefallen seyn soll, nämlich 15 F. lang, 11 F. breit und 6 Fufs dick. Auch bei dem starken Hagelwetter in Frankreich im Jahre 1593 sollen Hagelkörner von 10 und 12 Pfund an Gewicht gefallen seyn. Solchen Angaben fehlt die genaue Kritik. Vergl. Wiener Conversat. Blatt 1821 N. 59. S. 704. daraus G. LXXII. 485.

2 Arago in Annuaire pour l'an 1829.

3 Reisen d. Ueb. I. 347.

4 Ann. XVI. 75.

lag noch ein zweiter Hagelklumpen von der Größe eines guten Reise-Koffers<sup>1</sup>. Es wird indess nicht leicht jemand darüber in Zweifel seyn, daß alle jene monströs großen Hagelklumpen aus mehreren zusammengefrorenen bestehen, wofür auch die Erfahrung entscheidet, daß man in den größeren zwei oder mehrere weißliche Kerne findet, und wenn kein glaubwürdiger Zeuge bestimmt versichert, daß er den zuletzt genannten ungeheuern Klumpen wirklich herabfallen gesehen habe, wie an sich überhaupt kaum glaublich ist, so muß man als das bei weitem Wahrscheinlichere annehmen, daß derselbe erst auf der Erde durch Zusammenfrieren einer großen Menge einzelner Körner gebildet sey. Vergleicht man übrigens diese Erzählung mit einer andern, welche historisch sehr gut begründet ist, so verliert sie viel von ihrer auffallenden Unglaublichkeit. LEOPÖLD V. BUCH entnahm nämlich aus guter Quelle<sup>2</sup>, daß während der heißen Jahreszeit im April und Mai in Mysore häufig großer Hagel fällt. In der letzten Zeit der Regierung TIRROO SAHEB's aber fiel nahe bei Seringapatam eine Hagelmasse von der Größe eines Elefanten, wovon die zur Untersuchung hingesandten Officiere des Sultans berichteten, daß sie bei der Berührung die Empfindung des Brennens erzeuge, eine sehr natürliche Aeußerung solcher Menschen, welche an die Empfindung der Kälte nicht gewöhnt sind. Die Eismasse lag zwei Tage, ehe sie geschmolzen wurde.

5. Alle Hagelkörner, welche ich in großer Menge bei mehreren Gelegenheiten zerschlagen habe, große sowohl als auch kleine, verhielten sich genau wie gewöhnliches Eis, und anders kann es auch wohl der Natur der Sache nach nicht seyn. DELCROS<sup>3</sup> dagegen will gefunden haben, die Gestalt der Hagelkörner sey ein Kugelsector nach einem gleichseitigen sphärischen Dreieck ausgeschnitten. In Gemäßheit dieser Thatsache glaubt er, der Hagel bilde sehr große Kugeln mit einem weißlichen Kern im Centro, umgeben von einer undurchsichtigen

---

1 GILBERT forderte die Naturforscher in Ungarn auf, über dieses Phänomen nähere Erkundigung einzuziehen, indess wäre es vorläufig nothwendig gewesen, die benützte Quelle zavor anzugeben, eine bei seltenen Erscheinungen nothwendige Bedingung.

2 HEYNE's Tracts historical and statistical on India p. 20. mitgetheilt bei G. LXXVI. 342.

3 Biblioth. univ. XIII. 154. Daraus G. LXVIII 323.

Kugel, welche nach Außen von einer in Zacken auslaufenden Hülle mit ausgefüllten Zwischenräumen umgeben sey. Diese furchtbaren Kugeln sollen dann durch eine Explosion zerplatzen, so daß nur ihre Bruchstücke als die genannten sphärischen Pyramiden auf die Erde fielen. Indefs sah er die nicht zerplatzten Kugeln bei einem Hagelwetter zu la Braconnière im Dep. Mayenne, welche die zähen Dachschiefer zerschlugen und schreckliche Verheerungen anrichteten. — Da das Eis leicht in dreikantigen Pyramiden gebildet wird<sup>1</sup>, so hat es nichts Widersprechendes, auch die Bildung solcher Pyramiden im Hagel anzunehmen; an eine Explosion aber, welche eine Zerstückelung dieser Kugeln und das Herabfallen der genannten Bruchstücke zur Folge hätte, ist nach meiner Ansicht der Sache auf keine Weise zu denken. Uebrigens versichert auch R. LINDSAY<sup>2</sup> am 27. Juni 1823 solche Hagelkörner gesehen zu haben, welche eine undurchsichtige vierseitige oder dreiseitige Pyramide mit einer gewölbten Basis bildeten, und wobei letztere durchsichtig war. Keine Linie daran war länger als 0,5 Z., und auch er ist der Meinung, daß sie durch Zerplatzen größerer Kugeln entstanden seyen.

6. Als eine seltene Ausnahme von der Regel ist es anzusehen, wenn in einzelnen Fällen die Hagelkörner heterogene Substanzen einschließen, indefs sind einige Beispiele dieser Art so verificirt, daß die Thatsachen an sich keinem Zweifel unterliegen. SCHEUCHZER<sup>3</sup>, FROMONDUS<sup>4</sup> und MATERNUS VON CILANO<sup>5</sup> erwähnen ältere Beobachtungen, wonach man im Kerne der Hagelkörner kleine Stückchen Spreu und andere leichte Körper gefunden hat. Man wollte dieses als einen Beweis gegen die Hypothese ansehen, daß der Hagel in sehr hohen Regionen der Luft gebildet werde, allein mir scheint die Höhe, bis zu welcher leichte Körper durch die den Hagelwettern so oft vorausgehenden Wirbelwinde gehoben werden, ganz unbestimmbar, und ich wundere mich vielmehr, daß es aus neueren Zeiten keine bekannter gewordenen ähnliche Beobachtungen giebt.

1 S. *Eis*, Th. III. S. 111.

2 Edinb. Phil. Journ. N. XXII. 327.

3 Breslauische Sammlungen. IX. 90.

4 *Meteorologicorum* L. V. cap. 8. p. 342.

5 Hamb. Mag. XVII. 1.

Oefter sind dagegen unorganische Substanzen im Kerne der Hagelkörner gefunden. Bei dem erwähnten großen Hagelwetter in Flandern z. B. enthielten einige Hagelstücke eine dunkelbraune Substanz<sup>1</sup>. Im Jahre 1755 beim Toben des Katlegiaa fiel Hagel, wovon jedes Korn einen Theil Sand oder vulcanische Asche einschloß<sup>2</sup>, und im Jahre 1721 fiel in Irland Hagel mit einem eingeschlossenen metallischen Kerne<sup>3</sup>. In diesen und ähnlichen Fällen scheint die Substanz ohne Zweifel vulcanischen Ursprungs gewesen zu seyn, da ohnehin die Ausbrüche der Vulcanen auf Island sehr häufig von Hagel begleitet zu seyn pflegen. Räthselhafter sind die Oktaëder von etwa 3 Lin. Seite und fast 1 Lin. Höhe, welche nach EVERSMANN in den am 15. Aug. 1824 zu Sterlitamansk im Orenburgschen Departement gefallenen Hagelkörnern eingeschlossen waren<sup>4</sup>, den goldhaltigen Schwefelkieswürfeln von Beresowsky glichen, und für Meteorsteine gehalten wurden. Weniger gewiß, und daher auch minder leicht erklärbar, ist die Nachricht, welche QUATREMERÉ<sup>5</sup> aus MACRIZI mittheilt, wonach im Jahre 723 der Hedschra, oder nach GILBERT am 9. Jan. 1323 in der Provinz Mortahia und Dakhaliah Hagel von etwa 1 Pf. schwer und zugleich Steine von 7 bis 30 Pf. gefallen seyn, und viele Ortschaften zerstört, auch eine Menge Rindvieh und Schafe erschlagen haben sollen.

## B. Bildung und Herabfallen des Hagels.

7. Die kleinern Arten der Hagels die sogenannten *Graupeln*, gehören hauptsächlich dem Frühlinge an. Sobald nämlich nach dem Wegschmelzen des Winterschnees, dieses geschehe früh oder spät, und der Wiederkehr einer mildern Frühlingstemperatur die Wärme steigt, und die Feuchtigkeit nebst der

1 Phil. Trans. Nro. 203. p. 858.

2 Reise nach Island auf Befehl Sr. Dän. Majestät. A. d. Fr. von GAUTHIER DE LA PEYRONIE IV. 266.

3 Bibl. univ. 1821. Spt. G. LXXII. 436. WOLLASTON wollte kein Eisen in der Substanz finden, PICTER erkannte sie deutlich für Schwefelkies, GILBERT bezweifelt die ganze Sache, jedoch gewiß mit Unrecht.

4 G. LXXVI. 340.

5 Ebend. L. 299.

Elektricität der Atmosphäre zunimmt, erfolgen entweder wirkliche Gewitter oder oftmals wiederkehrende Regenschauer, welche mit Ausnahme der fehlenden Blitze sich ganz wie Gewitter verhalten. In Deutschland fällt ihre Periode gewöhnlich in den Monat April, sie kehren zuweilen jeden Tag wieder, und können mit kurzen Unterbrechungen eine und mehrere Wochen anhalten, so daß hiernach bei häufigem Wechsel von kurz dauernden Regenschauern mit Kälte verbunden und mildem Sonnenscheine der eigenthümliche Name des Aprilwetters zur Bezeichnung des Ganzen üblich geworden ist. Diese Witterungsdisposition fällt indess zuweilen auch in den Mai, und kann sich ausnahmsweise im nördlichen Deutschlande bis in den Juni erstrecken, ist aber jedesmal daran kenntlich, daß bei ziemlich milder Temperatur bei jedem wiederkehrenden Gewitterschauer, selbst auch wenn die Wolken, ohne den allezeit nur partiellen und zuweilen auf kurze Strecken beschränkten Regen, mit Verdunkelung der Sonne vorübergehen, eine fühlbare und meistens unangenehme Kälte eintritt. Bei dieser Witterungsdisposition ist das Graupeln sehr häufig, und zwar so, daß entweder einzelne Körner zugleich mit dem Regen herabfallen, oder der atmosphärische Niederschlag beginnt mit einzelnen Regentropfen, dann folgen Graupeln in größerer oder geringerer Menge, und zuletzt wieder Regen. Ferner kann eine ähnliche Disposition der Witterung im Juni und, jedoch höchst selten, selbst im Juli statt finden, wenn an einer Gegend oder in deren Nähe ein starkes Gewitter, hauptsächlich von Hagel begleitet, vorgegangen ist, nie aber, wie ich glaube, im August oder September, und die Dauer der Wiederkehr solcher Schauer ist allezeit nur kurz. Endlich sind Graupeln in größerer oder geringerer Menge dem Schnee beigemischt, am meisten im Anfange und am Schlusse der eigentlichen Winterzeit, namentlich gegen das Ende desselben im Februar oder März, je nachdem die Breite der Oerter niedriger oder höher ist. Die auffallendsten Schauer dieser Art beginnen dann mit starker Dunkelheit, einem plötzlichen einzigen, meistens heftigen Donner, vielen Graupeln und endigen mit Schnee, welcher bei nachfolgender Kälte oft längere Zeit liegen bleibt.

8. Graupeln sind häufig auf hohen Bergen, wo nur selten oder niemals Hagel fällt, so daß letzterer namentlich in den

Tropengegenden, nach v. HUMBOLDT<sup>1</sup> bis zu einer Höhe von 1800 F. seltener seyn soll, als Meteorolithen in Europa. Dafs auf den höheren Alpengebirgen Graupeln häufig fallen, Hagel aber selten, haben schon SCHEUCHZER, BECCARIA und FROMONDUS beobachtet<sup>2</sup>. SAUSSÛRE aber fand aus einer langen Reihe von Beobachtungen, dafs dort 11 maliges Graupeln auf einmaliges Hageln gehört, auch findet man zwischen dem Schnee auf dem Col du Géant und selbst dem Montblanc häufige Graupelkörner<sup>3</sup>. Auf gleiche Weise scheint auch v. HUMBOLDT<sup>4</sup> Fälle von Graupeln in höhern Gegenden der Tropenländer nicht auszuschliessen, wie schon daraus wohl nothwendig folgt, dafs dort Schnee in so groszer Menge fällt.

9. Wenn schon das Graupeln unter die allgemeine Classe der Gewitterschauer gehört, so ist dieses noch ungleich mehr der Fall beim eigentlichen Hagel, und es können daher alle diejenigen Erscheinungen hier übergangen werden, welche das Gewitter betreffen<sup>5</sup>, insofern die Hagelwetter ganz eigentliche Gewitter, jedoch in der Regel von der furchtbarsten Art sind. Diejenigen Gewitter, welche Hagel bringen, gehören zu den dicksten, schwärzesten und am tiefsten herabgehenden, sie entstehen meistens nach vorausgegangenem heiterem, insbesondere windstillem Wetter und nach einer anhaltenden, über das Gewöhnliche hinausgehenden, drückenden, einen hohen Feuchtigkeitsgrad der Atmosphäre anzeigenden Wärme. In der Regel fällt das Barometer vor dem Hagelwetter stark, zuweilen noch während desselben, doch fängt es schon dann und in den meisten Fällen gleich nach der Beendigung desselben an zu steigen, die Temperatur nimmt schon bei seinem Beginnen ab, und sinkt zuweilen vom vorausgegangenen höchsten bis zum nachfolgenden tiefsten Thermometerstande um 25° C. In den ganzen Gewitterwolken bilden die Hagel führenden Theile meistens weifslich scheinende kenntliche Streifen, wenn gleich solche von den übrigen sehr dunkeln sich selbst in der Ferne auszeichnende Parthien nicht allezeit sicher auf Hagel schliessen

1 Reis. d. Ueb. II. 397.

2 MUSSCHENBROEK. Int. §. 2393.

3 DE SAUSSÛRE Voy. §. 2075.

4 Reis. deutsch. Ueb. III. 465.

5 S. Art. *Gewitter*. Th. IV. S. 1581.

lassen. Beträchtlich nahe und schwere Hagelwolken kündigen sich durch ein eigenthümliches Brausen an, welches anfänglich einem entfernten Sturme in höheren Gegenden ähnlich ist, in größerer Nähe aber in ein ganz eigentliches Geprassel ausartet, und zuletzt eine unverkennbare Folge des Auseinanderschlagens der Hagelkörner ist<sup>1</sup>. Nicht ganz selten bilden die Hagelwolken einen traubenartigen Schlauch, welcher sich im Fortgange tiefer herabsenkt und zuletzt fast die Erdoberfläche berührt, ehe er sich seiner Bürde entledigt.

10. Die vom Hagel getroffenen Strecken sind gewöhnlich schmal, und haben nach MUSSCHENBROEK<sup>2</sup> selten eine größere Breite als 100 bis 300 Ellen, welche Angabe indess wohl etwas zu geringe ist, da man 1000 bis 3000 F. als nicht unter die ganz seltenen Fälle bei größeren Hagelschauern rechnen kann. Bei dem großen Hagelwetter, welches 1788 in Frankreich unermesslichen Schaden anrichtete, liefen zwei Streifen von SW. nach NO. und liefen zwischen sich einen Raum, dessen größte Breite 7, die geringste 3 franz. Meilen betrug; die beiden Streifen selbst hatten, die eine 5 Lieues als größte, 3 als geringste Breite, die andere 3 und 1,5 Lieues. Inzwischen ist die Verwüstung nicht in der ganzen Breite der Hagelwolke gleich stark, sondern an den Grenzen fallen allezeit nur einzelne und kleinere Hagelkörner, die größten und zahlreichsten meistens in der Mitte. Nur äußerst selten erstreckt sich die Verheerung über einen an Länge und Breite wenig verschiedenen Raum, indem die Länge desselben in der Regel ein sehr Vielfaches der Breite ist. Schon MUSSCHENBROEK giebt die Länge der von den Hagelwolken durchlaufenen Räume auf eine bis zwei Meilen an, allein wenn diese Angabe gleich für einzelne Fälle zu groß ist, so ist sie dagegen für andere beträchtlich zu klein. Das große Hagelwetter in Hannover durchlief in der Richtung von NW. nach SO. von Hannover bis Wolfenbüttel eine Strecke von 7 Meilen, und bei dem eben genannten von 1788 blieben die beiden Streifen auf eine Strecke von mindestens 100 Lieues getrennt, die ganze Längenausdehnung konnten die Berichterstatter indess nicht mit Gewißheit ausmitteln<sup>3</sup>. Nicht völlig

1 Davon reden schon die Alten, z. B. Lucr. de rer. nat. Lib. VI. v. 155.

2 Introd. §. 2395.

3 Mém. de l'Acad. 1790. p. 266.

eine gleiche Ausdehnung hatte das Hagelwetter, welches 1186 bei Artois am heftigsten war<sup>1</sup>, noch auch ein anderes im Jahre 1360, wodurch die damals unter dem Könige EDUARD bei Breigny campirende englische Armee bedeutenden Schaden erlitt<sup>2</sup>, mehr dagegen ein drittes, vom 10. Juni 1593, dessen Verheerungen unter andern die Gegenden von Tours, Pontoise, Senlis, Meaux, Crépy, Soissons, Amiens und Abbeville traf<sup>3</sup>. Unter den aus der neueren geschichtlichen Zeit genau bekannten bleibt das von 1788 rücksichtlich der Ausdehnung das größte.

11. So wie einzelne Jahre sich durch häufige und sämmtlich meistens den nämlichen Zug befolgende Gewitter auszeichnen, so ist dieses auch der Fall bei den Hagelschauern, jedoch mit dem Unterschiede, daß die nämlichen Orte wohl nie mehrmals in einem Jahre vom Hagel verheert werden; im Allgemeinen sind dann die wärmsten und fruchtbarsten Jahre auch die gefährlichsten in Rücksicht auf möglichen Hagelschaden. Des Beispiels wegen mögen nur folgende ohne eigentliche Absicht des Sammelns aus öffentlichen Blättern entlehnte Fälle angeführt werden. Im Jahre 1822 war am 7ten Mai das furchtbare Hagelwetter in Bonn; am 8ten Mai geringer Hagel in Heidelberg; am 9ten Juni ein furchtbarer in Trient, wobei ein sechzehnjähriges Mädchen auf dem Felde so heftige Contusionen erhielt, daß es am dritten Tage davon starb; am 16ten Juni heftigster Sturm mit wenigem Hagel in Darmstadt, Sinsheim u. s. w.; am 23sten Juni Sturm mit Hagel bei Straßburg von solcher Heftigkeit, daß unter andern mehrere Schornsteine herabfielen, und eine Lage Bretter wie Kartenblätter in die Höhe gehoben und umhergestreuet wurde; am 24sten Juni richtete ein fürchterliches Hagelwetter bei Venedig große Verwüstungen an, zerschlug viele Fenster, Früchte und Wein, auch Pferde, welche nicht schnell genug untergebracht werden konnten; am 25sten Juli verwüstete ein starker Hagelschlag viele Felder in der Wetterau; am 1sten September war ein starker Wolkenbruch im Ottowalder Grunde in Sachsen; am 21sten Sept. desgleichen bei Marseille; und so dauerte es selbst bis in den October, in-

1 Accetarium Aquinetinum ad chronica Sigeberti et Anselmi Gemblacensium; ed. Auberti Miraei. 1608. 4.

2 VILLARET. II. 132. edit. de Cologne. 1719.

3 Ebend. Vergl. Mém. de l'Acad. 1790. p. 281.

dem am 14ten dieses Monats ein Ungewitter mit Hagel in Venedig und am 24sten in Genua große Verwüstungen anrichtete, die gewiss vielen von mir nicht beachteten Fälle ungerechnet.

12. Die nämlichen Gegenden werden zuweilen in aufeinanderfolgenden Jahren wiederkehrend durch Hagelschlag verwüstet, und dann eine geraume Zeit wieder verschont, welches zum Theil von denjenigen unbestimmbaren Witterungsdispositionen abhängen mag, welche uns eben deswegen als Zufälligkeiten erscheinen müssen, und es ist daher sehr räthlich, solche Phänomene nicht sogleich auf örtliche Bedingungen zurückzuführen, oder wohl gar angewandte Vorkehrungen als unfehlbare Gegenmittel zu betrachten. Mir ist unter andern ein Fall bekannt, daß ein noch lebender Physiker im Auftrag der Landesregierung hingesandt wurde, um die Ursachen der so oft wiederkehrenden Hagelschauer und ihre mögliche Abhülfe zu untersuchen. Bei dieser Gelegenheit machte sein Begleiter die Landleute glauben, der Mann sey gesandt, um die Gewitter zu bannen, und weil sie von der Zeit an wirklich ausblieben, so erhielt sich in jener Gegend lange der Glaube, daß die Bannung von Erfolg gewesen sey. SCHEUCHZER wollte aus den Beobachtungen in den Schweizergebirgen gefunden haben, daß Hagelwetter nie in Thäler eindringen, welche von der Ostseite durch Berge geschützt sind<sup>1</sup>, eine schwerlich haltbare Behauptung. Richtiger dürfte diejenige seyn, welche DE SAUSSÛRE<sup>2</sup> aufgestellt hat, daß in denjenigen Ebenen, welche in der Nähe sehr hoher Berge liegen, in einer gewissen Entfernung von diesen die Hagelschauer weit häufiger sind, als in größerer oder geringerer Entfernung, und daß es gewisse Gegenden giebt, welche nie oder sehr selten getroffen werden. Im Allgemeinen stimmt dieses mit den bestimmtesten Erfahrungen überein, und der Grund läßt sich zuweilen in örtlichen Bedingungen, z. B. der Nähe und Richtung von hohen Bergen und großen Flüssen nachweisen. Um indess über das Thatsächliche sicher zu seyn, dürfen die Beobachtungen nicht auf zu kurze Perioden beschränkt werden, weil sonst jene angegebene Periodicität zu unrichtigen Folgerungen verleiten kann. Uebrigens fällt diese Untersuchung mit der über das Erscheinen der Gewitter zusammen, indem die Hagelschauer

<sup>1</sup> MUSSCHENBROEK Int. §. 2397.

<sup>2</sup> Voyag. §. 972.

nur eine Species von diesen sind. Dafs es in den Tropenländern selten hagelt, ist oft behauptet, so furchtbar auch die Gewitter und Platzregen dort sind. THIBAUT DE CHANVELLON<sup>1</sup> behauptet, es habe in Martinique nur einmal im Jahre 1721 in der Ebene geschosset, und sey dieses Phänomen wegen seiner Seltenheit sehr aufgefallen, eine Behauptung, welche MOREAU DE JONNES<sup>2</sup> für übertrieben hält. Indefs erzählt v. HUMBOLDT<sup>3</sup>, es sey in Parama in der Mitte des vorigen Jahrhunderts Hagel gefallen, und dieses sey das einzige ihm bekannte Beispiel von Hagel in den Tropenländern in einer mit dem Meeresspiegel fast gleichen Ebene, weil dort in 300 Toisen Höhe kein Hagel falle. Der berühmte Gelehrte meint dann ferner, man müsse annehmen, dafs der überall in gleicher Höhe über der Meeresfläche gebildete Hagel bei seinem Herabfallen durch die unteren, etwa 300 Toisen dicken Luftschichten, deren mittlere Temperatur etwa 27°,5 und 24° C. ist, wieder geschmolzen werde. Dabei findet er es bei dem gegenwärtigen Zustande unserer meteorologischen Kenntnisse schwer zu erklären, warum in Philadelphia, in Rom, in Montpellier u. s. w. in den heißesten Monaten Hagel fällt, wenn die mittlere Temperatur 25° bis 26° C. beträgt, während diese Erscheinung in Cumana, in la Guyara und überhaupt in den Aequatorialgegenden nicht wahrgenommen wird. Da es in den vereinten Staaten, und in Europa unter etwa 40° bis 43° N.B. in den Ebenen im Sommer eben so heiß ist, als in den Tropenländern, die Abnahme der Wärme in zunehmender Höhe aber an allen diesen Orten kaum etwas verschieden sey, so müsse man das Schmelzen der Hagelkörner in den untern Regionen daraus erklären, dafs sie beim Entstehen in gemäßigten Zonen gröfser seyen, als in den äquatorischen, zugleich aber seyen wir noch zu wenig mit den Bedingungen bekannt, unter denen in gemäßigten Zonen das Wasser in den Wolken zu Hagel gefriere, um beurtheilen zu können, ob eben dieselben auch unter dem Aequator über den Ebenen vorhanden sind. Dafs auch in den Tropenländern in gröfseren Höhen Hagel fällt, meistens aber nur kleinerer, ist schon oben bemerkt, und v. HUMBOLDT stellt dieses

---

1 Voyage à la Martinique.

2 Sur le climat des Antilles. p. 49.

3 Reis. deutsche Ueb. III. 465.

auch nicht in Abrede, wie ich mehrmals gelesen zu haben mich erinnere; inzwischen werde ich bei der nachfolgenden Theorie des Hagels auf diese Thatsachen Rücksicht nehmen.

Die dem Hagel unterworfenen Erdzonen fangen hiernach also auf der nördlichen Halbkugel erst etwa mit dem 30sten Breitengrade an, und erstrecken sich vermuthlich nur bis zum 60sten. Ob diese letztere Grenze als sicher anzunehmen sey, wage ich nicht zu bestimmen, zweifle indess, daß das Hageln unter höheren Breiten als eine gewöhnliche Erscheinung zu betrachten sey, obgleich Graupelschauer, namentlich bei den in den Küstengegenden vorherrschenden Wintergewittern nicht selten sind. Außerdem machen die unverhältnißmäßig warmen Districte Norwegens und Island vielleicht eine Ausnahme, wie denn das oben erwähnte Hageln am letzteren Orte offenbar zunächst durch die vulcanischen Producte des Katlegiaa bedingt wurde. Auf der südlichen Halbkugel findet ohne Zweifel das nämliche Verhältniß statt. Endlich folgt schon aus demjenigen, was oben über die Graupelnbildung gesagt ist, daß eigentlicher Hagel nicht auf hohen Bergen fällt, und ich möchte eine Höhe von 5000 bis 6000 F. als diejenige annehmen, worauf das eigentliche Hageln beschränkt ist.

13. Die Hagelschauer sind an keine bestimmte Tageszeit gebunden, jedoch kommen sie häufiger Nachmittags als Vormittags, selten bei Nacht. MUSSCHENBROEK sagt bloß, es hagele häufiger bei Tage als bei Nacht, allein man kann mit Recht behaupten, daß das Letztere unter die großen Seltenheiten gehöre. Früher hat man sogar den Satz aufgestellt, es falle bei Nacht gar kein Hagel, und daraus schliessen wollen, der Einfluß des Lichtes sey zu seiner Bildung nothwendig; allein es ist gewiß, daß es in sehr seltenen Fällen auch bei Nacht hagelt, jedoch werden nur die größeren Hagelwetter öffentlich bekannt, und es ist begreiflich, daß gerade diese sich weniger bei Nacht ereignen, als bei Tage. Dennoch aber war das große Hagelwetter 1802 bei Buck im Posener Departement während der Nacht, wobei Hagelkörner von der Größe einer geballten Mannsfaust herabfielen<sup>1</sup>, und LICHTENBERG versichert, es seyen ihm verschiedene Beispiele von Hagelwettern bei Nacht berich-

1 G. XVI. 75.

tet worden <sup>1</sup>. Noch neuerdings bezeugt WÖLLNER <sup>2</sup>, daß er selbst das Fallen des Hagels während der Nacht beobachtet habe, und BELLANI <sup>3</sup> führt sogar drei ihm bekannte nächtliche Hagelwetter an, eins am Comersee um Mitternacht vom 27. bis 28. August 1778, das zweite ebendasselbst und um dieselbe Zeit vom 19. bis 20. August 1787, und das dritte bei Anbruch des Tages im Juli 1806, so daß sie in Italien häufiger als an andern Orten zu seyn scheinen. Unter die mit Gewißheit ausgemachten Thatsachen gehört aber das starke Hagelwetter in der Nacht vom 25sten zum 26sten Juli 1822, welches im nördlichen Deutschlande von Lommatsch bis in die Niederlausitz eine bedeutende Strecke verheerte. Nach den durch RASCHIG hierüber eingezogenen Nachrichten <sup>4</sup> war es in Meissen um 12 Uhr Nachts, und an einigen Orten, namentlich bei Cönnern und Königswartha so heftig, daß man die Früchte nicht mehr erkennen konnte, die auf den Aeckern gestanden hatten, und Hunderte von Staaren todt auf dem Felde fand. Endlich <sup>5</sup> ereignete sich auch das berühmte Hagelwetter, wodurch im Canton de Vaud die mit Hagelableitern so vollständig versehenen Weinberge gänzlich verheert wurden, in der Nacht vom 22sten auf den 23sten Juli 1826.

14. Die eigentlichen Hagelschauer, mit Ausschluß des Graupelns, gehören dem Sommer an, weil sie Begleiter der stärksten Gewitter sind, welche gleichfalls in mittlern Breiten nur selten oder fast gar nicht im Winter beobachtet werden. MUSSCHENBROEK rechnet jeden Graupelschauer mit unter das Hageln, und findet auf diese Weise, daß es im Winter öfter hagelt, als im Sommer, was aber mit der sonst allgemein herrschenden Ansicht im Widerspruch steht. Wenn man dagegen zugiebt, daß die eigentlichen Hagelwetter zu den stärksten Gewittern gehören, so fallen die Perioden beider zusammen, und es folgt hieraus von selbst, daß die Monate Juni und Juli am meisten Hagel geben, dann Mai, August und September; im April und October ist das Hageln eine große Seltenheit, und

1 Erxleben's Naturlehre. §. 736. Anm.

2 Kastner Archiv. I. 311.

3 Brugnatelli Giorn. T. X. p. 369.

4 G. LXXII. 434.

5 Bibl. univ. XXXIII. 50.

in den übrigen Monaten trifft man die Erscheinung fast überall nicht, weswegen das heftige Hagelwetter zu Montpellier am 30sten Januar 1741 als merkwürdige Ausnahme von der allgemeinen Regel betrachtet wurde<sup>1</sup>.

15. Die Hagelwetter theilen ganz die Eigenthümlichkeiten der Gewitter, weswegen ich die Bildung, Höhe, Ausdehnung und Gestalt der Wolken, den begleitenden Sturmwind und Regen, das Blitzen, Donnern u. s. w. ganz mit Stillschweigen übergehen kann. In der Regel, wo nicht allgemein, dauert das Hageln kaum länger als 15 Minuten, selten 30 Minuten, und ich zweifle, daß Beispiele von der Dauer einer Stunde beobachtet sind. Auf gleiche Weise bewegen sich die Hagelwolken mit großer Geschwindigkeit über die verheerten Strecken, obgleich bei der bekannten Unsicherheit im Gange der Uhren an verschiedenen Orten hierüber kaum überall genügende Beobachtungen vorhanden sind. LEROI, BÜACHE und TESSIER, welche das merkwürdige Hagelwetter von 1788 untersuchten, gaben sich alle ersinnliche Mühe, die Geschwindigkeit genau zu erforschen, womit sich die Hagelwolken bewegten, und obgleich die Art der Bestimmung, nämlich aus der Anfangszeit des Hagelns an den ungleich entlegenen Orten keine vollkommene Sicherheit gewährt, so kann doch das gefundene Resultat als der Wahrheit sehr nahe kommend betrachtet werden. Das Hagelwetter durchlief nämlich einen Raum von 16,5 Lieues in einer Stunde, welches nach der gleichfalls mitgetheilten Bestimmung von 2300 Toisen auf 1 Lieue 35,8 Par. F. in einer Secunde, oder 10 geographische Meilen in 1 Stunde beträgt. Die hier gefundene Geschwindigkeit wäre also etwa die mittlere eines heftigen Sturmwindes, und obgleich die Hagelschauer meistens von den letzteren begleitet sind, so muß man doch zugleich berücksichtigen, was für eine Masse der meistens stofsweise sich bewegende Wind an einem Hagelwetter vor sich her zu treiben hat, abgesehen davon, daß der gemeinen Erfahrung nach die Gewitterwolken sich nicht allezeit so schnell bewegen, als der Wind. Uebrigens ist die Geschwindigkeit von 10 geogr. Meilen in einer Stunde groß genug, um das gewöhnlich bei Hagelwettern vorkommende Fortschreiten daraus zu erklären.

---

1 Mém. de Paris. 1741. p. 218.

16. Unter die wesentlichsten Eigenthümlichkeiten, wodurch sich die Hagelwetter von den gewöhnlichen Gewittern unterscheiden, gehören vorzüglich das schon erwähnte Brausen, die weißliche Gestalt der Wolkenstreifen, worin der Hagel gebildet ist, und außerdem eine Verdunkelung, welche nach TESSIER mit der bei totalen Sonnenfinsternissen Aehnlichkeit hat; auch nach meinen eigenen und fremden Beobachtungen so stark ist, daß man nicht mehr lesen kann. Ferner glaube ich bemerkt zu haben, daß beim Beginnen von Hagelwettern, wie bei sehr schweren Gewittern, einzelne Blitze und ein abgeschnittener prasselnder Donner minder häufig beobachtet werden, als vielmehr eine dem Wetterleuchten ähnliche anhaltende Erhellung und ein ununterbrochenes dumpfes Rollen des Donners. Hat eine Gewitterwolke schon eine Zeitlang geregnet, so ist man in der Regel gegen Hagelschlag, hauptsächlich gegen verheerende Hagelwetter gesichert, in den bei weitem meisten Fällen dagegen rückt das Hagelwetter mit den beschriebenen Phänomenen heran; es erfolgt ein hervorstechend heftiger Donner, hiernach fallen einzelne sehr dicke Regentropfen, deren Fallen meistens hörbar heftig ist, demnächst einzelne kleine Hagelkörner, wobei die Gefahr um so größer ist, je weniger diese von vielen und kleinen Regentropfen begleitet sind, und endlich erfolgt das Hageln selbst, welches in sehr kurzen Pausen einer geringeren Heftigkeit und bei begleitendem heftigem Blitzen und Donnern nur einige Minuten anzuhalten pflegt. Die Dunkelheit, das Brausen in der Luft, die heftigen Blitze mit furchtbarem Donner, das Prasseln der Hagelkörner auf dem Stralsenpflaster und den Dächern, das Zerschlagen der Fenster, welches alles überraschend schnell hervorbricht, erfüllen Menschen und auch Thiere mit einer Art von Bangigkeit und Furcht. Die Gewalt, womit der Hagel herabfällt, ist zwar aus mechanischen Gesetzen leicht erklärbar, aber dennoch überraschend, und um so viel stärker, je heftiger der Wind ist. Menschen werden nicht leicht dadurch bedeutend beschädigt, noch weniger erschlagen, weil sie zeitig Schutz suchen; dennoch sollen 1717 durch ein Hagelwetter mehrere Menschen und Stücke Vieh erschlagen seyn; desgleichen 1731 bei Olmütz in Mähren mehrere Personen<sup>1</sup> und 1767 bei Potsdam ein Ochse, auch wurde

1 Beide Angaben a. d. Journal de Verdun in Mém. de l'Ac. 1790. p. 272. V. Bd.

einem Bauer ein Arm abgeschlagen <sup>1</sup>. Aus den ältern Zeiten findet sich eine Nachricht beim MACRIZI <sup>2</sup>, welcher erzählt, daß im Jahre 716 der Hedschra, also 1316 unserer Zeitrechnung, in Syrien ein starker Hagel fiel, wodurch mehrere Menschen und Thiere erschlagen und ausgedehnte Strecken verheert wurden. Inzwischen sind diese Nachrichten keineswegs so verificirt, daß sie unbedingten Glauben verdienten. Weit mehr ist dieses der Fall bei der in öffentlichen Blättern mit allen einzelnen Umständen mitgetheilten Nachricht von dem starken Hagelwetter, welches 1822 am 9ten Juni bei Trient von drei Kindern auf dem Felde ein 16jähriges Mädchen so verwundete, daß es nach einigen Tagen starb. Wie sehr ein solcher Fall unter die außerordentlich seltenen gehören müsse, dieses ergibt sich schon daraus, daß nach genauen Erkundigungen bei dem ungeheuern Hagelwetter in Frankreich 1788 kein Mensch bedeutend beschädigt wurde <sup>3</sup>, von einigen getödteten Schafen blieb es indess ungewiß, ob sie vom Blitze oder durch den Hagel erschlagen waren. Dagegen fand es sich sowohl bei diesem als auch bei dem von mir in Hannover 1801 beobachteten, daß viele Hasen, Rebhühner, Raben, Drosseln und Spatzen erschlagen wurden, und ein Landmann in Herrenhausen sammelte allein 20 getödtete Spatzen; Personen, welche der Hagel auf dem Felde überraschte, hatten blaue Schwielen, Kühe hatten Beulen und Schafe waren am Kopfe und den Ohren beschädigt. Bei dem oben <sup>4</sup> erwähnten Hagelwetter auf der Orkadischen Insel Stronsa wurde ein Knabe im Nacken so heftig verwundet, daß er nach mehreren Monaten noch nicht wieder hergestellt war, Pferde und Kühe im Freien waren alle mehr oder weniger stark verwundet und blutend, von einer Heerde Gänse waren die meisten erschlagen oder verstümmelt, das Meer trieb viele erschlagene Vögel ans Land, und als der Hagel weggeschmolzen war, fand man viele todt auf dem Boden liegend. Einige der jüngeren Pferde waren so zerschlagen und erschreckt, daß sie betäubt hingestreckt lagen, und nie wieder völlig zu gesun-

---

1 Allgem. Zeit. 1817. Juli.

2 S. Quatremère bei G. L. 299.

3 TESSIER fand viele mit starken Beulen auf den Händen und im Gesichte.

4 S. unter A. Nr. 3.

den Kräften kamen. Dafs der Hagel die stärksten Dachschiefer zerschlagen habe, berichtet DELCROS<sup>1</sup> als von ihm beobachtete Thatsache, indess ist es eine sowohl durch mich, als auch durch viele andere gemachte Erfahrung, dafs weder die Schiefer noch die Ziegel der Dächer den gröfseren Hagelkörnern widerstehen. Eben so habe ich gesehen, dafs Fensterscheiben von vorzüglicher Stärke durch den Hagel nicht blofs zerschlagen wurden, sondern auch dafs die Bruchstücke davon zusamt den Hagelkörnern in einem langen Saale bis 25 Par. F. hingeschleudert waren. Man kann es hiernach nicht auffallend finden, dafs der Hagel die stärksten Pflanzen zerschlägt, auch Weinreben und Aeste von zwei Linien Dicke zerbricht. Hieraus erklärt sich dann leicht der unermessliche Schaden, welchen ein weit sich verbreitendes Hagelwetter anrichten kann, und welcher 1788 in Frankreich nicht übertrieben auf fast 25 Millionen Liv. abgeschätzt wurde.

17. Die Menge des Hagels, welcher über eine ganze Strecke oder hauptsächlich auf die am meisten getroffenen Oerter herabfällt, ist ganz unglaublich, wenn gleich nicht füglich genau mefsbar. Selten oder nie ist nämlich ein Hagelschauer ohne einen bedeutenden Regen, wodurch der Hagel auf einzelne Stellen in Niederungen zusammengeschwemmt wird, so dafs seine Höhe nicht mehr bestimmbar bleibt, abgesehen davon, dafs ein grofser Theil alsobald durch die Wärme des Erdbodens und den nachfolgenden Regen schmelzt. Die gewöhnlichen Berichte sagen daher nur, dafs der Hagel an einigen Orten bis zu einer Höhe von 2 und mehreren Schuhen zusammengeflossen sey. Nach PARENT<sup>2</sup> soll bei dem grofsen Hagelwetter zu Iliers im Mai 1702 der Hagel an mehreren Orten einen Fufs hoch gelegen haben, allein mir scheinen die Gröfsenbestimmungen dieses Gelehrten bei der Beschreibung jenes Naturereignisses nicht hinlänglich genau; denn die gröfsten Körner sollen einer geballten Mannsfaust gleichgekommen seyn, und  $\frac{1}{4}$  Pfund gewogen haben, welche beide Angaben nicht mit einander übereinstimmen. Glaublicher dagegen wegen der genauen Angabe der begleitenden Umstände scheint mir die Nachricht, dafs bei dem Hagelwetter am 24sten Juli 1818 auf der Orkney-

1 G. LXVIII. 323.

2 Mém. de l'Ac. 1803. p. 19.

Insel Stronsa der Hagel im freien Felde 9 engl. Zoll hoch gelegen habe<sup>1</sup>, obgleich ich auch diese Höhe noch für etwas übertrieben zu halten geneigt bin. Bei dem Hagelwetter in Hannover hatte ich Gelegenheit, einen möglichst horizontalen freien Platz zu beobachten, und eben so 1824 hier in Heidelberg. Im ersteren Falle lagen die Hagelkörner nicht 3 Z. und im letzteren nicht 1,5 Z. hoch, dort ging die Temperatur augenblicklich sehr tief herab, hier ungleich weniger, und stieg außerdem sogleich nachher wieder ungewöhnlich. Nehme ich also das Doppelte von jener Beobachtung, so glaube ich, daß 6 Z. Höhe auf allen Fall als das Maximum angesehen werden kann, welches der gefallene Hagel zu erreichen vermag, wenigstens für die Breite von Deutschland, denn ob in südlichen Gegenden, wo die Regenmengen gleichfalls beträchtlicher sind, auch die Menge des Hagels größer sey, kann ich aus den mir vorgekommenen Berichten nicht ausmitteln, muß es jedoch aus andern Gründen bezweifeln. Ist aber die Rede von der Gesammtmenge des fallenden Hagels, so ist diese nicht selten ganz unglaublich. Die stärkste Angabe, welche mir hierüber vorgekommen ist, bietet die Beschreibung des Hagelwetters von 1360<sup>2</sup> dar, indem damals durch die aus Hagel und Regen entstandenen Fluthen im englischen Lager 1000 Menschen und über 6000 Pferde umgekommen seyn sollen. Ist dieses übertrieben, so kann dagegen als völlig ausgemacht betrachtet werden, daß 1792 bei dem furchtbaren Hagelwetter unweit Beverungen im Hannöverschen die aus Hagel und Wasser bestehenden Fluthen von einer flachen Anhöhe herabstürzend einen vierspännigen Wagen mit Flachs beladen mit sich fortrissen, und in die Weser stürzten. Eben diese drangen mit solchem Ungestüm in das kleine Städtchen, daß sie am andern Ende die Thore versetzten, einen Eisdamme innerhalb derselben bildeten, die Keller füllten und eine Ueberschwemmung erzeugten<sup>3</sup>. Im Jahre 1800 schwoll zu Mariengarten unweit Göttingen ein unbedeutender Bach durch die herbeiströmende Menge von Hagel und Wasser zu einer solchen nie erlebten Höhe an, daß die zuerst ihren Lauf versperrenden Gegenstände, nämlich eine 6 F. hohe und

1 Edinb. Phil. Journ. Nr. VIII. 366.

2 Bei VILLARET a. a. O.

3 Lampadius im Hann. Mag. 1792. St. 93.

2 F. dicke Gartenmauer in einer Strecke von 20 F. umgestürzt wurde, und ein zweistöckiges massives Haus durch sein Wanken die Gefahr des Einsturzes drohte. Solche Fluthen haben die leicht erklärliche Eigenthümlichkeit, daß sie in größter Stärke oft nur 15 Minuten, meistens nur eine halbe und selten über eine ganze Stunde dauern.

### C. Theorie des Hagelns.

18. Nach den älteren Physikern sollten die Wolken durch unbekannte Ursachen im Ganzen in Eis verwandelt werden, zerplatzen und dann die durch Abreiben abgerundeten Stücke auf die Erde herabfallen. MUSSCHENBROEK <sup>1</sup> ist wegen des kleineren Hagelns, der *Graupeln*, welche im Winter oder auf höheren Bergen fallen, nicht in Verlegenheit, sondern er hält sie für gefrorne Regentropfen, welche in den an sich unter dem Gefrierpunct erkalteten Luftschichten gebildet werden. Schwieriger ist die Entstehung des größeren Hagels im Sommer zu erklären. Nach MUSSCHENBROEK ist für Frankreich, England und Holland die Schneegrenze 9600 F. hoch, aber wir sehen oft Wolken, welche noch höher sind, und sich also in der Region des Schnees befinden, wo diesem nach der Regen auch zu Hagel gefrieren kann. Von diesen Wolken sind einige elektrisch, andere nicht oder in einem geringen Grade. Begegnen sich beide, so entreißen die letzteren den ersteren die Elektrizität, wodurch Blitz und Donner entsteht, nach Entziehung der Elektrizität stoßen sich die wässerigen Theile der Wolke nicht ferner ab, sie werden vom Winde oder durch eigenes Zusammenfließen vereinigt, und gefrieren durch die Kälte der hohen Region, wo sie sich befinden, und zwar desto schneller, je mehrere erkältende Ursachen zusammenwirken. Zuerst entstehen die kleinen Hagelkörner, dann durch Zusammenbacken die größeren, deren Gestalt daher irregulär ist.

19. Eben wie MUSSCHENBROEK reduciren in der Hauptsache die meisten spätern Physiker <sup>2</sup> die Entstehung des Hagels auf die Wirkungen der Elektrizität, und es genügt daher, nur die Modificationen nachzuweisen, wodurch die einzelnen Hy-

<sup>1</sup> Introd. §. 2395.

<sup>2</sup> BLAISE MONESIER Diss. sur la nature et la formation de la Grêle, à Bourd. 1752. 4. BEGGARIA Lettere del Eletticismo, Bologna 1758.

pothesen sich unterscheiden. MONGEZ<sup>1</sup> faßt seine Theorie selbst in folgende Hauptpunkte zusammen: 1. Alle Wolken sind an sich elektrisch, nehmen aber einen gesteigerten Grad der Elektrizität nur durch zufällige Bedingungen an. 2. Bloß in dem letzteren Falle findet Verdunstung statt. 3. Sobald die elektrische Ausdünstung anfängt<sup>2</sup>, bildet sich um den Regentropfen eine Dampfatmosphäre, welche den Einfluß der umgebenden Wärme aufhebt. 4. Hieraus entsteht Kälte in dieser Atmosphäre, 5. welche sich allmählig bis in das Innerste des Tropfens erstreckt, 6. und wodurch er in Eis verwandelt wird. 7. Ist die Eiskruste gebildet, so hört die elektrische Verdunstung auf. 8. Das herabfallende Hagelkorn endlich verdunstet, wird hierdurch kälter und allmählig härter, so wie es durch die niedrigeren Luftschichten herabfällt.

Aus diesen theoretischen Sätzen sucht MONGEZ die einzelnen, bei der Hagelbildung vorkommenden Phänomene zu erklären, welches auch an sich nicht schwer seyn kann, da man hierzu im Ganzen nichts weiter als die Bildung von Eiskörnern bedarf, allein die Principien selbst sind keineswegs genügend<sup>3</sup>. Zuerst sind entschieden die Wolken sehr ungleich elektrisch, aber daß eine Verdunstung bloß bei gesteigerter Elektrizität statt finden sollte, dieses ist eine *petitio principii*. Ferner ist es zwar richtig, daß die Elektrizität die Verdunstung befördert und letztere Kälte herbeiführt, allein wodurch wird in der so ausnehmend feuchten Wolke eine so starke Verdunstung bewirkt? Die Hypothese von einer elektrischen Dampfatmosphäre ist zu wenig begründet, eben so wie die, daß eine solche die äußere Wärme nicht durchlassen sollte, und würde dieses auch zugegeben, wie könnte hierdurch eine zur Eisbildung erforderliche Kälte im Tropfen selbst erzeugt werden, da sich vielmehr der äußere

1 Journ. de Phys. XII. 202.

2 Daß die Elektrizität die Verdunstung vermehre, glaubt MONGEZ nach den Versuchen von NOLLET und nach eigenen annehmen zu müssen, und daß hierdurch Kälte entstehe, schließt er aus den Versuchen von FRANKLIN, HERBERT, MORVEAU u. v. a.

3 Später in Ann. de Chim. V. 51 äußert sich MONGEZ, es sey das Phänomen der Hagelbildung sowohl an sich schwer zu erklären, als auch insbesondere der Umstand, daß er häufiger im Sommer als im Winter falle. Seine eigene Hypothese scheint ihm also nicht mehr genügt zu haben.

Dampf auf der entstandenen Eiskruste niederschlagen müßte. Dafs endlich nach entstandener Eiskruste die el. Atmosphäre entweichen sollte, ist ganz ohne Grund, da die Verdampfung auch beim Eise stattfindet, und man nicht begreift, wo die Elektrizität dann bleiben, und warum sie gerade dann erst entweichen sollte.

20. DE LÜC's<sup>1</sup> Hypothese hat in früheren Zeiten allerdings Anhänger gefunden, indess zweifle ich daran, dafs dieses noch jetzt der Fall sey. In der Hauptsache nahm dieser Physiker an, die Elektrizität bestehe einem wesentlichen Bestandtheile nach aus Wärme, weswegen diese letztere gebunden werde, sobald erstere in einem bedeutenden Grade zum Vorschein komme. LAMPADIUS<sup>2</sup> war hauptsächlich derjenige in Deutschland, welcher DE LÜC's Hypothese zu unterstützen und als den Erscheinungen angemessen darzustellen suchte, LICHTENBERG<sup>3</sup> dagegen, obgleich großer Verehrer von DE LÜC, wich dennoch von dieser Hypothese ab, und fand die Ursache der Hagelbildung hauptsächlich in der Verdunstungskälte, welche ihm eine Folge der Elektrizität zu seyn schien, obgleich er selbst sich die bei dieser Erklärung noch bleibenden Dunkelheiten nicht verhehlt. Späterhin schien ihm indess DE LÜC's bekannte Theorie vom Regen mehr begründet, so dafs er kein Bedenken trug, diese auch auf die Bildung des Hagels anzuwenden, und die dabei eintretende große Kälte aus einem Gebundenwerden der Wärme zur Erzeugung der Elektrizität zu erklären<sup>4</sup>. Mit der genannten Theorie des Regens fällt also diese Hypothese von selbst über den Haufen, weswegen ich eine Widerlegung hier für überflüssig halte, um so mehr, als schon im Art. *Elektrizität* die Unhaltbarkeit jener Hypothese nachgewiesen ist<sup>5</sup>; auch fehlten bei dem oben erwähnten Hagelwetter bei Roncevalles im Jahre 1813, wobei noch obendrein die Hagelkörner von ganz

<sup>1</sup> Idées sur la météorologie T. II, sect. III, chap. 2. Nouvelles Idées sur la Mét. II, §. 641. Lettres à Mr. de la Metherie. L. VII. In Rozier Obs. XXXVII, 120. Daraus in Gren J. IV. 264. Vergl. Nichols, Journ. of Nat. Phil. 1810. Dec. G. XLI. 189.

<sup>2</sup> Beobachtungen über die Elektrizität und Wärme unserer Atmosphäre. Berl. 1793. Dessen systemat. Grundrifs d. Atmosphärologie. Freyberg 1806. 8. S. 153.

<sup>3</sup> Neues Hannöv. Mag. 1793. Erxleben's Naturlehre §. 736.

<sup>4</sup> Vermischte Schr. VIII. 85.

<sup>5</sup> S. Th. III. S. 354. Vergl. *Regen*.

ungewöhnlicher Gröfse waren, Blitz und Donner gänzlich. V. ARNIM<sup>1</sup> behauptet, der Hagel sey fast allezeit negativ elektrisch, und dieses möge wohl eine Hauptbedingung seines Entstehens seyn, wobei er zugleich durch die Verdunstung beim Herabfallen in Folge der hierdurch erzeugten Kälte gröfser werde.

Nach HUBE<sup>2</sup> endlich ist der Hagel eine Folge der Elektricität und der dadurch erzeugten Kälte, ohne dafs jedoch näher nachgewiesen wird, in wiefern die letztere durch die erstere nothwendig erzeugt wird; vermuthlich sieht er indess mit HEIDMANN<sup>3</sup> und andern die Wärme als einen Bestandtheil der Elektricität an.

21. In den neuesten Zeiten, und man darf sagen, bis auf den gegenwärtigen Augenblick, hat die Hypothese des berühmten AL. VOLTA den meisten Beifall gefunden, welche von demselben ausführlich vorgetragen ist, sich aber leicht auf folgende Elemente zurückführen läfst<sup>4</sup>. VOLTA denkt sich die Feuchtigkeit der Wolken als kleine Dunstbläschen, welche durch die Elektricität der Wolke abgestofsen werden, und hierdurch in die höchst trockne und kalte Luftschicht über der Wolke kommen. Hier vereinigen sich allmählig die Dunstbläschen zu kleinen Tropfen, welche durch Verdunstung in den ohnehin kalten Regionen gefrieren, zugleich aber ihre Electricität verlieren, und dann durch die im Centrum der Wolke angehäuften Elektricität angezogen, bald aber wieder abgestofsen werden, wie kleine Kugeln oder zusammengeballete Baumwolle von einem el. Conductor. Auf diese Weise entstehen zuerst die kleinen weiflichen Kerne des Hagels aus den anfänglich zusammengesinternten, schneeartig krystallisirten Bläschen. So wie diese aber auf die angezeigte Weise stets durch die elektrische Anziehung und Abstofsung bewegt in die feuchte Wolke eindringen, überziehen sie sich mit einer neuen Lage Feuchtigkeit, welche nach dem Abgestofsenseyn in den kälteren Räumen über der Wolke hauptsächlich unter Mitwirkung der Verdunstung gefriert, wo-

1 G. IV. 327.

2 Vollst. und fasslicher Unterricht in der Naturlehre II. 224.

3 Vollständige auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie d. El. Wien. 1799. II Vol. 8.

4 Joura. de Phys. LXIX. 286. 333. Daraus in Gehlen's Journ. VII. 67. 223, ursprüngl. in Brugnatelli Giorn. I. 31. 129 u. 179. Verwandte Abhandl. von ihm findet man in Memorie del Inst. Ital. T. I. Part. II. Giornale di Fisica e Chimica di Pavia. T. I.

nach also zuletzt die ungemein großen Hagelkörner entweder unmittelbar oder durch Zusammensinterung mehrerer kleinerer gebildet werden, welche dann durch ihr Gewicht die Wolke durchbrechen, und herabfallen. Obgleich diese Hypothese zur Erklärung der Hagelbildung genügt, so glaubt doch VOLTA, daß der Proceß weit leichter vorstellbar sey, wenn man zwei Wolken in einem mäßigen Abstände horizontal über einander schwebend, die eine pos. die andere neg. el. annehmen wollte. Zwischen diesen beiden sollen dann die anfänglich gebildeten Flocken so lange sich auf und nieder bewegen, bis sie die der Repulsionskraft der Wolken proportionale Größe erhalten haben, die Wolke durchbrechen und herabfallen. VOLTA denkt sich dann die Schneebildung im Winter auf die Weise, daß die Dunstbläschen über den Gefrierpunct warm in der Wolke schweben, deren Umgebung unter  $0^{\circ}$  C. erkältet ist. Wird eine solche Wolke durch den Windstoß zerrissen, oder fallen kleine Tröpfchen aus einer Wolke durch eine unter den Eis punct erkältete Luftschicht, so verwandeln sich beide in Schnee, welcher sofort nach seiner Bildung herabfällt, weil die Wolke keine hinlänglich starke Elektrizität besitzt, um die zur Hagelbildung erforderliche Abstofsung und Anziehung hervorzubringen. Im Sommer dagegen werden die Wolken selbst durch die Verdunstung in den oberen Schichten stark erkältet, die einzelnen Dunstbläschen platzen und gefrieren, die Elektrizität der Wolken ist stark genug, um die gebildeten Kerne den positiv und negativ elektrischen Wolken entgegen zu schleudern, dabei nehmen sie theils die in den Wolken als Dunstbläschen vorhandene Feuchtigkeit auf, theils die in den Zwischenräumen befindliche nicht bläschenförmige, und werden hierdurch allmählig zu den großen verschieden gebildeten Hagelkörnern gestaltet. VOLTA zweifelt nicht, daß die Elektrizität der Wolken hinreiche, um diese Bewegung der schweren Hagelkörner zu bewirken, weil sie die unserer Maschinen um ein Vielfaches übertrifft, und manche Physiker versinnlichen den Proceß der Hagelbildung durch kleine Flocken Baumwolle oder Kugeln vom Marke der Sonnenblumen, welche zwischen zwei entgegengesetzten elektrisirten Scheiben hin und her hüpfen, auch nach Art wirklicher Hagelkörner sich vereinigen, ohne jedoch dabei zu berücksichtigen, daß Wolken keine festen Scheiben und halbpfündige Hagelkörner keine Flocken Baumwolle sind.

VOLTA macht sich selbst einen Einwurf gegen diese zweite Modification seiner Theorie, welcher zu nahe liegt, als daß er übersehen werden konnte. Es sey nämlich, meint er, auf den ersten Blick nicht wohl erklärbar, warum die beiden entgegengesetzt el. Wolken sich nicht selbst so stark anzögen, daß sie zusammenfielen, und sich dadurch wechselseitig neutralisirten, statt sich einander eine geraume Zeit hindurch eine solche Masse Hagelkörner zuzusenden. Indefs beantwortet er diesen Einwurf damit, daß er annimmt, die untere Wolke werde nicht bloß durch die obere, sondern auch durch die Erdoberfläche, die Wälder u. s. w. angezogen und zwischen beiden Kräften im Stillstande erhalten. Die obere Wolke könne aber gleichfalls von andern höheren angezogen werden, es könnten selbst noch niedrigere unter der unteren eine Anziehung gegen diese letztere ausüben, wodurch in den untersten und obersten, die eigentliche Hagelbildung bewirkenden Wolken mancherlei oftmals sichtbare Bewegungen und Fluthungen erzeugt werden könnten; und endlich dürfe man immerhin zugeben, daß die beiden Wolken einander anzögen, an einer eigentlichen Annäherung aber zugleich durch ihre eigene Masse gehindert würden, so daß durch die Langsamkeit der Bewegung die el. Spannung derselben bei gegenseitiger Annäherung wachsen, die wiederholte Abstossung und Anziehung der Hagelkörner befördert werden, und diese deswegen an Gröfse zunehmen müßten. Fallen dann endlich die Wolken wirklich zusammen, oder werden sie durch die Gewalt der Hagelkörner durchbrochen, so fallen die letzteren herab, und das eigentliche Hagelwetter tritt ein.

22. So sinnreich auch diese Hypothese durch einen der scharfsinnigsten Physiker ausgedacht und der Mehrheit der das ganze Phänomen bestimmenden Thatsachen angepaßt ist<sup>1</sup>, so scheint sie mir doch aus überwiegenden Gründen ganz unhaltbar zu seyn. Nehmen wir zuerst die Ansicht der zwei elektrischen Wolken, so ist zwar durch das Hülfsmittel einer Anziehung der Erde scheinbar geholfen, allein die Zurückführung auf genauere Gröfßenbestimmungen zeigt evident die Unhaltbarkeit. Eine Hagelwolke kann nämlich bei ihrer anfänglichen Bildung gar wohl 8 bis 10000 Fufs über die Oberfläche der Erde erhaben seyn, wir wollen indels nur ein Minimum von 2000 F. anneh-

1 Vergl. VOLTA's Brief an CONFIGLIACHI in Ann. Ch. P. IV. 245.

men, und hiernach das Verhältniß der el. Anziehungen prüfen, welche von der Erde und einer höheren Wolke gegen die Haupt-hagelwolke ausgeübt werden soll. Da die el. Anziehung den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional ist, so kann die obere Wolke um so weniger eine geringere Entfernung von der ersteren haben, als man jene negativ elektrisch, die Erde dagegen neutral annimmt, so daß also die obere Wolke stärker als die Erde anziehen müßte. Setzen wir aber dann das angenommene Minimum noch auf die Hälfte herab, so müßten die Hagelkörner 1000 F. hoch in die Höhe geschleudert werden, um die obere Wolke zu erreichen, wozu eine Wirkkraft erforderlich wäre, welche schwerlich jemand der Elektrizität einer Hagelwolke beimessen wird. Das gewählte Hülfsmittel von noch höheren Wolken, welche die obere der beiden eigentlich wirksamen elektrischen am Herabsinken hindern soll, schwebt ganz eigentlich in den Lüften, und bedarf nach dem so eben Gesagten sicher keiner eigentlichen Widerlegung. Ein nicht sehr bedeutendes Argument liegt ferner in den elektrischen Aeusserungen der Hagelwolken. Viele Blitze aus denselben verlaufen sich allerdings in den höheren Regionen, und das oben Nr. 16 erwähnte anhaltende Leuchten spricht sogar bestimmt hierfür, allein unlegbar schlagen auch viele derselben auf die Erde, und da die Elektrizität bei ihrer Ausgleichung den minder elektrischen Körper durch Null bis zum stärkst negativ elektrischen sucht, so könnte kein Blitz von der unteren Wolke die Erde treffen, so lange sich in gleichem Abstände von ihr eine negativ elektrische Wolke findet. Wollte man aber endlich annehmen, daß beide Wolken gleich groß und von gleicher elektrischer Spannung wären, so müßten sie bei ihrer Vereinigung neutral werden, was auch so ziemlich bestimmt aus VOLTAs Darstellung des Processes des Hagels folgt, und dann müßte das Blitzen aufhören, was aber ganz gegen die Erfahrung streitet<sup>1</sup>.

Ein Hauptfehler der aufgestellten Theorie liegt offenbar in einer unrichtigen Vorstellung von der eigentlichen Beschaffen-

---

1 Auch ARAGO hält die Bildung des Hagels zwischen zwei Wolken für sehr zweifelhaft. Ann. Ch. Ph. XXXIII. 420. Annuaire présenté au Roi. pour l'an 1829. Er führt zugleich an, daß die Luftelektrizität bei Gewittern oft aus dem Positiven ins Negative übergeht, was gleichfalls gegen VOLTAs Theorie streitet, abgesehen davon, daß kein Physiker je auf Bergen einen solchen Tanz beobachtet hat.

heit der Wolken, und diese wird noch unrichtiger durch den Versuch mit den elektrisirten Scheiben, und den zwischenliegenden Baumwollenflocken. Eine Gewitterwolke von oben herab bei hellem Himmel gesehen gleicht einem weifslichen Meere von Nebel, welcher mit bedeutenden Wallungen in steigenden und fallenden, sich umkreisenden und nach den verschiedensten Richtungen abwechselnd sich bewegenden Wellen wogt. Das Ganze besteht aus lauter kleinen Dunstbläschen, welche in zahlloser Menge neben einander schweben, wie auch die Vorstellung seyn mag, welche man über die Natur derselben hegt. In diesen Massen ist nirgend ein fester Punct oder eine stabile Grenze, und die Annahme einer grösseren und grössten elektrischen Spannung in ihrer Mitte ist nicht blofs durchaus willkürlich, sondern selbst den erkannten Gesetzen vom elektrischen Verhalten der Körper widersprechend. Sollten aber die schon gebildeten Hagelkörner wiederholt von diesen Massen zurückgestossen werden, so ist gar kein Grund vorhanden, warum nicht jedes einzelne Dunstkügelchen derselben einer gleichen Einwirkung unterliegen sollte, wodurch aber die ganze Wolkenmasse zerrieben müßte, abgesehen dafs nach VOLTA die Hagelwolken, also auch die Gewitterwolken elektrischen Conductoren gleichen würden, eine durch DE LÜC genugsam widerlegte Vorstellung, so wie zugleich davon, dafs nach jedem Blitze die el. Spannung der Wolken momentan aufhört, wonach die noch unvollkommenen Hagelkörner sofort herabfallen müßten, den schon erwähnten Uebergang in den entgegengesetzt elektrischen Zustand nicht gerechnet. Wird dann ferner das angenommene Verhalten der Hagelkörner im Einzelnen dargestellt, so erscheint die Theorie noch weniger haltbar. Zu diesem Ende wollen wir nur da anfangen, wo das emporgeschleuderte und nachher seiner Elektrizität beraubte Hagelkorn wieder gegen die Wolke zurückfällt. Indem sich demselben hier keine Begrenzung darbietet, so muß es nothwendig in das Innere der Wolke eindringen, oder sich in den neblichen Dunst derselben herabsenken. Dafs sie elektrisch sey, und elektrische Repulsion ausübe, ist in Voraus angenommen. Ihre elektrische Intensität kann aber entweder überall gleich oder sie kann ungleich, und im letztern Falle nach VOLTA in der Mitte oder, wie es nach dem Verhalten elektrisirter Körper anzunehmen wäre, an den Grenzen am stärksten seyn. In allen diesen Fällen muß

das angezogene Hagelkorn denjenigen Ort erreichen, wo die Elektricität am stärksten ist; denn ehe es hier mit der einseitigen Elektricität geladen wird, bleibt es allezeit entgegengesetzt elektrisch, welcher von den verschiedenen Theorien man auch anhängen mag, wie denn auch die Körper von einem Conductor erst dann abgestoßen werden, wenn sie mit ihm zur wirklichen Berührung gekommen sind. Hat aber das Hagelkorn diese Grenze der stärksten elektrischen Intensität erreicht, und trifft daselbst kein unüberwindliches Hinderniß, wie bei dem Versuche mit den geladenen Scheiben und kleinen Ballen von Baumwolle oder Hollundermark, so wird es nach allen Seiten, nicht aber, wie ohne allen Grund vorausgesetzt ist, bloß nach oben abgestoßen, und muß daher durch die Schwere und die elektrische Repulsion zugleich afficirt durchaus mit beschleunigter Geschwindigkeit herabfallen, den Einfluß der Trägheit, wonach es in seiner herabgehenden Bewegung zu beharren strebt, nicht gerechnet. Es scheint mir also als bedürfe es keines weiteren Beweises der gänzlichen Unhaltbarkeit dieser Hypothese<sup>1</sup>.

Sie wurde deswegen auch sogleich nach ihrer Bekanntwerdung von einem sehr gelehrten deutschen Physiker, PRECHTL<sup>2</sup>, mit überwiegenden Gründen angefochten, und hat sich seitdem hauptsächlich nur in Frankreich und Italien der großen Autorität ihres Erfinders wegen in Ansehn erhalten. PRECHTL weist im Allgemeinen die innern Widersprüche nach, daß nämlich die Sonnenstrahlen über der Wolke eine große Trockniß erzeugen sollen, so daß die dahin aufwärts geschleuderten Dunstbläschen daselbst durch ihre Verdunstung gefrieren könnten, bei welcher Voraussetzung aber die Wolke selbst aufgelöst werden müßte und noch weniger begreiflich sey, wie die schon gebildeten Hagelkörner in eben jenen Gegenden durch Vereinigung mit dem dort vorhandenen Wasserdampfe zu so großen Massen anzuwachsen vermöchten. Insbesondere zeigt PRECHTL zugleich die Unmöglichkeit des Emporschleuderns der schon gebildeten Ha-

1 Vergl. BELLANI in Brugnatelli Giorn. T. X. p. 359. ff. Dieser Physiker versuchte den Versuch der tanzenden Kugeln vom Marke der Sonnenblume zwischen einer Wasserfläche und einer Scheibe nachzumachen, aber umsonst, auch bemerkt er, daß nach dieser Theorie ein solcher Tanz angezogener und abgestoßener Körper zwischen der Erdoberfläche und der Gewitterwolke beobachtet werden müsse.

2 Gehlen's Journ. VII. 223.

gelkörner, wie dieses durch die Elektrizität der Wolken geschehen soll. Wird die Entfernung zwischen den beiden elektrischen Wolken nur zu 250 Fufs angenommen, so müßte die untere bei einem Gewichte der Hagelkörner von 10 Unzen eine ganz undenkbare Wurfkraft haben, und noch weniger sey vorstellbar, wie diese Eismassen, aus einer solchen Höhe herabfallend, einen bloßen Dunst, einen Nebel, zu durchbrechen nicht im Stande seyn sollten. Einige minder erhebliche Gegenstände nicht zu erwähnen nehme endlich VOLTA an, daß die Elektrizität der Wolken sich fortwährend mehr zerstreue und schwächer werde; da sie im Gegentheil stets zunehmen müsse, um den Tanz der fortwährend wachsenden Hagelkörner anhaltend zu bewirken.

23. Viele Physiker führen die Hagelbildung hauptsächlich auf die große Verdampfung zurück, welche die aus den feuchten Wolken niedergeschlagenen Wassertropfen in den höheren sehr trocknen oberen Luftschichten erleiden sollen, eine Ansicht, bei welcher hauptsächlich LESLIE'S sinnreicher Versuch zum Grunde liegt, daß man das Wasser im Vacuo der Luftpumpe und durch Anwendung eines den gebildeten Dampf schnell absorbirenden Körpers, durch seine eigene Verdunstung zum Gefrieren bringen kann. J. T. MAYER<sup>1</sup> führte schon frühe die Hagelbildung der Hauptsache nach auf diese Ursache zurück, am vollständigsten aber ist diese Hypothese vorgetragen von dem Verfasser des Artikel's *Grêle* in der *Encyclop. Méth.*, wonach die ganze Erscheinung auf folgende Weise erklärbar seyn soll.

Die Elektrizität nebst der durch sie veranlaßten Verdunstung ist so unbedeutend, daß sie zwar etwas beitragen, unmöglich aber das ganze Phänomen bedingen kann. Wenn dagegen eine hinlängliche Menge Wasserdampf zu einem Regentropfen vereinigt ist, so wird er die Adhäsion an die Lufttheilchen überwinden, herabfallen, und hierbei eine bedeutende Verdampfung erleiden, welche an sich so viel stärker ist, und eine hierdurch erzeugte so viel größere Kälte hervorbringt, je mehr die Berührungen mit stets neuen Lufttheilchen und die Compression der Luft eine stete Absorption des Dampfes herbeiführen. Die hierdurch gefrorenen Regentropfen fahren fort,

---

<sup>1</sup> Lehrbuch über die physische Astronomie, Theorie d. Erde und Meteorolog. Gött. 1805. 8. S. 278. u. Hannöv. Mag. 1800. St. 86.

bei ihrem Herabfallen zu verdunsten, hierdurch kälter zu werden, und diesernach gefriert das Wasser, welches sie auf ihrer Bahn antreffen, in einzelnen Lagen auf ihre Oberfläche, wobei sie durch verschiedene leicht erklärbare Ursachen eine kreisende Bewegung um ihre Axe annehmen, durch welche die Verdampfung und in deren Folge die Erkaltung gleichfalls wächst. Als Bedingungen der Hagelbildung werden also erfordert zuerst daß die Wolke, worin der Hagel entstehen soll, nicht unter den Eispunct erkaltet sey, damit die Dunstbläschen sich zu einem Tropfen vereinigen können; und zweitens daß die Höhe der Wolke bedeutend genug sey, damit während der langen Dauer des Fallens die Verdampfung und Kälte den erforderlichen Grad erreichen. Etwas anders modificirt und der Hypothese von Moxez mehr angepaßt könnte dann auch angenommen werden, daß in den oberen Regionen, wo die Temperatur unter dem Gefrierpuncte ist, eine Wolke existire, in welcher durch Zusammensinterung von Schneetheilchen der Kern der Hagelkörner gebildet würde, unter derselben aber eine andere, über den Eispunct warme, und vielen Wasserdunst enthaltende dicke Wolke. Fiele dann der Kern des Hagelkornes durch die letztere herab, so würde er unter Voraussetzung steter Verdampfung und Erkaltung in Folge des Herabfallens und der rotirenden Bewegung eine Menge Wasser auf seiner Oberfläche in Eis verwandeln, und dadurch allmählich in ein großes Hagelkorn verwandelt werden. Im Winter, wenn die Wolken so hoch nicht gehen, und sich unter denen, worin bei 0°C. Temperatur die Schnee- und Graupeln-Bildung erfolgen kann, keine andere mit vielem Wasserdunst gesättigte befinden, kann die Hagelbildung nicht erfolgen, sondern es fällt dann bloß Schnee und Graupelhagel. Eben diese Hypothese von zwei über einander befindlichen Wolken u. s. w. hat ne Lüc früher aufgestellt<sup>1</sup>, nachher aber selbst wieder zurückgenommen<sup>2</sup>, als er in den Savoyischen Gebirgen einst ein starkes Hagelwetter unter sich sah, und dabei keine höhere Wolke zur Bildung des Kerns wahrnahm. Beiläufig wird dann noch die Meinung derjenigen widerlegt, welche annehmen, der Hagel entstehe dadurch, daß große Regentropfen beim Herabfallen durch die Verdunstung

1 Recherches sur les Modif. de l'Atmosph. §. 714.

2 Idées sur la Météor. T. II. §. 642.

allmählig gefrören, wonach also der Process gerade der umgekehrte des eben angegebenen seyn würde. Es streite nämlich dagegen der Umstand, dafs unmöglich in jenen Höhen Wassertropfen von solcher Gröfse entstehen, noch auch so tief herabfallen könnten, ohne zerstiebt zu werden, und aufserdem müfste die zuerst gebildete, das noch flüssige Wasser einschließende, Eishülle dieser großen Tropfen später zerplatzen, weil das Eis bei seiner Entstehung ein größeres Volumen hat, als das ihn bildende Wasser. Zu diesen allerdings gegründeten Argumenten möchte ich noch ein neues hinzusetzen, nämlich dafs das Eis ein schlechter Wärmeleiter ist, so dafs unmöglich während des Herabfallens eines solchen anfänglich gebildeten Hagelkörns durch die zuerst entstandene Eiskruste soviel Wärme ausströmen könnte, als erforderlich wäre, um die ganze Masse in Eis zu verwandeln, und so würde um so eher der vom Verfasser des Artikels angegebene Fall eintreten, dafs man zuweilen solche nicht ganz gefrorene Hagelkörner fände, wovon nirgend ein Beispiel vorkommt. Uebrigens könnte DELCROS das Zerplatzen der von ihm angenommenen großen Eiskugeln<sup>1</sup> als eine Folge der Ausdehnung des im Inneren später gefrierenden Wassers anzusehen geneigt seyn.

24. Dafs die Verdampfung des Wassers eine große Kälte erzeuge, dieses ist aus so zahlreichen Erscheinungen, insbesondere aus dem interessanten Versuche von LESLIE so allgemein bekannt, dafs es keines weiteren Beweises bedarf, aber dennoch zweifle ich sehr, dafs sich die Bildung des Hagels hieraus allein erklären lasse, wollte man auch den Ort seiner Entstehung noch so hoch und die Luft daselbst noch so trocken annehmen. Setzt man unter mittleren Breiten seine Entstehung in 10000 F. Höhe, so ist der mittlere Barometerstand dort etwa 18 Par. Zoll und jedermann weiß, dafs selbst über Schwefelsäure unter einem Recipienten bei einem solchen Barometerstande kein Wassertropfen in Eis verwandelt werden könnte<sup>2</sup>. Aufserdem aber wird hierdurch die Auflösung des fraglichen Problems nicht bedeutend weiter gebracht, denn die Entstehung des Kerns in den Hagelkörnern kann leicht erklärt werden, wenn man zugesteht, dafs die mit Dampf erfüllten Wolken bis zu solchen Höhen ge-

1 S. oben Nro. 5.

2 Vergl. BELLANI in Brugnatelli Giorn. 1818.

langen, wo vereinigte Dunstbläschen durch die kalte Temperatur des Ortes ohnehin alsobald gefrieren müssen. Auf allen Fall kann man nicht umhin die Vergrößerung der Hagelkörner, also die eigentliche Bildung der so ausnehmend großen Eismassen während ihres Herabfallens geschehend anzunehmen, und dabei tritt dann die Frage ein, ob die bei diesem Herabfallen zugleich stattfindende Verdampfung ohne weitere Bedingungen hinreicht, die Verwandlung so großer Wassermassen in Eis möglich zu machen; denn angenommen, daß der Kern des Hagels in den oberen Regionen durch Verdampfung gebildet würde, so müßte er dann alsobald zu fallen anfangen, und also seine Vergrößerung gleichfalls erst auf seinem Wege zur Erde erhalten. Da die durch Verdunstung erzeugte Kälte wirklich sehr stark ist, so finde ich es sehr natürlich, daß manche Physiker die Hagelbildung darauf zurückführen, um so mehr, als ich mich gelesen zu haben erinnere, daß jemand Wassertropfen aus einer ziemlichen Höhe herabfallen ließ, und sie gefroren am Boden ankommen sah. Allein dabei war die Temperatur mehrere Grade unter dem Gefrierpunkte, und gerade das Wesentlichste, nämlich die enorme Vergrößerung des entstandenen Hagelkornes fehlte. Bringt man die Frage auf möglichst genaue Zahlenbestimmungen zurück, welches allezeit ungleich besser ist als eine allgemeine Berufung auf die Wirksamkeit der Naturkräfte, so bedarf beim Gefrierpunkte ein Volumen tropfbar flüssiges Wasser  $640^{\circ}$  C. Wärme, um in Dampf aufgelöst zu werden, und macht zugleich  $75^{\circ}$  C. Wärme durch seine Verwandlung in Eis frei. Es ist also hiernach allerdings richtig, daß im Verhältniß von  $\frac{640}{75} = 8,5 \dots : 1$  die Eisbildung stattfinden, oder weniger als  $\frac{1}{8}$  Wasser verdampfen wird, um ein als Einheit gegebenes Volumen desselben in Eis zu verwandeln. Denken wir uns indess die Hagelbildung ohne weitere mitwirkende Bedingung in der Hagelwolke und in dem Raume unter ihr vorgehend, wie aus der eben angegebenen Erfahrung des DE LÜC folgt, so ist die Wolke schon an sich über den Sättigungspunct mit Wasserdampf überladen, und es kann also in ihr keine Verdampfung mehr stattfinden, wie trocken auch die Luft über derselben seyn mag, da ein so schnelles Aufsteigen des gebildeten Dampfes in die höheren Regionen, als dieses zur Erklärung des Processes erforderlich wäre, ganz undenkbar ist, hauptsächlich wenn man zugleich berücksichtigt, daß das Hagelkorn

sogleich nach der Bildung seines Kernes zu fallen anfängt. Ohnehin aber würde, eine so starke Verdampfung an der obern Grenze der Wolke vorausgesetzt, diese vielmehr selbst aufgelöst werden, und überall keine Hagelbildung statt finden. Dafs aber die Luftschichten unter der Hagelwolke bis zur Erdoberfläche herab zuverlässig bis zur Temperatur des Gefrierpunctes mit Wasserdampf gesättigt sind, dieses wird schwerlich irgend Jemand in Abrede stellen, zumal da vor den Hagelwettern in der Regel eine sehr schwüle und feuchte Disposition der Luft herzugehen pflegt. Ist aber die Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Atmosphäre diejenige, welche dem Gefrierpuncte des Wassers oder einer höheren Temperatur zugehört, so kann auch keine Aufnahme des von dem eiskalten Hagelkorne abgegebenen Dampfes stattfinden. Dieses Argument muß indess richtig verstanden werden. Es ist nämlich allerdings gegründet, dafs ein Wassertropfen, gegen welchen wärmere und mit Wasserdampf mehr gesättigte Luft geblasen wird, als dem Gefrierpuncte zugehört, unter die Temperatur dieser Luft erkaltet wird, und so könnte man auch sagen, das Hagelkorn werde durch die Berührung mit stets wechselnden Luftschichten kälter; allein in dem angegebenen Falle wird der Wassertropfen bei zunehmender Verminderung seiner Temperatur stets kleiner, bei der Hagelbildung dagegen müßte er durch Verwandlung des in ihm als Wasser oder Eis enthaltenen tropfbar flüssigen Wassers in Dampf stets kleiner und kälter, durch Verwandlung des in der Luft enthaltenen Dampfes in Wasser oder Eis aber stets größer werden, und da beide Bedingungen einander aufheben, so folgt nothwendig, dafs eine Vergrößerung des Hagelkornes im Fallen durch die Luft unmöglich ist, folglich seine Bildung in der Wolke selbst vollendet seyn muß, wobei dann aber das so eben geltend gemachte Argument, dafs diese an sich mit Wasserdunst übersättigt ist, wieder eintritt.

25. VON HUMBOLDT<sup>1</sup> hat zwar keineswegs eine vollständige Theorie der Hagelbildung aufgestellt, wohl aber einige Vermuthungen über dieses räthselhafte Phänomen mitgetheilt, welche, von einem so erfahrenen Naturforscher kommend, nicht unbeachtet bleiben dürfen. Vor allen Dingen ist es auffallend, dafs in der äquatorischen Zone in der Ebene des Meeresspiegels

1 S. Reisen d. Ueb. III. 465.

oder in geringer Höhe über diesem letzteren, etwa bis 1800 F., die Erscheinung des Hagelns gar nicht vorkommt. Will man also annehmen, daß dieses von dem Schmelzen der Hagelkörner in den niederen Luftschichten herrührt, deren mittlere Temperatur indess im Sommer nicht höher ist, als unter höheren, dem Hageln unterworfenen Breiten, so scheint hieraus zu folgen, daß die Hagelkörner im Augenblicke ihres Entstehens an den letzteren Orten größer sind, als an den ersteren. VON HUMBOLDT bekennt indess, daß uns die Bedingungen, unter denen das Wasser in einer Gewitterwolke in unserem Klima gefriert, noch zu wenig bekannt sind, um zu beurtheilen, ob die nämlichen auch unter dem Aequator in gleichen Höhen stattfinden. Zugleich bezweifelt er, daß bei uns der Hagel allezeit in einer Luftregion gebildet werde, deren mittlere Temperatur =  $0^{\circ}$  C. sey, und deren Höhe bei uns im Sommer nur etwa 9000 bis 10000 F. betrage, vielmehr seyen die Wolken, worin man den Hagel zusammenschlagen höre, allezeit viel niedriger, und gerade in diesen niederen Höhen könne durch die Ausdehnung der aufsteigenden Luft, welche eben dadurch an Wärmecapacität zunimmt, eine außerordentliche Kälte erzeugt werden, welche noch obendrein durch die Wärmestrahlung aus der oberen Wolkenschicht einen bedeutenden Zuwachs erhalte.

Ueber diese letztere Hypothese, nämlich eine Strahlung der Wärme nach dem leeren Himmelsraume, habe ich mich schon wiederholt erklärt, nämlich daß sie für unzulässig zu erklären sey, weil wir kein Beispiel haben, daß ein Körper durch Strahlung, noch obendrein im hellen Sonnenscheine und bei der großen Intensität der Sonnenwärme in der dünneren Luft der höheren Regionen<sup>1</sup> unter die Temperatur der Umgebung herabsinke, und obendrein ist dieselbe alsobald unmöglich, als die Undulationstheorie des Lichts die Oberhand erhält, wozu es in diesem Augenblicke sehr den Anschein hat. Daß aber die durch die Ausdehnung der aufsteigenden Luft absorbirte Wärme eben diese Luftmassen nicht auf eine tiefere Temperatur herabbringe, als diejenige der Regionen ist, in welche sie sich erhebt, dieses glaube ich gleichfalls durch überwiegende Gründe nachgewiesen zu haben<sup>2</sup>, auch folgt es schon ganz einfach aus

1 S. *Erde*. Th. III. S. 144.

2 S. *Erde*. Th. III. S. 1038.

dem Argumente, daß wir im entgegengesetzten Falle keine wärmere Luftschichten in größeren Höhen haben könnten, deren Existenz unmöglich geleugnet werden kann. Hiernach erscheinen daher auch diese beiden angegebenen Bedingungen als unzulässig zur Erklärung des vorliegenden Problems. Auch BELLANI<sup>1</sup> leitet die Kälte, welche die Bedingung der Hagelbildung ist, von einer starken Expansion der Luft ab, allein diese soll nach ihm eine Folge der Elektrizität seyn, ohne daß jedoch zugleich angegeben wird, auf welche Weise diese Ursache jene Wirkung herbeiführen könne.

26. Der scharfsinnige L. v. BUCH<sup>2</sup> stellt eine Hypothese auf, welche in ihren Hauptelementen Folgendes besagt. Der Hagel entsteht dadurch, daß über stark von der Sonne beschienenen und daher sehr erhitzten Gegenden starke Strömungen von Luft und Dampf bis zu beträchtlichen Höhen aufsteigen, aus denen Wassertropfen niedergeschlagen werden, welche beim Fallen so viel mehr verdunsten, je mehr sie aufsteigenden Luftströmungen begegnen, wodurch sie sehr erkalten, gefrieren und dann im Fallen durch die Aufnahme des Wasserdunstes der Wolken vergrößert werden. In dieser Ansicht liegt gewiß viel Wahres, weswegen ihr auch SCHÜBLER<sup>3</sup> beitrifft; indess scheinen mir gegen die so große erkältende Wirkung der aufsteigenden, als warm und feucht so eben angenommenen Luftschichten aus den oben mitgetheilten Gründen bedeutende Zweifel hervorzugehen. Indem es nun gewiß höchst schwierig ist, dieses Problem völlig befriedigend zu erklären, so erlaube ich mir folgende Hypothese darüber mitzuthemen, welche im Wesentlichen auch schon von FRANKLIN<sup>4</sup> und COTTE<sup>5</sup> aufgestellt ist.

27. Zuvörderst sind die im Frühjahr so häufigen Graupelschauer durchaus nicht schwer zu erklären, indess bereitet ihre Erklärung diejenige vor, welche sich von der eigentlichen Hagelbildung geben läßt. Sie finden nämlich am häufigsten dann statt, wenn der Erdboden noch die Winterkälte hat, aber durch die Strahlen der höher emporkommenden Sonne oberfläch-

1 Brugnatelli Giorn. T. X. p. 359.

2 Denkschr. der Berl. Ges. d. Wiss. Jahrg. 1818. S. 73.

3 Schweigg. Journ. N. F. XIV. 229.

4 Manch. Mem. II. 357.

5 Journ. génér. de France. 1788. Nr. 95.

lich bedeutend erwärmt wird, so daß eine nicht unbeträchtliche Menge Wasserdampf in die höheren Regionen aufsteigt, wo noch im Ganzen die kalten winterlichen Luftströmungen herrschen. Einen sehr auffallenden Beweis dieser noch vorhandenen größeren Kälte giebt der Umstand, daß die Nächte dann noch meistens sehr kalt sind<sup>1</sup>, und daß man sowohl am Thermometer als auch an sich eine empfindliche Kälte wahrnimmt, sobald die Sonne durch die dann gewöhnlichen dicken Wolken nur momentan etwas verdunkelt wird. Wegen der im Ganzen herrschenden kalten und trocknen Luft, welche sich im Frühjahr oft auch dann ankündigt, wenn die unteren Luftschichten durch die kräftige Wirkung der anhaltend bei heiterem Himmel erwärmenden Sonnenstrahlen eine höhere Temperatur annehmen, ist die Verdampfung des Wassers von der Erde bei den vorherrschenden Graupelschauern bedeutend stark, und erklärt die bekannte Erfahrung, daß bei den häufig und zuweilen mehrmals an einem Tage wiederkehrenden Regenschauern der Boden leicht Trockenheit zeigt, und die Vegetation, insbesondere in sandigen Gegenden, nur langsam fortschreitet; denn vieles Wasser geben solche Strichregen insbesondere im nördlichen Deutschlande nicht. Die mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten steigen dann durch ihr geringeres specifisches Gewicht als Folge theils ihrer Erwärmung, theils ihres großen Dampfgehaltes in die Höhe, und werden wegen der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der Luft nicht eher abgekühlt, als bis sie durch einen Windstoß oder das Eindringen der umgebenden kälteren Luftschichten in ihre Masse, bewirkt durch einen partiellen Niederschlag oder eine sonstige Ursache, mit den kälteren Luftschichten gemengt sind. In dem Augenblicke, wenn dieses geschieht, erfolgt eine Vereinigung des Wasserdunstes zu Regentropfen, oder zusammenballenden Schneeflocken, welche in der kalten umgebenden Luft zusammensintern, und je nach dem quantitativen Verhältnisse und der niederen Temperatur der beigemischten kalten Luft wird aller Wasserdunst in Graupeln und Schnee, oder Graupeln allein oder Graupeln mit nachfolgendem Regen verwandelt, die ganze Wolke und mit ihr durch Raum-

---

1 In solchen Zeiten sind Nachtfröste sehr häufig und am meisten zu fürchten, wenn nach den Graupelschauern der Himmel am Abende heiter wird.

verminderung, als Folge des niedergeschlagenen Dampfes, die obere kalte Luftschicht senkt sich herab, es entsteht ein kurz-dauernder, nicht sehr heftiger Sturm, oft bloß ein starker Wind, und weil die gefrorenen Theile unterwegs nicht lange genug und in nicht sehr erwärmten Luftschichten verweilen, so kommen sie ungeschmolzen auf die Erde; die erleichterte Wolke hebt sich wieder, kann aufs Neue Dampf anziehen und den beendigten Proceß mehrmals wiederholen. Hieraus erklärt sich leicht, warum Graupeln auf hohen Bergen und bei milder Witterung im Winter so häufig sind. Solche Schauer sind allezeit stark elektrisch, liefern aber nur dann einen oder einige wenige Blitze mit starkem Donner, wenn sie bedeutend groß sind und der Niederschlag nebst dessen Gefrierung schnell erfolgt, weswegen dann auf das Graupeln meistens ein starkes Schneegestöber folgt.

28. Der Proceß der Hagelbildung muß wohl im Ganzen dem angegebenen ähnlich seyn, allein er erfolgt unter anderen Bedingungen und mit verschieden modificirten Erscheinungen, Zuerst kann man gegen Hagelwetter absolut oder im hohen Grade sicher seyn, so lange der Wind lebhaft wehet und die verschiedenen Luftschichten durch einander mischt, diese Sicherheit würde aber eine vollkommene seyn, wenn das Hagelwetter allezeit an demjenigen Orte und in denjenigen Luftregionen gebildet würde, worin seine Wirkungen zum Vorschein kommen. Es können indess in den unteren Luftschichten Bewegungen stattfinden, welche die oberen nicht afficiren, und auf gleiche Weise zeigt die Erfahrung, daß schon gebildeter Hagel zuweilen durch heftige Sturmwinde noch Meilenweit fortgetrieben wird, ehe er im Fallen die Erde erreicht. Eine zweite, den Hagelwettern fast allezeit vorausgehende Witterungsdisposition ist eine für die Jahreszeit ungewöhnliche schwüle Hitze mit meistens hellem Himmel. Viele Kennzeichen machen es wahrnehmbar, daß die Luft mit Wasserdampf völlig gesättigt ist, den sie entweder an dem Orte selbst aufgenommen hat, wo sie sich anhaltend ruhig oder in langsamer Bewegung befand, oder welcher aus entfernteren, meistens wärmeren und feuchten, Gegenden herbeigeführt wurde. Von diesem hohen Feuchtigkeitsgrade der Luft glaube ich auch hauptsächlich das unangenehme Gefühl ableiten zu müssen, welches die meisten Menschen vor einem starken Gewitter wegen gehemmter Ausdün-

stung empfinden. Dafs aber die sehr erwärmten und mit Wasserdampf übersättigten Luftschichten aufsteigen müssen, versteht sich von selbst, und da dieses über ausgedehnten Strecken geschieht, so erklärt sich hieraus das den Hagelwettern meistens vorausgehende und der Stärke derselben in der Regel proportionale Sinken des Barometers. Um die Wirkung dieser Ursache auf bestimmte Zahlengrößen zurückzubringen, wollen wir die Ausdehnung der Luft durch Wärme ganz vernachlässigen, weil diese sich auch auf gröfsere Entfernungen erstrecken kann, und blofs den Einflufs des Wasserdampfes in Rechnung nehmen. Es sey zu diesem Ende die Höhe, bis zu welcher diese Wirkung sich erstreckt = 10000 F. nach der oben Nr. 25. mitgetheilten Annahme v. HUMBOLDT's, und die Temperatur von dort an bis zur Erde von  $0^{\circ}$  bis  $30^{\circ}$  C. zunehmend; es ist ferner<sup>1</sup> die Dichtigkeit des Wasserdampfes für diese Temperaturen gegen Luft = 0,003005 und 0,023113, die Elasticität aber = 0,1282 und 1,0963, aus beiden das arithmetische Mittel also = 0,013059 und 0,6123. Das Product aus der Elasticität und Dichtigkeit genommen und mit der trockenen atmosphärischen Luft verglichen, giebt an, um wieviel die feuchte Luft leichter ist, und mit welcher Geschwindigkeit sie daher aufzusteigen strebt. Das Verhältnifs jener Gröfsen giebt 0,0002856, als um welchen Theil die mit Wasserdampf gesättigte Luft leichter ist, und wenn wir dann weiter mit genäherter Bestimmung annehmen, dafs die umgebenden Luftmassen nur bis zur Hälfte mit Wasserdampf gesättigt sind, so wird die eben gefundene Gröfse auf die Hälfte herabgehen. Die Geschwindigkeit, womit eine Flüssigkeitssäule in einer andern aufzusteigen oder herabzusinken strebt, wird aber nach der Formel  $c = n \sqrt{4gh}$  gefunden<sup>2</sup>, wenn  $c$  die Geschwindigkeit in 1 Secunde,  $g$  den Fallraum in derselben Zeit,  $h$  die verticale Höhe, alles in Pariser Fufsmafs, und  $n$  den Dichtigkeitscoefficienten bezeichnet. Setzt man für  $n$  den gefundenen Werth,  $g = 15$  F.  $h = 10000$  F. wie hypothetisch angenommen ist, so wird  $c = 0,1106$  F. als diejenige Geschwindigkeit gefunden, womit die Luft aufzusteigen das Bestreben hat. Die hiernach aufgefundene Steigkraft der Luft, wenn wir dieses so nennen wollen, kann und wird in den bei

1 S. *Dampf*. Th. II. S. 386 u. 351.

2 S. unter *Heizung*. Nr. 31.

weitem meisten Fällen noch bedeutend vermehrt werden durch die in Folge erhöhter Temperatur stattfindende Ausdehnung; daß sie aber nicht als wirkliche Bewegung realisirt werden könne, dieses versteht sich von selbst, weil sonst unter der angenommenen Luftsäule ein Vacuum entstehen müßte. Soll dieses Aufsteigen also wirklich stattfinden, so muß unten von irgend einer oder von allen Seiten her die Luft zuströmen, und aus diesen Strömungen leite ich die einzelnen aufsteigenden, Staub, Kräuter u. s. w. mit sich nehmenden Wirbelwinde her, welche man zur Zeit der herrschenden Gewitter so oft wahrzunehmen pflegt und als Folgen der Elektrizität ansieht, obgleich diese letztere die Körper geradlinig anzieht und abstößt, auch kein Grund vorliegt, welcher plötzlich an irgend einer Stelle der Erdoberfläche so viele Elektrizität zu erzeugen vermöchte, daß dadurch nicht selten bedeutende Massen in die Höhe gehoben würden, indem sonst vielmehr die Elektrizität aus der Luft sich über die Erdoberfläche zu verbreiten das Bestreben zeigt. Hieraus wird es dann endlich auch erklärlich, daß in den unteren Regionen mächtig starke Luftströmungen stattfinden können, obgleich in größeren Höhen über der Erdoberfläche eine gänzliche Ruhe herrscht.

29. Hiernach kann also ohne irgend einen, auch nur scheinbaren Gegengrund angenommen werden, daß bedeutend erwärmte und mit Wasserdampf gesättigte Luftmassen allmählig zu beträchtlichen Höhen emporsteigen. Daß solche in höheren Regionen oft wirklich vorhanden sind, ist übrigens nicht bloße Hypothese, sondern Thatsache. Außerdem, daß gewiß jeder aufmerksame Beobachter beim Ersteigen nur mächtig hoher Berge oft bedeutend erwärmte Luftschichten, hauptsächlich des Abends, angetroffen hat, erwähnt BRANDES<sup>1</sup> seine Wahrnehmungen solcher warmen Luftschichten durch die Strahlenbrechung in denselben, und eben diese bringen dann auch die Verdoppelung der Bilder in der Luft hervor, welche nicht selten bald an der einen, bald an der andern Stelle wahrgenommen wird<sup>2</sup>. Auf LA PEROUSE'S Reise fühlten sich die Matrosen im Mastkorbe wiederholt von glühend heißen Dünsten umgeben, welche wie-

1 Beobachtungen über die Strahlenbrechung. Oldenb. 1807. 4. S. 46.

2 Brandes a. a. O. S. 121. u. bei G. XVII. 176.

der verschwanden, aber nach 1,5 Minuten etwa wiederkehrten, und diesernach in einzelnen Massen vorhanden seyn mußten; es folgte eine Wetterveränderung auf dieses Phänomen <sup>1</sup>, und auch GARNERIN berichtet, daß er bei seinem aërostatischen Aufsteigen am 28sten Juni 1802 mit Capt. SNOWDON in den oberen Regionen sehr warme Luftschichten getroffen habe <sup>2</sup>. Was aber im Einzelnen so häufig vorkommt, kann auch im Großen noch leichter stattfinden, ohne deswegen oft beobachtet zu werden, und man darf daher das theoretisch so wohl begründete Aufsteigen der stark erwärmten und mit Dünsten überladenen Luftschichten über feuchten, mehrere Quadratmeilen einnehmenden Strecken immerhin als Thatsache annehmen. Wegen der schlechten Wärmeleitung der Luft können diese Massen nur an den Grenzen abgekühlt werden, in sich selbst aber werden sie die höhere Temperatur und den großen Gehalt an Wasserdampf beibehalten. Wie hoch solche Massen sich erheben ist zwar nicht genau bestimmbar, allein wenn die schwüle Hitze lange anhält und die Windstille längere Zeit dauert, so ist es kaum anders möglich, als daß sie sich weit über die Schneegrenze, folglich in Gegenden erheben, deren mittlere Temperatur tief unter dem Gefrierpunkte liegt. Dabei ist keineswegs erforderlich, daß diese Luftmassen ganz unbeweglich mehrere Tage stehen bleiben, vielmehr ist es aus vielen Gründen sehr wahrscheinlich und zur Erklärung der Phänomene nothwendig anzunehmen, daß sie sich langsam über weite Strecken, und zuweilen in der Art bewegen, daß an dem Orte der ursprünglichen Bildung stets neue solche Massen aufsteigen. Wie würde es sonst möglich gewesen seyn, daß bei dem großen Hagelwetter im Jahre 1788 eine Strecke von mehr als 100 Lieues durch Hagel verwüstet wurde, wenn man voraussetzen wollte, die gesammte Menge sey aus einer einzigen fortbewegten Wolke herabgefallen, und nicht vielmehr, daß die atmosphärischen Bedingungen zur Bildung einer so enormen Menge Hagels schon vorher über der ganzen Strecke verbreitet gewesen wären, in denen dann der Niederschlag schnell nach einander erfolgen mußte.

30. In diesen gewiß nur allzuwohl begründeten Bedin-

1 Voyage autour du Monde. II. 389.

2 G. XVI. 26.

gungen liegen übrigens die sämmtlichen Elemente zur Erklärung der so oft untersuchten furchtbaren Naturerscheinung, wie die folgenden Betrachtungen näher nachweisen werden. Die so aufsteigenden Luftmassen müssen durch ihre Ausdehnung bei vermindertem Drucke von ihrer Temperatur allerdings verlieren, allein ihre Wärme bleibt allezeit gröfser, als die der umgebenden Luftmassen. Was vorerst den enthaltenen Wasserdampf betrifft, so sind die Gesetze seines Verhaltens zur Erzeugung der bekannten atmosphärischen Processe sehr geeignet. Zuvörderst kann der Wasserdampf nicht füglich in solche Höhen gelangen, dafs die Elasticität der Luft geringer wäre, als seine eigene; je höher derselbe aber gehoben wird, um so gröfser ist seine Menge im Verhältnifs zur Luft, da die Menge des in einem gegebenen Raume enthaltenen Wasserdampfes unter jedem Luftdrucke dieselbe ist <sup>1</sup>. Wird aber die Temperatur vermindert, so erfolgt dennoch keineswegs sogleich ein Niederschlag, wenn der Dampf nicht mit einem die Wärme leicht aufnehmenden dichten Körper in Berührung kommt, vielmehr kann sich derselbe lange bei einer hohen Temperatur erhalten, wie sich in Brauhäusern, Salzsiedereien u. s. w. zeigt, und hierauf beruhet hauptsächlich die hohe Wärme, welche nach obigen Angaben in höheren Regionen oft beobachtet ist. Sinkt die Temperatur herab, so wird die Dichtigkeit des Dampfes vermindert, und ein proportionaler Theil seiner freien Wärme zur Erzeugung dieser gröfseren Expansion verwandt <sup>2</sup>, bis er für den gegebenen Raum und die vorhandene Wärme das Maximum der Dichtigkeit erreicht hat, welches diesernach also bei fortgesetztem Aufsteigen nothwendig endlich überschritten werden mufs, wenn nicht stets hinzukommende trockene Luftschichten ihn aufnehmen. Nach überschrittenem Maximum der Dichtigkeit folgt dann aber nicht sogleich ein Herabfallen des wässerigen Niederschlags, sondern es entsteht Dunst <sup>3</sup>, welcher sich in der Gestalt dichter oder dünnerer Wolken eine geraume Zeit schwebend erhält, und die nachfolgenden Hydrometeore hauptsächlich bedingt. Schwieriger ist die Entscheidung der Frage, ob die aufsteigende und dadurch stets dünner werdende Luft

1 S. *Dampf*. Th. II. S. 403.

2 S. *Ebend.* S. 301.

3 S. *diesen Art.* Th. II. S. 644.

eben hierdurch kälter wird, als die in gleichen Höhen befindliche, oder ob sie wärmer bleibt. Es wird gewifs mehrere Physiker geben, welche wegen der bedeutenden, durch Compression der Luft ausgeschiedenen, umgekehrt also durch ihre Expansion latent werdenden Wärme der ersteren Meinung zugethan sind, inzwischen habe ich schon im Art. *Erde*<sup>1</sup> aus überwiegenden Gründen dargethan, dafs die aus den niederen Regionen aufsteigende Luft durch Expansion nicht bis zu derjenigen Temperatur erkaltet, welche jener Region zugehört, wohin sie aufgestiegen ist. Wir müssen uns also denken, dafs die aus den angegebenen Gründen emporgehobenen Luftmassen sowohl oben als auch seitwärts von anderen kälteren umgeben sind, und sich in ihnen ruhend oder langsam bewegt erhalten, weil wegen Windstille keine Mengung derselben erfolgt, und sie wegen schlechter Leitung ihre Wärme an die Umgebung nicht abtreten. Diese hoch emporgehobenen Luftmassen sind dann das Materiale der Hagelwolken, ohne diese letzteren selbst zu seyn, welche allerdings weit niedriger angetroffen werden, und eben dadurch das ganze Phänomen so schwer zu erklären machen. Allmählig geben nämlich diese Luftmassen von ihrer höheren Wärme insbesondere an die sie begrenzenden höheren und sehr kalten Luftschichten ab, die feinsten Dünste werden niedergeschlagen, geben dem oberen, vorher dunkelblauen, Himmel ein trübes, milchiges Ansehen, und es erzeugen sich die in sehr grossen Höhen befindlichen zarten und flockigen Wolken, welche zuweilen schon einige Tage vorher Vorboten der Gewitter sind. Da ferner diese Magazine für die Hagelwolken über ausgedehnten, selbst hundert und mehrere Hunderte von Quadratmeilen einnehmenden Strecken sich befinden, so muß das Barometer örtlich allmählig sinken, weil die Luftmassen, vermöge ihrer Leichtigkeit, das Bestreben haben, in die Höhe zu steigen, ohne dafs dennoch bei ihrer Elasticität die umgebenden Luftmassen in sie eindringen, und das Entstehen der Winde veranlassen.

31. Der hier beschriebene Zustand, eigentlich ein unnatürlicher, dauert längere oder kürzere Zeit, zuweilen mehrere Tage, und es sind so viel schwerere Gewitter zu erwarten, je länger die Dauer desselben ist. Verschiedene Ursachen können

---

1 S. Th. III. S. 1048 ff. hauptsächlich S. 1064. N. 3.

die Aufhebung desselben herbeiführen, welche ohnehin einmal nothwendig erfolgen muß, und je rascher und gewaltsamer diese Katastrophe herbeigeführt wird, desto verheerender müssen die Wirkungen des in Hagel verwandelten Dampfes seyn. Nachdem nämlich an der oberen Grenze der angenommenen Luftmasse schon einiger Niederschlag erfolgt ist, wie aus der Trübung der Atmosphäre in jenen bedeutenden, bis 18000 ja bis mehr als 20000 F. hinaufgehenden Höhen und den daselbst gebildeten feinen Wolken ersichtlich wird, so muß durch die hieraus folgende Raumesverminderung ein Herabstürzen der oberen, empfindlich kalten Luftschichten herbeigeführt werden. Wie hoch die mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten hinaufgestiegen seyn mögen, ist zwar noch in keinem bestimmten Falle durch die Erfahrung ausgemittelt, allein wir besitzen Thatsachen genug, welche mindestens genäherte Bestimmungen zulassen. Denken wir uns vorerst die ganz feinen, gleich beim Anfange des Niederschlags entstandenen Wolken in der angegebenen Höhe, so befinden sie sich in einer Temperatur von  $-20^{\circ}$  C., wenn man mit v. HUMBOLDT unter den mittleren dem Hagel ausgesetzten Breiten, also etwa in unsern Gegenden den Gefrierpunct in 10000 F. Höhe setzt, und dann für 100 Toisen  $1^{\circ}$  R. Wärmeverminderung annimmt<sup>1</sup>, was gewiß für jene Höhen eher zu wenig, als zu viel ist. Dafs sich aber in so niederer Temperatur Wasserdampf als solcher befinden, dafs er aus dem schon gebildeten Eise durch Verdampfung entstehen und an einem anderen Orte wieder in Eis verwandelt werden könne, ist durch Beobachtung gegeben. Man weiß nämlich nicht blofs, dafs das Eis bei jeder auch noch so geringen uns bekannten Temperatur verdunstet, sondern ich selbst sah einst den Dunst von Eis bei  $-8^{\circ},75$  C. sich an eine bis  $-10^{\circ}$  C. erkältete Fläche zuerst in tropfbar flüssiger Gestalt anlegen, und unmittelbar danach gefrieren<sup>2</sup>, und außerdem beweisen die in der grimmigen Kälte der Polargegenden gebildeten Eiskristalle, welche bei übrigens heiterem Himmel den Staubschnee erzeugen und die Entstehung der Nebensonnen bedingen, die Möglichkeit der Schnee- und Eis-Bildung in der möglichst niedrigen

1 S. *Erde*. Th. III. S. 1019.

2 *Meine Physikal. Abhandl. Giefs*. 1816. S. 112. Vergl. ebend. S. 64.

Temperatur. Aus der von mir gemachten Beobachtung geht ferner hervor, daß der niedergeschlagene Dampf bei einer Temperatur von  $0^{\circ}$  oder unter diesen nicht bloß keineswegs sofort in Eis verwandelt werde, sondern daß er sich auch noch in weit größerer Kälte eine kurze Zeit im tropfbar flüssigen Zustande erhalten könne, was mit andern Erfahrungen genau übereinstimmt, bis das hiernach gebildete Wasser gefriert, und das somit entstandene Eis, der hierdurch entbundenen Wärme ungeachtet, namentlich durch die unausgesetzte Verdampfung, sehr bald wieder auf die Temperatur der Umgebung herabgeht. In dem Augenblicke aber, als die Niederschläge des Dampfes erfolgen und die ersten Eiskrystalle gebildet sind, werden diese, insbesondere wenn sie in einer sehr kalten Umgebung auf eine niedrige Temperatur herabgehen, die ohnehin schon tief erkalteten Wassertheilchen anziehen und hierdurch an Volumen zunehmen, wobei namentlich die ersten schon gebildeten Schneekrystalle sich zu dem Kerne der Hagelkörner zusammenballen. Je rascher von nun an, und in je größerer Menge der Niederschlag erfolgt, um desto mehr wird der Raum der Luft vermindert, woraus sich das dann erfolgende plötzliche Fallen des Barometers erklärt. Es ist oben Nr. 28. angegeben, daß der Sättigungszustand der Atmosphäre von  $0^{\circ}$  C. bis  $30^{\circ}$  C. eine Anwesenheit von Wasserdampf in derselben voraussetzt, dessen Menge 0,0002856 des gesammten Luftvolumens beträgt, und welchem eine Barometerhöhe von 0,6123 Z. entspricht. Ist dieser von der Erdoberfläche bis zu 10000 F. Höhe vertheilt, und gehört der ersteren Grenze 28 Par. Z., der letzteren 18 Z. Barometerhöhe zu, so ist für genäherte Bestimmungen das arithmetische Mittel hiervon = 23, und  $0,6123 : 23$  oder 0,02662 ist derjenige Theil, um welchen die Luftmasse durch den Niederschlag des in Dampfgestalt vorhandenen Wassers vermindert wird, wenn wir die Masse des letzteren als unbedeutend vernachlässigen. Es läßt sich demnach so ansehen, als würde aus der 10000 F. hohen Luftmasse eine Schicht von 266 F. Höhe weggenommen, und dadurch ein Sinken des Barometers um 0,6123 Par. Z. herbeigeführt. Weil aber ein Niederschlag des gesammten Wasserdampfes der Natur der Sache nach nicht erfolgen kann, das Barometer aber, wenn es auch vorher schon nach obiger Angabe um 0,6123 Z. gesunken war, bei der Hagelbildung dennoch zuweilen um eben so viel oder noch mehr sinkt,

so folgt hieraus, daß die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre die angenommene noch übersteigt, und er daher noch zu bedeutenderen Höhen, als die festgesetzte, aufgehoben seyn mußte. Es genügt indess, bei diesen hypothetischen Gröſsen einstweilen stehen zu bleiben.

32. Die angegebene Raumes - Verminderung afficirt aber sowohl die oberen als auch die unteren Luftmassen, und beide werden dadurch zur Bewegung sollicitirt werden, die ersteren herabzusinken, die letzteren aufzusteigen; beide aber werden durch ihre Trägheit diesem Antriebe widerstehen. Berücksichtigen wir diesen Effect in Beziehung auf die unteren Luftschichten allein, so hat dieses ein Sinken des Barometers zur Folge, nebst einem wirklichen Aufsteigen der unteren Luftschichten, wonach die Hagelkörner gleich nach ihrer Bildung nebst der Luft in die Höhe gehoben werden, und diesemnach länger in der kalten Umgebung verweilen, als außerdem der Fall seyn würde, wenn sie sogleich beim Entstehen herabfielen. Eben dieses hat dann zur Folge, daß in den unteren Schichten Luft von Außen herbeiströmt, um die aufsteigenden Massen zu ersetzen, eine Wirkung, welche sich durch die nach allen Seiten hin wehenden Winde vor dem eigentlichen Ausbruche des Hagelwetters ankündigt. Das Gewicht der unter den angezeigten Bedingungen stets wachsenden Hagelkörner nimmt zu, ihre Wolken, die sich nach der Richtung der in den unteren Regionen erzeugten Luftbewegungen bald hierhin, bald dorthin bewegen können, stets unter den verschiedenen Strömungen der stärkeren folgend, ohne daß ihr Zug derjenige ist, welchen sie später nehmen, sinken zuletzt herab, ziehen diesem gemäß die oberen Luftschichten nach sich, welche an sich kälter und schwerer dann wieder ein Steigen des Barometers veranlassen können und auch wirklich so oft veranlassen, daß Einige dieses als eine beständige Erscheinung starker herannahender Gewitter betrachten. Die sehr kalten und trockenen oberen Luftschichten stürzen sich in die unteren, der Wind nimmt die Richtung von jenen an und wird aus begreiflichen Gründen zum Orkane<sup>1</sup>, die Hagelkörner wachsen durch dieses Herabsinken der kalten Luft und die durch sie herbeigeführte Verdunstung, sie erreichen die Gröſse, die wir an ihnen bewundern, und gelangen auf den

---

1 Vergl. Art. *Wind*.

Erdboden, wenn gleich die ersten herabfallenden durch die bis zu einer mäfsigen Höhe über der Erdoberfläche noch dauernde Wärme ganz, die späteren blofs an ihrer Oberfläche etwas schmelzen. Der Anfang dieses Herabfallens oder des wirklich ausbrechenden Hagelwetters geschieht da, wo die vorbereitenden Ursachen den stärksten Effect erzeugt hatten, also die meisten und schwersten Hagelkörner gebildet waren, weswegen auch die zuerst getroffenen Gegenden die grösste Beschädigung erleiden, die umgebenden Grenzen aber nur durch wenigen und kleinen Hagel heimgesucht werden, welcher auf weitere Entfernungen ganz verschwindet. Endlich bedarf es kaum einer Erklärung, warum die Hagelschauer allezeit so vorzugsweise nach der Länge ausgedehnt sind, indem dieses aus der Heftigkeit des entstehenden Sturmwindes und dem Zusammenfliessen der umgebenden Luftschichten in denjenigen Raum, wo der Hagel zuerst herabzusinken anfängt, von selbst folgt.

33. Die auf anerkannte Thatsachen gestützte, hier mitgetheilte Erklärung eines so vielfach besprochenen Naturphänomens scheint mir völlig genügend, und ich wüßte nicht, welche Einwendungen dagegen vorzubringen seyn möchten. Dafs man diese ältere Ansicht aufgegeben und wieder zur Elektrizität seine Zuflucht genommen hat, wie noch ganz neuerdings geschehen ist<sup>1</sup>, geschah hauptsächlich aus zwei Gründen, nämlich zuerst, weil de Lüc und Andere die Hagelwolken in nicht so bedeutenden Höhen beobachteten und es allgemein bekannt ist, dafs sie nicht über hohe Berge wegzuziehen pflegen, und zweitens, weil nach einigen Beobachtungen die Luft in höheren Regionen sehr trocken gefunden ist. Rücksichtlich dieses letzteren Argumentes zeigen die den Gewittern vorausgehenden feinen Wolken in unglaublich grossen Höhen gegen jede Einrede evident einen dort herrschenden, den Sättigungspunct mit Wasserdampf übersteigenden Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre, dafs aber die höheren und umgebenden Luftmassen sehr trocken sind, dieses ist eben der Hagelbildung vorzüglich günstig und wird in der aufgestellten Hypothese als nothwendige Bedingung der Verdampfung und dadurch erzeugten Kälte angenommen<sup>2</sup>.

1 Bibl. univ. XXXIII. 51 ff.

2 Vergl. *Atmosphäre*. Th. I. S. 468.

Das erste Argument fällt aber von selbst weg, da wirklich gebildeter Hagel nie in großen Höhen angenommen wird, sondern nur die Elemente desselben, nämlich tief unter dem Gefrierpunct erkalteter Wasserdunst, welcher herabsinkt, die sehr kalten Luftmassen der höheren Regionen nach sich zieht, und daher erst in der Tiefe sich zu den großen Eismassen vereinigt. Diejenigen, welche annehmen, der Hagel entstehe in den niedern Wolken aus den Bestandtheilen derselben, dürften in großer Verlegenheit seyn, diese Hypothese auf das große, über sieben geographische Meilen sich erstreckende Hagelwetter in Hannover, oder gar auf dasjenige Hagelwetter anzuwenden, welches 1788 in zwei parallelen Streifen sich über mehr als hundert Lieues ausdehnte. Es ist ganz unmöglich, daß alles hierzu erforderliche Wasser in einer solchen ruhigen Luftmasse enthalten seyn sollte, und obendrein hätte der allezeit bei großen Hagelwettern stattfindende Sturm gar keinen Grund, noch unmöglicher aber ist es anzunehmen, daß eine einzige Wolke, durch den Wind bis auf 100 Lieues Entfernung fortgetrieben, alle jene Eismassen ausschütten sollte. Erklärlich werden diese Phänomene nur dadurch, daß wir annehmen, die mit Wasserdampf übersättigten Luftschichten steigen in großer Ausdehnung auf, werden durch schwache Luftströmungen, mitunter nur in den höheren Regionen, umbogen, über weite Strecken fortgeführt, und erst dann, wenn ein Niederschlag in ihnen erfolgt, wodurch beträchtliche Raumverminderung herbeigeführt wird und die umgebenden Luftmassen eindringen, sinken sie herab und die Hagelbildung nimmt auf die angegebene Weise ihren Anfang. Bei weitem der schwierigste Theil derselben, nämlich die Erzeugung einer zur Bildung der großen Eismassen erforderlichen Kälte, folgt aus den angegebenen Bedingungen von selbst. Bei dem Hagelwetter in Hannover sank das Thermometer, die höchste Temperatur des Tages und die geringste nach dem Fallen des Hagels gerechnet, von  $25^{\circ}$  R. bis  $5^{\circ}$  R. herab, und wenn man also annimmt, daß diese letztere nach dem Phänomene der unteren Luftschicht zugehörte, dann aber für jede 100 Toisen Erhebung  $1^{\circ}$  R. Wärmeverminderung rechnet, so kommen auf 10000 F. Höhe, als wohin man die ersten Elemente der Hagelbildung zu setzen keinen Anstand nehmen wird,  $16^{\circ},7$  R. Temperaturverminderung, wonach in jener Höhe die Wärme —  $11^{\circ},7$  R. betragen mußte. Man wird hiergegen nicht

einwenden, daß diese Temperatur erst nach der Hagelbildung stattfindet, welche vielmehr derselben habe vorausgehen müssen; denn wenn der Hagel herabgefallen ist, und die kälteren Luftmassen, in denen er gebildet wurde, mit ihm herabgesunken sind, dann erst lernen wir die Temperatur kennen, in welcher seine Elemente so sehr abgekühlt wurden, daß sie sich zu solchen Eismassen vereinigen konnten, und hierzu scheint mir die angenommene Kälte allerdings hinreichend, obgleich aus der gegebenen Darstellung folgt, daß die ersten Keime in noch kälterer Luft gebildet und dadurch fähig werden können, von den ohnehin schon sehr kalten Wasserpartikeln eine große Masse durch Gefrieren um sich zu vereinigen. In diesen Bedingungen liegen dann ferner die Gründe, warum es unter dem Aequator in einer Höhe von 1800 F. über der Oberfläche des Meeres nicht hageln kann. Dort herrscht nämlich zuerst der beständige Ostwind, welcher nebst der stärkeren Abkühlung durch die längeren Nächte und dem steten regelmäßigen Aufsteigen der erwärmten Luftschichten eine zur Hagelbildung erforderliche Stagnation der Luft nicht gestattet. Sollte aber durch hohes Aufsteigen der mit Dampf gesättigten Luftmassen die Hagelbildung wirklich eingeleitet und in hohen Regionen Hagel schon gebildet seyn, so sind die begrenzenden Luftschichten viel zu warm und die zwischen den in der Höhe erkalteten Luftschichten und der Erde liegenden Luftmassen viel zu groß und zu sehr mit Wasserdampf erfüllt, als daß sie durch die herabsinkenden so weit abgekühlt werden könnten, um bei ihrem hygrometrischen Zustande und der dadurch unmöglichen starken Verdampfung den entstandenen Hagel nicht zu schmelzen. In höheren Breiten dagegen kann durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen die mittlere Temperatur allerdings derjenigen unter der Linie gleich kommen, ohne daß die Wärme der Luftschichten bis zu einer so bedeutenden Höhe reicht, auch sind die angrenzenden Luftmassen kälter und erniedrigen durch ihr Zuströmen die Temperatur mehr, als dieses unter der Linie möglich ist. Endlich bleibt unter höheren Breiten der Erdboden, namentlich in bergigen und Wald-Gegenden, schon durch das aufgenommene Schneewasser selbst im höchsten Sommer bedeutend kälter, und wenn daher gleich die Erdoberfläche und die sie berührenden Luftschichten sehr heiß werden, so kann doch ungleich leichter eine Abkühlung dadurch erfolgen,

dafs der kältere Erdboden die Wärme sehr schnell wieder anzieht<sup>1</sup>.

Manche Nebenbedingungen und zufällig begleitende Umstände der Hagelbildung glaube ich nicht besonders in die ohnehin ausführliche Erklärung des Phänomens ziehen zu müssen. Dahin gehört, dafs die gröfseren Hagelkörner nach der angenommenen Theorie aus mehreren kleineren bestehen, deren Zusammensinterung von selbst erklärlich ist, ferner dafs statt runder Hagelkörner mit einem Kerne füglich auch blofse Eisstücke entstehen können. Ueberhaupt kann der ganze Procefs in längerer, füglich aber auch in sehr kurzer Zeit geschehen, und endlich ist es gewifs oft der Fall, dafs sich unter der Luftschicht, worin die Hagelbildung vor sich geht, noch eine andere befindet, welche daran keinen Antheil nimmt, wie denn endlich auch die ersteren aus ziemlich grofser Entfernung mit langsamerer oder schnellerer Luftbewegung an denjenigen Ort gelangen können, wo das Hagelwetter zum Ausbruche kommt. Alles dieses und mehreres andere versteht sich ohne weitere Erläuterung so ziemlich von selbst, auch bemerke ich blofs im Allgemeinen, dafs die Elektrizität Wirkung und nicht Ursache der Hagelbildung ist<sup>2</sup>. M.

## H a g e l a b l e i t e r .

Paragrèle; *Paragrelle*, *Protector from Hail*.

Welchen unermesslichen Schaden grofse Hagelwetter anrichten, dieses ist so ziemlich einem jeden aus eigener Erfahrung mehr oder minder genau bekannt, und kann aufserdem aus den im vorausgehenden Artikel mitgetheilten Beschreibungen solcher Naturphänomene leicht geschlossen werden. Um statt vieler Beispiele nur eins zu wählen, will ich gröfserer Bestimmtheit wegen anführen, dafs nach amtlicher Schätzung bei dem einen grofsen Hagelwetter in Frankreich im Jahre 1788 der Schaden fast 25 Mill., bei den übrigen gleichfalls in Frankreich in demselben Jahre des Steuer-Erlasses wegen amtlich taxirten Ver-

<sup>1</sup> Sollte einiges in dieser Theorie noch mangelhaft erscheinen, so wird dieses in den Artikeln *Regen*, *Wind* ergänzt werden.

<sup>2</sup> Vergl. Art. *Gewitter*. Desgl. BRANDES Beiträge zur Witterungskunde, Leipz. 1820. 8. S. 285 ff.

wüstungen durch Hagel aber noch über 8 Mill., also im Ganzen 23124486 Liv. betrug, wobei noch bemerkt wird, daß diese Bestimmung weit unter dem wirklichen Betrage sey, weil die Landleute nicht geneigt seyn konnten, den Ertrag ihrer Felder nach seiner ganzen Gröfse anzugeben. Nichts ist daher natürlicher, als daß man auf Mittel dachte, solchen Unglücksfällen vorzubeugen, und dieses um so mehr, je näher die Hagelwetter mit den Gewittern zusammenhängen, deren verderblichen Wirkungen auf Gebäude FRANKLIN so sinnreich zu begegnen wufste. In sofern es sich aber bei jedem Vorschlage zu Hagelableitern von einem Phänomene handelt, welches auf unwandbaren Naturgesetzen beruhet, so kann vernünftiger Weise kein solcher blofs nach eigenthümlichen Meinungen oder nach Gutdünken gemacht werden, mit der Forderung, daß die Erfahrung erst entscheiden müsse, ob derselbe zweckmäfsig sey, oder nicht. Die blofse Erfahrung ist ohnehin bei solchen zusammengesetzten und nach keiner bestimmten Regel in festgesetzten Terminen erfolgenden Naturerscheinungen ein höchst unsicheres Prüfungsmittel, insofern wir Fälle in Menge haben, daß manche Gegenden oft in nahen Perioden wiederholt durch Hagel heimgesucht wurden, und später ohne irgend einen aufweisbaren Grund viele Jahre verschont blieben. Wollte man also schliessen, dieses sey der Erfolg irgend eines des blofsen Versuchs wegen angewandten Mittels, so wäre dieser Schluß höchst fehlerhaft, und man müfste namentlich in dem oben Art. *Hagel* Nr. 12 angeführten Fälle annehmen, die Hagelwetter seyen durch Bannung von jenen Gegenden entfernt worden, was doch blofs zum Scherze der leichtgläubigen Menge aufgebürdet war. Es läfst sich aber namentlich bei den Blitzableitern bis zur Evidenz darthun, daß sie die beabsichtigte Wirkung, nämlich momentanen Schutz gegen einen Blitzschlag, hervorzubringen durchaus im Stande sind, und mit eben dieser Gewifsheit kann gesagt werden, daß keiner der vielen Vorschläge zur Abwendung des Hagels irgend einen Erfolg hervorzubringen vermag. Die natürlich wirkenden Schutzmittel, also mit Ausschluß der hierher nicht gehörigen geweihten Kräuter, Glocken, der geheiligten und Zauberformeln u. s. w. sollen auf eine dreifache Weise ihre Kraft äußern, entweder durch Entziehung der Elektrizität, oder durch mechanische Erschütterung der Luftschichten, oder endlich durch einen chemisch zersetzenden Ein-

fluß auf das Mischungsverhältniß der atmosphärischen Luft. Bei den ersten wird vorausgesetzt, daß die Elektrizität eine Ursache der Hagelbildung sey. Aus den im Art. *Hagel* mitgetheilten Untersuchungen folgt aber, daß sie vielmehr als eine Folge davon betrachtet werden müsse, wie denn auch manche Gewitter eine unglaubliche Menge Elektrizität entbinden, ohne Hagelbildung zu zeigen. Gesetzt aber auch die Elektrizität wäre zur Entstehung des Hagels unumgänglich nothwendig, so ist bekannt, daß die Blitzableiter, wie viele deren auch in einer Stadt beisammen sind, ebenso wenig als die Baumspitzen der größten Wälder, den Gewittern die Elektrizität entziehen, sondern bloß ihre Explosionen für den individuellen geschützten Ort durch Ableitung unschädlich machen. Endlich aber ist nach vielfachen Erfahrungen der Hagel oft ganz entschieden schon gebildet in der Wolke enthalten, und wird durch heftigen Sturmwind auf entfernte Strecken, selbst Stunden- und Meilenweit fortgeführt, kann daher unmöglich an denjenigen Orten durch Entziehung der El. wieder vernichtet werden, wo er seine Verheerungen anrichtet, und dieses Schutzmittel müßte daher eine Ausbreitung über ganze Continente und Inseln erhalten, ja sogar sich weit in das Meer hinein erstrecken, wenn die Wirkung desselben sicher seyn sollte, wonach aber jeder Vorschlag an der Unmöglichkeit der Ausführung scheitert. Die Schutzmittel der zweiten Classe, nämlich diejenigen, welche eine Erschütterung der Luft und eine Mengung der verschiedenen Schichten erzeugen sollen, als heftige Explosionen, ferner große Feuer auf Bergen, welche durch die Erhitzung der Luft aufwärts steigende Luftströmungen hervorbringen sollen u. dgl. versprechen ungleich sicherere Effecte. Es ist nämlich die Hagelbildung nach der aufgestellten wahrscheinlichsten Hypothese als eine Folge der ruhig aufsteigenden und zu sehr großen Höhen sich erhebenden, mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten dargestellt, und somit ist es allerdings denkbar, daß eine frühzeitig genug eingeleitete Mischung der ungleich erwärmten Luftschichten einen Stillstand der zur Hagelbildung erforderlichen Bedingungen eben so gut herbeizuführen vermögend seyn könnte, als dieses ohne Zweifel in vielen Fällen durch einen frischen Wind zu geschehen pflegt, so daß also die Beispiele von Gewittern, welche auf diese Weise zerstört seyn soll, nicht ganz falsch seyn mögen. Da man aber von einer bevorstehen-

den Gewitterbildung nur sehr unsichere Vorzeichen hat, dabei aber nie mit Sicherheit voraus bestimmen kann, ob es zugleich ein Hagelwetter seyn werde, endlich aber durchaus den Ort, wo dasselbe gebildet wird, nicht voraus zu wissen vermag, bei der wirklichen Annäherung des Gewitters aber die Luftschichten ohnehin mehr erschüttert und in gröfsere Bewegung gesetzt sind, als menschliche Mittel dieses zu erreichen vermögen, so folgt hieraus nothwendig, dafs auch auf diese Weise keine Sicherung zu erlangen ist. Zur Erhaltung derselben würde erforderlich seyn, dafs man an allen schwülen Tagen über weiten Länderstrecken solche Explosionen oder grofse Feuer anwendete, welches einen gröfseren Aufwand erforderte, als der dadurch erreichbare Nutzen beträgt, und wobei es dennoch allezeit fraglich bleibt, ob die verhältnismäfsig immer noch kleinlichen Mittel gegen einen so ungeheueren Naturprocefs nicht zu schwach seyn würden. An eine chemische Einwirkung auf den Luftkreis in denjenigen Gegenden, wo die Hagelbildung vorgeht, wodurch der vorhandene Wasserdampf weggenommen, oder seine Verwandlung in Eis gehindert würde, ist gar nicht zu denken, und es ist daher überflüssig, hierfür weitere Gründe beizubringen. Insofern daher der Hagel sich erst dann zeigt, wenn er schon wirklich gebildet ist, dann aber kein Mittel gegen sein Herabfallen möglich ist, so fallen alle Vorschläge der Hagelableitung von selbst weg.

Nach diesen so völlig klaren und vollständig beweisenden theoretischen Argumenten ist eine nähere Prüfung der verschiedenen einzelnen Vorschläge für Hagelableiter überflüssig, und wenn ich dieselben dennoch hier kurz erwähne, so geschieht dieses theils des geschichtlichen Interesses wegen, theils um nachzuweisen, dafs mir die zahlreichen Scheingründe, welche man vielseitig für die einen und die andern aufgestellt hat, bei der Fällung jenes Urtheils keineswegs fremd waren. Es scheint mir dieses aber gegenwärtig um so nöthiger, da sich ganz kürzlich gegen alles Erwarten ein so lebhafter Streit über eine längst entschiedene Sache erhoben hat.

So viel mir bekannt ist, war GUENAUT DE MONTBEILLARD<sup>1</sup> der erste, welcher 1776 in einer ausführlichen Abhandlung den

---

<sup>1</sup> Journ. de Phys. XXI. p. 146. Mém. de l'Acad. de Dijon T. VIII.

Vorschlag that, den Wolken durch eine ganze Menge von Blitzableitern alle Elektrizität zu entziehen und dadurch die Hagelbildung unmöglich zu machen. Eben dieses äußerte auch **BUISSART** aus **ARRAS**<sup>1</sup>, und **GUYTON DE MORVEAU** hatte es unlängst als eine Folgerung aus seiner Theorie des Hagels aufgestellt<sup>2</sup>, welcher nach ihm, übereinstimmend mit **MONGEZ**, durch die bloße Wirkung der Elektrizität gebildet werden sollte. Insbesondere aber theilt **BERTHOLON**<sup>3</sup> eine genaue Beschreibung der Construction solcher Hagelableiter mit. Um nicht bloß dieses Mittel, sondern auch das in einigen Gegenden Süddeutschlands damals übliche Anzünden von Feuern auf hohen Bergen, das Abfeuern von Pöllern u. s. w. zu prüfen, gab die **Baierische Akademie der Wiss.** für das Jahr 1785 die Preisfrage über die zweckmäßigen Mittel zur Abhaltung des Hagels auf, und krönte eine gelehrte, nachher wenig beachtete Preisschrift von **P. HEINRICH**, worin alle diese Mittel als keineswegs völlig sichernd angegeben wurden<sup>4</sup>. Uebergehe ich die vielen einzelnen Aeußerungen über die Zerstörung der Hagelwolken durch Vervielfachung der Blitzableiter, so verdient noch **SEIFERHELD**'s Schrift<sup>5</sup> eine kurze Erwähnung. Dieser brachte bei einer Temperatur von  $-13^{\circ}$  R. Wassertropfen auf einen ersten Leiter und fand, daß sie augenblicklich zu milchigem Eise gefroren, wenn ein el. Funke hindurchging. Man wird sich jetzt wundern, daß man auf diesen Versuch den Schluß bauen konnte, die Elektrizität bilde den Hagel, da man doch bei einer Temperatur von  $-13^{\circ}$  R. nicht in Verlegenheit ist zu bestimmen, woher die Verwandlung des Wassers in Eis rühre. Inzwischen wurde hierauf der Vorschlag gegründet, an jedem Ende eines Ackers zwei eiserne Stangen an Pfählen mit Pech überzogen aufzurichten, die eine 3 die andere 20 F. hoch, damit jene den von der Erde aufsteigenden Dünsten, diese den Wolken die

---

1 Journ. de Phys. XXI. p. 140.

2 Journ. de Phys. IX. 60.

3 Electricité des Météores. Lyon 1787. T. II, p. 205.

4 Neue Abh. der Baiers. Akademie Bd. V.

5 Elektr. Versuch, wodurch Wassertropfen in Hagelkörner verändert worden, samt d. Frage an die Naturforscher: ist eine Hagelableitung ausführbar? Nürnberg. 1790. 8. Vergl. Lichtenb. Mag. IV. 2. S. 189.

Elektricität entziehen möge. Dafs dieser Vorschlag nie in Anwendung gekommen sey, begreift sich leicht.

Weil die Hypothese, Hagelwetter könnten durch häufige Blitzableiter zerstört werden, immer noch viele Anhänger fand, so gab die Gesellschaft naturforschender Freunde in Berlin im Jahre 1800 die Preisfrage über den Nutzen dieses Schutzmittels auf. Die Verfasser beider Preisschriften, E. F. WREDE und C. S. WEISS, wovon der letztere den Gegenstand am umfangendsten und gründlichsten behandelt hat, stimmen darin zusammen, dafs auf keine Weise die Elektricität als Ursache der Hagelbildung anzusehen sey, und wenn sie dieses auch wäre, so sey es aus den oben von mir bereits angegebenen Gründen weder möglich noch dem beabsichtigten Zwecke entsprechend, wenn man den Hagelwolken dieselbe durch vervielfachte Blitzableiter entziehen wollte. Mit diesem wohlbegründeten Urtheile begnügte man sich seitdem, und fand es der Sache stets um so angemessener, je mehr die Begriffe über die Wirksamkeit der Elektricität erweitert und berichtigt wurden, allein es ergab sich in den neuesten Zeiten, dafs die Entscheidung der erfahrensten und berühmtesten Physiker noch immer das Urtheil der Menge nicht zu bestimmen vermag. Im Jahre 1820 nämlich trat LA POSTOLLE<sup>1</sup> mit seiner Empfehlung von Blitzableitern aus Strohseilen keck vor das Publicum, hoffte die Sachverständigen durch seine Dreistigkeit bei völliger Grundlosigkeit aller seiner Behauptungen verstummen zu machen, und pries die neue Erfindung zugleich als ein Schutzmittel gegen die Hagelschäden an. Wie indess der Vorschlag von den Physikern allgemein verworfen wurde, ist bereits im Art. *Blitzableiter*<sup>2</sup> erzählt, und hier kann daher nur noch des geschichtlichen Interesses wegen der Streit erwähnt werden, welcher sich seitdem zwischen denen erhoben hat, welche die Sache, wie billig, verwarfen, und denen, welche sie wider alles Erwarten in Schutz nahmen, indem sie von dem falschen Grundsatz ausgingen, der Vorschlag könne nur durch die Erfahrung geprüft werden. Obgleich aber diese in so weit sattsam darüber entschieden hat, als dieses der Natur der Sache nach möglich ist, und

<sup>1</sup> *Traité des parafoudres et des paragrés en cordes de paille*, oct. Amiens 1820. 8.

<sup>2</sup> S. Th. I. S. 1036.

diesemnach die Stimme der Vertheidiger allmählig verstummt ist, so läßt sich doch bei der Lebhaftigkeit des darüber geführten Streites keineswegs mit Gewißheit behaupten, ob nicht noch manche im Vorurtheil befangene auch gegenwärtig beobachten, was sie finden zu müssen im Voraus die feste Ueberzeugung haben.

Die Commissarien des französischen Institutes, CHARLES und GAY-LÜSSAC verwarfen gleich anfangs die von LA POSTOLLE vorgeschlagene und somit auch die späterhin ihnen von THOLLARD<sup>1</sup> nachgebildeten Hagelableiter aus Strohseilen an Stangen mit hölzerner Spitze und aus Strohseilen mit eingeflochtener leinener Schnur mit messingener Spitze gänzlich, und eben so BIOT in seiner Beurtheilung derselben<sup>2</sup>. Dagegen aber nahm sich hauptsächlich die *Société Linnéenne* in Paris, die Societät der Agricultur von Bologna, die Gesellschaft für Naturwissenschaften im Canton de Vaud, die Weinbau-Gesellschaft in Lausanne, die königl. Agricultur-Gesellschaft in Lyon, die Agricultur-Gesellschaft in Genf, die akademische Gesellschaft in Savoyen und verschiedene andere der Sache an<sup>3</sup>. Einige von diesen setzten seit 1824 Preise aus, um Erfahrungen darüber zu sammeln, und wollen diese auch wirklich in Menge nicht blofs aus Frankreich, sondern hauptsächlich auch aus Italien, der Schweiz und aus vielen Orten des südlichen Deutschlands erhalten haben, indem ihnen vorzüglich THOLLARD, CHAVANNES, BELTRAMI, ASTOLFI, ORIOLI, der Baron CRUD, SAINT-MARTIN, LACOSTE und viele andere die günstigsten Erfolge ihrer angestellten Versuche meldeten<sup>4</sup>. - Hauptsächlich gehört ORIOLI

1 Annales de l'Indust. nat. et étrang. 1823. Janv. p. 72.

2 Journ. des Savans. 1821. Mai. p. 287. Jene Commissarien sagten: Nous estimons, que cet objet n'est point digne de l'attention de l'Académie.

3 Bibl. univ. XXXIII. 45.

4 Weitläufiger Bericht hierüber in Annales de la Soc. Lin. de Paris. V. 171. wo sich zugleich eine Menge literarische Nachweisungen über hierher gehörige Erfahrungen finden. Frühere Abhandlungen sind mitgetheilt: Von ORIOLI in Feuille du Canton de Vaud. T. XII. von CHAVANNES in Bibl. univ. XXVIII. 34. von SAINT-MARTIN et LACOSTE Rapport à Mr. le Chev. de PULLINI DE ST. ANTONIN cet. sur l'essai de paragrèlage cet. Chambéry. 1825. THOLLARD in Bibl. Physico-écon. 1823. Mars p. 164. Vergl. Edinb. Phil. Journ. N. S. N. V. p. 103.

unter die Vertheidiger des Vorschlags, giebt sich viele Mühe, das Urtheil der Pariser Akademie zu widerlegen, und meint, die Sache könne nur durch wiederholte Versuche entschieden werden<sup>1</sup>. Inzwischen getrauet er sich dennoch nicht, die Ableiter aus Strohseilen ernstlich in Schutz zu nehmen, meint aber die metallenen könnten zuweilen allerdings nützen<sup>2</sup>, wodurch in-  
dels die ganze Sache wieder auf einen unlängst verworfenen Vorschlag zurückkommt.

Ungleich gröfser aber, als die Zahl der so wenig zuverlässigen Erfahrungen für die Wirksamkeit der Hagelableiter ist die überwiegende Menge derjenigen, welche ganz bestimmt dagegen entscheiden. Unter andern versichert RIECKE<sup>3</sup> nach einer Menge von Beobachtungen, dafs die Felder durch sie keineswegs geschützt wurden; nach v. JACQUIN<sup>4</sup> haben sie ihre Kraft in Ungarn und Illyrien durchaus nicht bewährt; am meisten Aufsehen machte es aber, als die mit Hagelableitern auf das vollkommenste geschützten Weinberge des Canton de Vaud in der Nacht vom 22. auf den 23. Juli 1826 gänzlich verhagelten, während einige nicht damit versehene in der Umgegend verschont wurden<sup>5</sup>. Nicht ohne Grund findet es ARAGO<sup>6</sup> sehr auffallend, dafs die Vertheidiger dieser Hagelableiter sich dabei meistens auf VOLTA'S Theorie der Hagelbildung berufen, da doch dieser berühmte Physiker ausdrücklich erklärte, die Gewitterwolken könnten auf keine Weise durch vermehrte Blitzableiter zerstört werden. FRESNEL<sup>7</sup> verwirft sie gleichfalls aus theoretischen Gründen, und setzt sehr richtig hinzu, die Versuche zur Prüfung des Vorschlages seyen viel zu kostspielig, als dafs man sie bei der grossen Unwahrscheinlichkeit irgend eines Erfolges an-

1 Brevi Considerazioni pella Risposta della celebre Accademia reale delle Scienze di Parigi. cet. Bologna 1826. 8.

2 Dei paragrardini metallici. Discorsi IV. di Fr. OMOLI. Bologna 1826. 8. Auch THOLLARD meint gegen das Urtheil der Akademie, es könne blofs das Experiment entscheiden; allein es wäre schlimm, wenn der Einfall jedes Thoren auf Staatskosten durch Versuche geprüft werden sollte.

3 Correspondenzblatt des Würtemb. Landwirths. Vereins. VII. 225.

4 Oestr. Beob. 1825. Nr. 265.

5 Bibl. univ. XXXIII. 50.

6 Annuaire présenté au Roi. Pour l'an 1829.

7 Ann. Chim. Phys. XXII. 303.

stellen könne, was mit ARAGO'S Ansicht übereinstimmt, wenn er sagt<sup>1</sup>, daß die Versuche mindestens eine ganze Reihe von Jahren hindurch fortgesetzt werden müßten, wenn man ein entscheidendes Resultat erhalten wolle<sup>2</sup>. Dieses ist nicht bloß an sich zu berücksichtigen, sondern insbesondere auch aus dem Grunde, weil gewisse Gegenden nicht selten mehrere Jahre von Hagelwettern heimgesucht und nachher lange Zeit damit verschont werden. Selbst das sehr einleuchtende Argument, daß es in Wäldern und Städten so oft hagele, obgleich in letzteren den Wolken ihre Elektrizität durch die große Menge von Blitzableitern, Thurmspitzen u. s. w. ungleich besser entzogen werden müßte, als dieses durch die größte Zahl der Hagelableiter möglich seyn kann, da die letzteren sich der Stürme wegen nicht bedeutend hoch machen lassen, wollten die Landwirthe nicht gelten lassen, sondern verlangten Proben zu machen. Die Societät der Agricultur in Paris wandte sich daher an das Ministerium und wünschte Versuche im Großen angestellt zu haben, letzteres verlangte ein Gutachten der Akademie, und diese erklärte den Erfolg für die Größe des erforderlichen Aufwandes für viel zu ungewiß. Inzwischen wurden von Privaten und in Italien auch von den Regierungen eine nicht geringe Menge von Versuchen angestellt, und wenn der Erfolg nur in einiger Hinsicht die gehegten Erwartungen zu bestätigen schien, so wurde dieses bekannt gemacht, wogegen man aus begreiflichen Gründen das Mißlingen sorgfältig verschwieg. Dennoch aber wurde es bekannt, daß im Jahre 1826 die geschützten Felder eben so gut als die nicht geschützten verhagelten<sup>3</sup>. Während dem aber im südlichen Frankreich, in der Schweiz und Süddeutschland, im Waadtlande und hauptsächlich in Italien der Streit mit großer Heftigkeit geführt wurde und viele vergebliche Proben nicht unbedeutende Kosten verursachten, folgte man im nördlichen Deutschlande, in England u. s. w. dem wohlgegründeten Urtheile der sachverständigen Physiker.

Indefs lernte J. MURRAY<sup>4</sup> auf seinen Reisen viele von den-

1 Annuaire présenté au Roi. Pour l'an 1829.

2 Vergl. die ausführlichen Discussionen hierüber im Globe. 1826. 16. Mars; 11. Mai; 22. Juin.

3 ARAGO in Ann. Ch. Ph. XXXIII. 420. Vergl. Ann. de la Soc. Linnéenne. 1827. Jan. p. 580.

4 Edinb. Phil. Journ. N. S. Nr. V. 103.

jenigen Männern kennen, welche die Thollard'schen Hagelableiter vorzugsweise in Schutz nahmen, und wurde daher, so viel mir bekannt, der einzige, welcher dieses Hülfsmittel als unzweifelhaft sicher auch seinen Landsleuten empfohlen hat. Dabei beruft er sich auf den schon 1788 von PINAZZI in Mantua gemachten Vorschlag, die Hagelwetter durch vervielfachte Blitzableiter zu zerstören, dann auf die zahlreichen Erfahrungen, welche die oben genannten Männer in der neuesten Zeit hierüber gemacht haben wollen. Sie erstrecken sich aber nicht weiter als bis zum Jahre 1825, und gerade im folgenden entschieden so manche Verheerungen der geschützten Felder so sehr gegen die Zweckmäßigkeit des Vorschlags, daß die Hagelableiter von Stroh eben so wenig als die früher vorgeschlagenen von Metall jetzt noch in England Eingang finden werden; indess ist zu wünschen, daß eine zu wiederholten Malen unlängst abgethane Sache künftig nicht abermals unnütze Discussionen und vergebliche Kosten veranlassen möge.

Zu einer mechanischen Zertheilung der Hagelwolken nahm man schon sehr früh seine Zuflucht. So berichtet PARENT<sup>1</sup>, daß die Einwohner von Iliers bei dem großen Hagelwetter am 15. Mai ihre Glocken mit außerordentlicher Gewalt läuteten, wodurch die Wolke dann zertheilt, und ihre Feldmark verschont seyn soll. Man ist jetzt allgemein der Meinung, daß dieses Mittel zur Erreichung des beabsichtigten Zwecks viel zu schwach sey, auch ergiebt sich das Ungenügende desselben schon daraus, daß die meisten nur geweihte Glocken hierzu für brauchbar hielten<sup>2</sup>. Daß man früher und vielleicht an einigen Orten bis auf die jetzigen Zeiten herab glaubte, es sey gegen die Hagelwetter und die Gewitter überhaupt ein Hülfsmittel, Feuer auf den Herden anzuzünden, gehört gleichfalls in das Gebiet des Aberglaubens, denn dieses Vorurtheil ist wohl ohne Zweifel aus dem Wahne entstanden, daß die verbrannten geweihten Kräuter dem Hause einen Schutz gewähren könnten, und als dieser Aberglaube verschwand, hielt man das Anzünden des Feuers selbst für das wirksame Hülfsmittel, da vielmehr der Rauch den Blitzstrahl anzieht, auf das Gewitter im Ganzen

---

1 Mém. de l'Acad. 1703. p. 19.

2 Vergl. v. ZENGEN über das Läuten bei Gewittern. Gießen 1791. 8.

und insbesondere auf die Hagelwetter aber nicht den mindesten Einfluß hat. PLACIDUS HEINRICH in seiner oben erwähnten Preisschrift läßt es unentschieden, ob die heftigen Erschütterungen der Luft durch das Abfeuern von Pöllern, Kanonen u. s. w. auf die Zerstreung der Gewitter, und sonach auf die Abhaltung des Hagels einen Einfluß haben können, ist indess mehr geneigt die Sache zu bezweifeln, als für gegründet zu halten. DENIZE aus Macon dagegen glaubte mit Gewißheit annehmen zu dürfen, daß die Hagelwetter durch eine große Zahl Blitzableiter und durch starke Explosionen, als das Abfeuern von Kanonen und Pöllern, durch das Platzen des Knallpulvers, durch aufsteigende Raketten, durch das Getöse der Glocken und Trommeln zerstreuet werden könnten, allein seine Gründe waren so wenig triftig, daß die Akademie zu Dijon, welcher er seine Schrift überreichte, gar keine Rücksicht darauf nahm<sup>1</sup>. Späterhin kam die Sache nochmals zur Sprache, als LESCHEVIN und der Marquis DE CHEVRIERS das Mittel des Abfeuerns von Kanonen wieder mit günstigem Erfolge in Anwendung gebracht haben wollten<sup>2</sup>, allein wie unzulässig ihr Schluß sey, daß hierdurch die Hagelschäden abgehalten wären, weil sie bei der Anwendung desselben in oft verwüsteten Gegenden seltener wurden, da doch letzteres in jenen Jahren gerade zufällig seyn konnte, ist im Art. *Hagel* genugsam nachgewiesen, das Mittel selbst aber im Art. *Gewitter* bereits gewürdigt. Daß eine heftige Lufterschütterung, wie sie z. B. bei Schlachten und Artillerieübungen statt findet, diejenige Ruhe der Atmosphäre stören könne, welche zur Hagelbildung erforderlich scheint, findet P. HEINRICH<sup>3</sup> allerdings in einigem Grade wahrscheinlich, und kann auf keine Weise als unmöglich erwiesen werden. Zugleich aber muß man sich wohl hüten, aus der Erfahrung, wenn ein Gewitter bei einer solchen Gelegenheit vertheilt wird, den Schluß zu entnehmen, daß beides als Ursache und Wirkung zusammenhänge, da so oft ein anscheinend furchtbares Gewitter drohet, und ohne eine solche oder irgend eine bekannte Ver-

1 Mém. de l'Acad. de Dijon. 1803.

2 Magaz. encyclop. An. 1806. T. II. p. 1. Auch der Obrist CLARAC theilte an GILBERT die Erzählung mit, wonach dieses Mittel sich von Erfolg zeigte. S. G. XXIV. 400.

3 G. XXVI. 219.

anlassung gleichsam wieder verschwindet, wogegen minder drohende in ihrem Verlaufe erst einen so ausnehmend verheerenden Charakter annehmen. Dafs das Mittel nicht allezeit, also nicht sicher dagegen helfe, dafür läfst sich die Erfahrung anführen, dafs einst unter FRIEDRICH DEM ZWEITEN ein großes Artillerie-Manoeuvre, wobei auferdem noch 36000 Mann Infanterie feuerten, ein heranziehendes Gewitter nicht überwältigen konnte<sup>1</sup>. Indem aber endlich schon oben gezeigt ist, dafs dieses Mittel praktisch durchaus keine Anwendung leidet, weil ein schon ausgebildetes Hagelwetter der Natur der Sache nach gar nicht mehr zerstört werden kann, die Theorie mit ziemlicher Gewifsheit gegen dasselbe entscheidet, und die Resultate der Versuche allezeit sehr problematisch bleiben, so scheint es mir selbst nicht einmal der großen Kosten werth zu seyn, die Frage auf dem Wege der Erfahrung zu beantworten, ob eine Störung des Gewitterbildungsprocesses durch dieses Mittel möglich ist oder nicht, obgleich dieses in wissenschaftlicher Hinsicht von nicht geringem Interesse seyn würde.

Einige Physiker, namentlich DENIZE und PARROT<sup>2</sup>, haben dem Pulverdampfe einen chemischen Einflufs auf die Fähigkeit der Luft, Gewitter zu bilden, zugeschrieben. Die unbestimmten Aeußerungen des ersteren sind oben gewürdigt, bei dem letzteren hängt aber die Behauptung mit einer eigenen Theorie der Verdunstung zusammen, und kann also erst bei der Untersuchung dieser in ihrem ganzen Umfange gewürdigt werden. In specieller Anwendung auf die Zerstörung der Gewitter läfst sich hier aber schon so viel sagen, dafs explodirendes Schiefspulver kein Sauerstoffgas entwickelt, folglich auch diejenige Wirkung in den oberen Regionen davon nicht erhalten werden kann, welche PARROT von einer Entbindung dieses Gases verlangt, und damit fällt dann der erwartete chemische Einflufs jenes Mittels von selbst weg. Wäre es wirklich ausführbar, Raketten in diejenigen Regionen zu bringen, wo die Hagelwetter muthmafslich gebildet werden, und könnte man sie dort zur Explosion bringen, so wäre es leicht möglich, dafs die mechanische Erschütterung nicht ohne Erfolg bliebe, allein auch bei diesem Mittel scheidet die Ausführbarkeit an unüber-

---

1 Salzburger phys. Journ. 1 Jahrg. Hft. 3.

2 G. X. 217.

windlichen Schwierigkeiten, welche aus der Natur der Hagelbildung von selbst hervorgehen, und wir sind daher in Beziehung auf die Mittel zur Abwendung dieses verheerenden Uebels noch nicht weiter als bis wohin die von P. HEINRICH, WREDE und WEISS ausgesprochenen Urtheile reichen, nämlich das es kein sicheres und durch menschliche Kräfte ausführbares Mittel der Hagelableitung giebt. M.

## H a l b k u g e l .

**Hemisphäre; *Hemisphaerium*; Hémisphère; Hemisphere.** Irgend ein größter Kreis auf der Kugel theilt die Oberfläche der Kugel in zwei genau gleiche Theile, deren jede also die Oberfläche einer Halbkugel ist. Die Ebene eines solchen Kreises geht durch den Mittelpunct der Kugel und theilt auch den körperlichen Inhalt der Kugel in zwei gleiche Halbkugeln. Für jeden vorzüglich merkwürdigen größten Kreis auf der Himmels- oder Erdkugel giebt es daher zwei entgegengesetzte Halbkugeln. Der Aequator, am Himmel sowohl als auf der Erde, trennt die nördliche Halbkugel von der südlichen, der nördliche Pol steht in der Mitte der nördlichen Halbkugel, und ebenso der Südpol in der Mitte der südlichen. Der Horizont theilt die Himmelskugel in die sichtbare oder obere, und in die unsichtbare oder untere Halbkugel; das Zenith liegt in der Mitte jener, das Nadir liegt in der Mitte dieser.

Auf der Erde können wir uns 90 Grade von dem Puncte, wo wir stehen, einen größten Kreis gezogen denken, der dann auch in Beziehung auf uns die obere und untere Halbkugel von einander trennt; unsere Antipoden wohnen in der Mitte der Oberfläche jener andern Halbkugel. Der Mittagskreis theilt die Himmelskugel in die östliche und westliche Halbkugel; in der Mitte jener liegt der Ostpunct, in der Mitte dieser der Westpunct. Auch die Ekliptik am Himmel theilt den Himmel in zwei Halbkugeln, alle Puncte in der einen haben nördliche Breite, alle Puncte in der andern haben südliche Breite.

Wenn die Sonne einen kugelförmigen Himmelskörper bescheint, so nennt man die gegen die Sonne gekehrte Halbkugel die erleuchtete, die von ihr abgekehrte die unerleuchtete; indess sind diese beiden Theile nicht genaue Halbkugeln, sondern

der von der Sonne erleuchtete Theil ist gröfser, als der unerleuchtete, weil die Sonne gröfser ist, als irgend einer der von ihr erleuchteten Himmelskörper<sup>1</sup>.

Ebenso ist es nicht ganz richtig, wenn man den uns sichtbaren Theil eines Himmelskörpers, seine uns sichtbare Halbkugel nennt; denn da unser Auge nur ein Punct ist, so ist die Grenzlinie des uns sichtbaren Theils einer Kugelfläche nicht eigentlich ein gröfster Kreis und wir übersehen etwas weniger als die Halbkugel. B.

Halbleiter. s. Leiter.

## H a l b s c h a t t e n .

*Penumbra; Pénombre; Penumbra.*

Wenn ein leuchtender Körper auf einen dunkeln Körper Licht sendet, so wirft der letztere einen Schatten, und es sind alle die Puncte im vollen Schatten dieses Körpers, zu welchen gar kein Licht von jenem gelangt. Aber so wie es Puncte giebt, zu denen von keinem Puncte des leuchtenden Körpers ein Lichtstrahl gelangt, so giebt es andere Puncte, zu denen nur die Lichtstrahlen von einigen Theilen des leuchtenden Körpers gelangen, und diese liegen im *Halbschatten*. Der völlige Schatten besteht in gänzlichem Mangel an Erleuchtung; der Halbschatten hat in seinen verschiedenen Puncten sehr ungleiche Grade der Erleuchtung, je nachdem von einem gröfsern oder kleineren Theile des leuchtenden Körpers noch Strahlen zu diesen verschiedenen Puncten gelangen.

Da der Fall, dafs eine leuchtende Kugel einen dunkeln Körper bescheint, derjenige ist, dessen Betrachtung in der Astronomie vorzüglich vorkömmt, so verdient er zuerst erwähnt zu werden. Es sey AB die Sonne, EF die Erde, so erhält man Fig. 6. die Begrenzung des vollen oder Kernschattens, wenn man die Linie AE, BF hinter den Körper EF verlängert. In die Gegend zwischen ty gelangt kein Sonnenstrahl, oder ein dort stehendes Auge würde keinen Theil der Sonne sehen. Dieser volle Schatten bildet einen Kegel, wenn die leuchtende Kugel gröfser als die erleuchtete ist; dagegen ist er cylindrisch, für einen mit

<sup>1</sup> Vergl. Art. *Schatten*.

dem leuchtenden Körper gleich großen dunkeln Körper, und er wird ein abgekürzter, gegen H zu und jenseits H sich immer mehr erweiternder Kegel, wenn der dunkle Körper eine größere Kugel als der leuchtende ist. Die Grenze des Halbschattens findet man, wenn man die berührende Linie AF und BE hinter EF verlängert; denn in Punkten, die zwischen y und P liegen, wird zwar durch einige Punkte, aber nicht durch alle Punkte der gegen EF gekehrten Sonnen-Oberfläche eine Erleuchtung hervorgebracht. Je näher bei y man einen Punkt im Halbschatten nimmt, desto schwächer ist die Erleuchtung, und da bei P die volle Erleuchtung anfängt, so erhellet, daß der Halbschatten unmerklich in die gänzliche Erleuchtung übergeht. Der ganze Raum, in welchem der Halbschatten statt findet, ist allemal ein abgekürzter Kegel, wenn beide Körper kugelförmig sind<sup>1</sup>.

Bei der Beobachtung des Schattens, welchen Körper auf der Erde auf eine gegebene Ebene werfen, kömmt auch ein Halbschatten vor. Wenn man vom obersten Sonnenrande S eine gerade Linie über die Spitze des aufgerichteten Stabes AB bis auf die den Schatten aufnehmende Ebene DE zieht, so ist C das Ende des vollen Schattens; die Linie hingegen, die vom untersten Punkte der Sonne T über B nach c gezogen wird, begrenzt den Halbschatten. Ist die Höhe des unteren Sonnenrandes über dem Horizonte =  $\alpha - \frac{1}{2} D$ , des oberen Sonnenrandes =  $\alpha + \frac{1}{2} D$ , so ist

$$AC = AB. \text{ Cotg. } (\alpha + \frac{1}{2} D),$$

$$Ac = AB. \text{ Cotg. } (\alpha - \frac{1}{2} D),$$

$$Cc = AB. \frac{\text{Sin. } D}{\text{Sin. } (\alpha + \frac{1}{2} D) \cdot \text{Sin. } (\alpha - \frac{1}{2} D)}$$

$$= \frac{2 \text{ AB. Sin. } D}{\text{Cos. } D - \text{Cos. } 2\alpha}$$

Der Halbschatten nimmt also zu, wenn  $\alpha$  kleiner wird und wird unendlich, wenn  $\alpha = \frac{1}{2} D$  ist, weil dann der untere Sonnenrand den Horizont berührt. Dieser Halbschatten macht daher die Bestimmung der Sonnenhöhe aus der Länge des Schattens desto unsicherer, je geringer die Sonnenhöhe ist. Wenn man die Grenze des Halbschattens für jeden leuchtenden und erleuchteten Körper vollständig bestimmen will, so muß man sich eine den leuchtenden und den erleuchteten Körper berührende

1 Vgl. Art. *Finsternisse*.

Ebene denken, und diese in alle mögliche Lagen, bei welchen die beiden Berührungen statt finden können, gebracht sich vorstellen; die krumme Fläche, welche dann aus den zwischen je zwei Berührungspunkten gezogenen geraden Linien gleichsam zusammengesetzt ist, oder die krumme Fläche, welche von jenen Ebenen in den so eben genannten Linien berührt wird, ist die Begrenzung des Schattens oder Halbschattens. Sie ist die Begrenzung des vollen Schattens, wenn die Berührung der leuchtenden und der erleuchteten Oberfläche an derselben Seite der Ebene statt findet; sie ist die Begrenzung des Halbschattens, wenn die Berührung der einen Oberfläche an der einen, der andern an der andern Seite der Ebene statt findet. Diese krummen Flächen, welche von der Tangential-Ebene allemal in einer geraden Linie berührt werden, und wo die Tangential-Ebene, indem man ihre Lage ein wenig ändert, eine der vorigen geraden Linie unendlich nahe gerade Linie berührt, gehören allemal zu den abwickelbaren krummen Flächen<sup>1</sup>.

B.

## H a r m o n i c a.

Die Glasharmonica ist ein musikalisches Instrument, bestehend aus gläsernen Campanen, welche auf eine eiserne Axe gesteckt und diese mit einer Kurbel umgedrehet durch Reiben ihrer Ränder mit benetzten Fingern zum Tönen gebracht werden. Hierbei beruhet die Erzeugung der Töne auf den Schwingungen, welche man durch das Reiben in den Campanen erzeugt, und die Höhe der Töne, von der Größe der Campanen abhängig, auf der Länge der Schwingungsbogen. Beides wird im Art. *Schall* ausführlich untersucht werden, die mechanische Construction des Instrumentes aber ist sehr einfach und gehört nicht hierher.

Chemische Harmonica nennt man jede Vorrichtung, wenn man eine Flamme von Wasserstoffgas, welche an der Mündung einer Röhre brennt, in irgend einen geeigneten Canal leitet, wodurch dann ein eigenthümlicher summender Ton

---

<sup>1</sup> Die höhere Geometrie führt zur Auflösung aller hierher gehörigen Aufgaben. Einige derselben habe ich in meinem Lehrbuche der höheren Geometrie 2 Theil §. 251 bis 260 und §. 529. 530. angeführt.

erzeugt wird. Die einfachste Methode, diesen in akustischer Hinsicht interessanten Versuch anzustellen, ist folgende. Man bereitet auf die bekannte Weise Wasserstoffgas aus Zinkstücken und Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure in einer Phiole, deren Hals durch einen Kork mit einem in denselben eingelassenen Pfeifenstiele von 6 bis 8 Z. Länge, oder einer oben zugespitzten, etwa 2 Par. Lin. weiten Glasröhre verstopft ist, so daß das sich entwickelnde Gas durch die obere Oeffnung entweicht, zündet dasselbe an der oberen Mündung der thönernen oder gläsernen Röhre an, und stürzt einen gläsernen Kolben darüber, welchen man mit der Hand schwebend erhält, so wird

Fig. 8. der Ton hörbar. Die Entbindungsflasche A muß eine verhältnismäßige Weite haben, so daß die erforderliche Menge Gas erzeugt wird, ohne daß die Flüssigkeit in das Rohr c aufsteigt, zugleich aber darf sie nicht allzu geräumig seyn, damit keine zu große Menge atmosphärische Luft in ihr zurückbleibt, und mit dem Wasserstoffgas vereinigt Knallgas bildet, welches sonst beim Anzünden explodirt. Letzteres ist übrigens mit nur geringer Gefahr verbunden; denn wenn man eine Entbindungsflasche von starkem Glase, und einen guten Kork wählt, welcher für die geringe Spannung hinlänglich schließt, ohne zu fest hineingedrückt zu werden, so schleudert das explodirende Knallgas diesen ohne weiteren Verlust als den des hineingesteckten Rohres hinaus. Ohnehin aber ist auch dieses nicht leicht zu befürchten, sobald man das ausströmende Gas nicht zu bald entzündet. Wählt man zu dem Rohre c ein thönernes, den Stiel einer gemeinen irdenen Tabackspfeife, so saugt dieses einen Theil der Feuchtigkeit des Gases ein, welches im Ganzen vortheilhaft ist; indess leistet eine Glasröhre von zwei Lin. Weite, oben etwa bis zu einer halben Linie verengt, das Nämliche, wie man denn nicht minder sich auch einer metallenen Röhre bedienen kann. Uebrigens ist dieser Apparat nur für kurzdauernde Versuche berechnet; zur Anstellung von länger dauernden wählt man ein geeignetes Gasometer, welches eine gleichmäßig anhaltende Ausströmung gewährt. Die Flamme des brennenden Wasserstoffgas darf weder zu groß noch zu klein seyn, und muß das Mittel zwischen 0,5 und 1,5 Z. Länge halten, wenn der Ton von hinlänglicher Stärke und Reinheit zum Vorschein kommen soll. Inzwischen wird dieses durch die Weite des Kolbenhalses D bestimmt, welcher die Größe der Flamme proportional seyn muß.

Beträgt jene nur etwa einen Zoll, so muß die Flamme kleiner seyn, weil sie ohnehin sonst leicht erlöscht, bei zwei Zoll Weite dagegen und darüber kann sie wohl über zwei Zolle Länge haben.

Für die chemische Harmonica nimmt man in der Regel die Flamme des so reinen Wasserstoffgases als es auf die angegebene Weise erhalten wird, und nennt diese, wenn sie ruhig brennt, *lumen philosophicum*. Minder sicher und helltönend ist die Erscheinung, wenn man andere brennbare Gasarten anwendet, als Kohlenoxyd-, ölerzeugendes, Kohlenwasserstoff-, hydrothionsaures, Arsenikwasserstoff-, Weingeist- und Aether-Gas. Zu den Gefäßen, in welche die Flamme einen bis drei und auch wohl noch mehr Zolle hinein erhoben wird, eignen sich am besten die gläsernen Kolben, deren man sich als Vorlagen bedient, statt deren man indess auch oben verschlossene oder offene cylindrische Röhren von Glas oder Metall oder einer sonstigen geeigneten Substanz wählen kann, jedoch dürfen die offenen nicht zu kurz seyn.

So wie der Versuch hier beschrieben ist, kann er sehr leicht angestellt werden, eignet sich dann aber zu weiter nichts als bloß dazu, um das Phänomen im Allgemeinen kennen zu lernen. Betrachtet man die Sache dagegen aus dem wissenschaftlichen Gesichtspuncte, so kommt hauptsächlich dabei in Betrachtung zuerst die Ursache, wodurch überhaupt das Tönen erzeugt wird, und zweitens die Bedingungen, auf denen die Höhe oder Tiefe und der Klang<sup>1</sup> der Töne beruhet. DE LÜC wird in Deutschland fast allgemein für denjenigen gehalten, welcher das Phänomen zufällig wahrnahm, als er das beim Verbrennen des Wasserstoffgases gebildete Wasser in einen Kolben auffangen wollte<sup>2</sup>, jedoch hat HIGGINS schon weit früher im Jahre 1777 die nämliche Erscheinung beobachtet<sup>3</sup>, und DE LÜC sagt auch nicht, daß er selbst, sondern daß man vor Kurzem diese sonderbare Entdeckung gemacht habe. Daß dieser Versuch sogleich nach seiner Bekanntwerdung vielfach wiederholt

1 Das Wort *Klang* wird hier in der Bedeutung genommen, daß es überhaupt die individuelle Art des Tones bezeichnet.

2 Neue Ideen über die Meteorologie. I. 138. §. 200.

3 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. New Ser. I. 129. IV. 33. Vergl. Ann. Ch. Ph. VIII. 363.

wurde, liefs sich erwarten, indess fand man es bei seiner Einfachheit nicht der Mühe werth, jede Beobachtung bekannt zu machen. In Deutschland erhielt die Erscheinung allgemeinere Bekanntschaft durch HERMBSTAEDT<sup>1</sup> und durch den Grafen MUSSIN PUSCHKIN<sup>2</sup>, welcher den Ton nicht von den Schwingungen des Glases herleitete, sondern annahm, dafs sich in jedem Zeitmomente Knallgas bilde und explodire, wobei dann die in unmeßbaren Zeitintervallen einander folgenden Explosionen den anhaltenden Ton erzeugen müßten. Eine gleiche Ansicht hegte SCHERER<sup>3</sup>, mit dem Unterschiede, dafs nach ihm durch die Explosionen das Glas der Kolben erschüttert werden, und hierdurch der Ton entstehen sollte. MUSSIN PUSCHKIN führte indess hiergegen das Argument an, dafs man die Kolben umwickeln könne, ohne dadurch die Entstehung des Tones zu hindern. Um dieses zu prüfen, stellte SCHERER<sup>4</sup> eine neue weitläufige Reihe von Versuchen an, bediente sich zum Aufnehmen der Flamme der verschiedenartigsten Gläser, als offener und verschlossener Röhren, Vorlagen, Kolben, Flaschen sowohl runder als kantiger, ja sogar gemeiner Medicin gläser mit nicht zu enger Oeffnung, und fand es allerdings bestätigt, dafs das Umwickeln derselben mit vielen Leinen und sonstigen, die Schwingungen des Glases hindernden Substanzen das Hervorbringen des Tones nicht aufhebe. Nach ihm entstehen die Töne durch das Vacuum, welches vermöge des Verbrennens des Wasserstoffgases mit Absorption von Sauerstoffgas in den gläsernen Gefäfsen hervorgebracht wird, und in welches die äufsere Luft dann mit so viel gröfserer Gewalt eindringt, je enger die Oeffnung des Glases ist.

F. F. CHLADNI<sup>5</sup>, so classisch in allen seinen Untersuchungen der Schallehre, stellte bald nach Bekanntwerdung des Phänomens eine grofse Reihe von Versuchen an, und entschied in Gemäfsheit derselben, dafs der Ton nicht durch das Gefäfs erzeugt werde, worin die Flamme des Wasserstoffgases

1 V. Crell's chem. Ann. 1793. I. 355.

2 Götting's Taschenb. f. Scheidekünstler. 1795. S. 18.

3 Gren's Journ. VIII. 375.

4 Gren's N. Journ. II. 506.

5 Neue Schrift. d. Ges. Nat. Fr. Berlin 1795. I. 125. Hindenburg Archiv d. reinen u. angewandten Math. 1794. I. S. 126.

brennt, weil dasselbe von Holz, Metall oder Glas seyn, an jeder Stelle festgehalten werden könne, und der Ton ein anderer sey, als die Schwingungen desselben erzeugen würden. Der tönende Körper ist diesemnach die Luftsäule im Innern des Gefäßes, und die Höhe des Tones beruhet auf den bekannten Schwingungsgesetzen der Luftsäulen in Röhren, Pfeifen u. s. w. Ein entscheidender Beweis hierfür liegt schon darin, daß der erzeugte Ton der nämliche ist, als wenn man in das angewandte Gefäß hineinbläst, und das Verbrennen des Wasserstoffgases setzt also die Luftsäule auf die nämliche Weise in Schwingungen, als dieses bei den Blasinstrumenten auf mancherlei Art geschieht. Daß das Verbrennen anderer Substanzen, z. B. eine brennende Kerze, nicht auf gleiche Weise Töne erzeugt<sup>1</sup>, dieses rührt daher, weil dabei das Zuströmen des Wasserstoffgases fehlt.

Ungleich weniger klar, als diese Darstellung, ist diejenige, welche DE LA RIVE später davon gab<sup>2</sup>, wobei er sich auf eine frühere Vorlesung von PICTET und eine Bekanntmachung des Phänomens durch BRUGNATELLI bezieht. Nach Versuchen von PICTET, welcher das Gefäß mit Rauch anfüllte, nimmt er einen tönenden Punct an, nämlich den der Verbrennung des Gases, weil der Ton sich mit der Veränderung dieses Punctes gleichfalls verändert<sup>3</sup>. Von diesem Puncte aus sollen dann Schwingungen ausgehen, gegen die Wände des Gefäßes stoßen, von diesen reflectirt den ursprünglichen Schwingungen begegnen, so daß beide gemeinschaftlich den Ton bedingen. Als mitwirkende Ursache soll dann die ungleiche Temperatur der Luft hinzukommen, indem die Mündung, an welcher das Gas brennt, stets glüheth, und weil dieses bei einem brennenden Strome von Weingeist- und Aether-Dampf nicht der Fall ist, so soll hierdurch die Erscheinung nicht hervorzubringen seyn, was aber gegen die Erfahrung streitet, endlich aber soll auch die Temperatur des Zimmers auf die Erzeugung des Tones einen Einfluss

---

1 Daß diese letztere Behauptung einiger Beschränkung bedürfe, haben spätere Versuche ergeben, welche weiter unten erzählt werden.

2 Journ. de Ph. LV. 169.

3 Daß dieses aus einer Verlängerung oder Verkürzung der schwingenden Luftsäule leicht erklärlich sey, bedarf kaum einer Erinnerung.

haben. Dafs DE LA RIVE die Ursache des Phänomens verkannt habe, sieht man deutlich aus einer Anmerkung, worin er den Ton mit demjenigen vergleicht, welchen ein sogenannter Brummkreis erzeugt, aus welchem die Luft durch die Centrifugalkraft herausgeschleudert werden, und die äufsere in das Vacuum wieder eindringen soll. Auf gleiche Weise, meint er, würde durch das verbrennende Wasserstoffgas Dampf, durch die Verdichtung desselben aber ein Vacuum erzeugt, und der Ton entstehe dann durch das Eindringen der äufseren Luft, wonach also die Ursache in den successiven Explosionen zu suchen wäre. Diese Hypothese wird durch einen dieses zwar nicht beweisenden, aber an sich sinnreichen Versuch unterstützt. Wenn man nämlich in eine Kugel an einer etliche Zolle langen Glasröhre, jene etwa  $\frac{1}{8}$  diese 2 Lin. weit, einige Tropfen Wasser oder Quecksilber bringt, und die Kugel einer starken Hitze über einer Weingeistlampe aussetzt, so entsteht ein ähnlicher Ton, hört nach einer kurzen Zeit auf, erneuert sich aber wieder, wenn nach dem Erkalten etwas von der Flüssigkeit aus der Röhre in die Kugel zurückfließt. Hierbei ist leicht begreiflich, dafs die sehr expandirten Dämpfe, welche zum Theil in der kalten Röhre niedergeschlagen werden, die in der Röhre befindliche Luftsäule in Schwingungen versetzen. BRUGNATELLI brachte die Töne der chemischen Harmonica auch durch das Verbrennen von etwas Phosphor hervor, was wohl nicht zweifelhaft ist, jedoch läfst sich dieser Versuch wegen des schnellen Verbrennens des Phosphors nicht mit gleicher Leichtigkeit anstellen. Der Harmonica-Ton soll nach GEIGER<sup>1</sup> gleichfalls entstehen, wenn man ein Medicinglas zu  $\frac{3}{4}$  mit Wasserstoffgas,  $\frac{1}{4}$  atmosphärischer Luft anfüllt, die Mündung nach unten kehrt, und das Gemenge anzündet.

CHLADNI blieb seiner anfänglichen Erklärung getreu, nämlich dafs die erzeugten Töne durch die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule auf gleiche Weise entstehen, als in Blasinstrumenten überhaupt, und daher auch mit denjenigen identisch sind, welche beim Hineinblasen in die Röhren gehört werden, indem Letzteres, nämlich das Hineinblasen, durch das einströmende Wasserstoffgas, das Hinzutreten des Sauerstoffgases der atmosphärischen Luft und vielleicht das Entweichen

1 Handbuch d. Pharmacie 2te Aufl. Heid. 1827. 8. I. S. 244.

des übrigbleibenden Stickgases ersetzt wird. Schiebt man die Flamme tiefer in das Rohr, oder steckt man von unten einen Finger in dasselbe, so werden die Schwingungsknoten der Luftsäule verändert und hiermit tritt zugleich eine Veränderung des Tones ein. Letzterer folgt außerdem beim Bedecken der Röhre den nämlichen Gesetzen als die gewöhnlichen Pfeifentöne<sup>1</sup>. Die gehaltreichsten Untersuchungen, welche wir später über dieses akustische Problem erhalten haben, sind von FARADAY<sup>2</sup>, wobei nur zu bedauern ist, daß dieser scharfsinnige Gelehrte bloß die Abhandlung von DE LA RIVE und nicht die von CHLADNI kannte. Letzterer hatte schon gefunden, daß man sowohl gläserne als auch metallene Röhren und Gefäße zu dem Versuche anwenden könne, und er folgerte aus theoretischen Gründen, daß gehörig gestaltete Röhren von andern Substanzen gleichfalls dazu geeignet seyn müßten, sobald nur die Luftsäule in denselben die zur Erzeugung eines Tones erforderlichen Schwingungen annehmen könne. DE LA RIVE wandte auch hölzerne Röhren mit Erfolg an, erklärte sich aber namentlich gegen solche von Pappe und Papier, weil sie ihm für die von ihm angenommene Reflection der Schwingungen nicht elastisch genug schienen; allein FARADAY erhielt recht gute Töne in einer bloß aus zusammengerolltem Papiere gebildeten Röhre. Derselbe fand ferner, daß man zwar am besten sich der Flamme des verbrennenden Wasserstoffgases bedienen könne, daß aber Kohlenoxydgas, ölerzeugendes- und Kohlen-Wasserstoffgas, überhaupt rasch verbrennende Gasarten oder Dämpfe die Erscheinung gleichfalls hervorbringen, und daß dieselbe auch dann erhalten werde, wenn man die Röhre über 100° C. erhitze, so daß also die Dämpfe in derselben nicht niedergeschlagen werden. Nach FARADAY liegt die Ursache des Tönens nicht in den Schwingungen der Röhre, weil man diese ohne irgend einen Einfluß umwickeln kann, sondern in den successiven Explosionen, und die Töne werden um so leichter erzeugt, bei je niedrigerer Temperatur diese Explosionen anhaltend erfolgen, welche dann durch die Wände der angewandten Gefäße eine Resonanz erhalten. Indefs läßt sich bald zeigen, daß diese

1 S. Chladni die Akustik. Leipz. 1802. S. 91. §. 78. Dessen *Traité d'Acoustique* Par. 1809. p. 85. §. 66.

2 Ann. Ch. Ph. VIII. 363.

Theorie zu den Erscheinungen nicht paßt. Manche Töne werden nämlich allerdings verstärkt durch die Resonanz, wie sich namentlich mit einer Stimmgabel leicht zeigen läßt, allein abgeändert rücksichtlich der Höhe und Tiefe können sie dadurch nicht werden. Die nämliche Flamme müßte also in jeder Röhre den nämlichen, der Zahl ihrer Explosionen in einer gegebenen Zeit proportionalen Ton geben, allein da dieser allezeit derjenige ist, welchen das Gefäß durch Hineinblasen giebt, so liegt hierin der evidente Beweis, daß durch die Flamme die eingeschlossene Luftsäule auf eine ähnliche Weise in ihrer Beschaffenheit angemessene Schwingungen versetzt wird, wonach also der Ton in Gemäßheit derjenigen Gesetze erzeugt wird, welche durch CHLADNI und andere für tönende Luftsäulen aufgefunden sind<sup>1</sup>.

ZENNECK'S Abhandlung<sup>2</sup>, die neueste über diesen Gegenstand vor FARADAY'S Arbeit, setzt dem bisher Bekannten nichts hinzu, vielmehr soll einiges bei den Versuchen nicht beobachtet seyn, was sowohl früher als auch später von andern unter sich und mit der Theorie übereinstimmend gefunden ist. Bloß die interessante Zugabe findet man hier, daß eine Flöte oder überhaupt jedes seitwärts durchbohrte Rohr verschiedene Töne giebt, wenn man das eine oder das andere Loch verschließt, wie CHLADNI<sup>3</sup> gleich anfangs aus seiner Theorie folgerte, und woraus sich also ergibt, daß die chemische Harmonica ihrem Wesen nach unter die Blasinstrumente gehört. Daß der Ton nicht mehr zum Vorschein kommt, wenn die Röhre im Innern zu sehr mit Wasser überzogen ist, rührt nach CHLADNI entweder daher, daß die Schwingungen der Luftsäule durch die Wassertropfen zu sehr gestört werden, oder daß sie in einer Mischung aus Luft und Wasserdampf wegen schnell wechselnder Dichtigkeit an sich unmöglich sind. Nicht ohne Werth ist die von ZENNECK mitgetheilte Tabelle, welche die in Röhren von angegebener Länge und Weite entstandenen Töne enthält, und zur Vergleichung der in Röhren überhaupt erzeugten Töne dienen kann. Daß aber der beim Hineinblasen erhaltene Ton allezeit höher gewesen seyn soll als derjenige, welchen die Gas-

<sup>1</sup> Vergl. *Schall*.

<sup>2</sup> Schweigger's Journ. XIV. 14.

<sup>3</sup> Neue Schrift. d. Ges. Nat. Freunde a. a. O.

flamme gab, streitet gegen die Resultate der gemeinsten Beobachtungen; sehr mit der Theorie übereinstimmend ist es dagegen, wenn ZENNECK neben dem eigentlichen Tone noch die niedere Octave wahrnahm. Zugleich hält dieser die chemische Harmonica für geeignet, ein musikalisches Instrument abzugeben, welches aber CHLADNI gleich anfangs aus triftigen Gründen mit Recht verworfen hat. M.

## H e b e l.

*Vectis; Levier; Lever.*

Hebel heist im allgemeinsten Sinne des Wortes jede gerade oder krumme Linie, jede gegebene Fläche und jeder willkürlich gestaltete Körper, wenn man bei ihnen einen festen Punct annehmen kann, um welchen sie durch eine Kraft oder durch mehrere, auf willkürliche Angriffspuncte wirkende, Kräfte gedrehet werden können. Der Begriff des Hebels wird selbst durch die Bewegung des festen Punctes nicht aufgehoben, wie denn z. B. namentlich die Gesetze des Hebels bei dem Gliederbau der Menschen und Thiere auch bei der Bewegung von diesen noch in Betrachtung kommen. Um aber dieses vielseitige Ganze unter einen gemeinsamen Begriff zu vereinigen, unterscheidet man den mathematischen und den physischen Hebel, construirt die Gesetze an dem ersteren und wendet sie dann auf den letzteren an.

### I. Mathematischer Hebel.

Unter einem mathematischen Hebel versteht man eine gerade, krumme, in einen oder mehrere Winkel gebogene, unbiegsame Linie, welche in einem Puncte unterstützt von einer oder mehreren Kräften in verschiedenen Richtungen und mit willkürlichen Angriffspuncten zur Bewegung sollicitirt wird, und das Gleichgewicht ist dann hergestellt, wenn die Summe der Momente der nach verschiedenen Seiten wirkenden Kräfte  $= 0$  ist. Die geometrische Construction und ein schulgerechter Beweis dieses Hauptgrundsatzes der Statik und Mechanik hat die Mathematiker von jeher ausnehmend beschäftigt. Der Kürze und Einfachheit wegen berücksichtigt man zuerst den *geradlinigen Hebel*, eine gerade unbiegsame Linie mit einem Unter-