ANNALEN DER PHYSIK.

JAHRGANG 1815, ZEHNTES STÜCK.

I.

Bemerkungen über Blitz und Donner,

nebst

*Vermuthungen über das Entstehen der Luft-
Erscheinungen;*

von

CARL GOTTFRIED HELVIG,

Königl. Schwedischem General-Feldzeugmeister, Chef der
Schwed. Artillerie, Mitgl. der Akad. d. Wiss. in Stockholm
u. Commandeur vom Schwert-Orden.

(Nach einer an die Königl. Akad. der Wiss. zu Stockholm
abgeschickten Abhandlung.)

V o r w o r t.

Die *erste Abtheilung* dieser Abhandlung enthält Beobachtungen, welche ich seit 1802 zu machen Gelegenheit gehabt habe, und die Vorstellungen und Ideen über Gewitter, auf welche ich durch sie allmählig geführt worden bin. Da alle meine Papiere noch in Schweden sind, was ich aufgeschrieben hatte, von mir also nicht benutzt werden kann, so führe

Annal. d. Phys. B. 51. St. 2. J. 1815. St. 10.

I

ich nur das an, was ich als Resultat der Versuche und des Nachdenkens gegenwärtig, und so zu sagen immer bei mir habe. Die *zweite Abtheilung* ist erst während meines Aufenthalts in Deutschland in den Jahren 1813 und 14 entstanden. Sie ist unter Umständen geschrieben, welche für mich unangenehm sind, und leider noch fortdauern, in Stunden, wo ich an meine eignen Angelegenheiten nicht denken mochte, und darf daher auf eine nachsichtige Beurtheilung Anspruch machen. Da meine zukünftige Lage noch nicht bestimmt ist, ich folglich nicht weiß, ob ich die ausführlicheren Erörterungen, welche die aufgestellten, zum Theil paradoxen Ansichten zu bedürfen scheinen, so bald werde geben können, so bitte ich die Leser, das Ganze als ein freundschaftliches Gespräch unter vier oder acht Augen anzusehen, wo man sich freimüthig ausspricht, ohne viel Gewicht auf das Einzelne zu legen, und wo man oft über Sachen und Dinge urtheilt, die einen eigentlich nichts angehn.

Helvig.

ERSTE ABTHEILUNG.

Einige Bemerkungen über Blitz und Donner.

Im Jahr 1802, gegen die Mitte des August, hatten wir in Stockholm ein starkes Gewitter, zwischen 4 und 5 Uhr des Morgens. Meine Wohnung, zwei Treppen hoch, hatte einige Fenster nach dem Mäler-See, so daß ich, bis auf einige niedrige Klippen, den Horizont frei überlehn konnte. Ich stellte mich an eins dieser Fenster, um dem Spiel der Blitze zuzusehen, und versuchte mit meiner Terzien-Uhr,

durch die Zeit zwischen Blitz und Schall den Abstand des Gewitters zu bestimmen. Meinen 6zölligen Theodoliten hatte ich aufgestellt, und mit ihm fand ich, daß der unterste Rand der schwarzen Wolke, aus welcher häufige Blitze fuhren, etwas mehr als 30° über dem Horizont erhaben war. Nach den Zwischenzeiten zwischen Blitz und Schall zu urtheilen, kam das Gewitter näher. Es hatte sich eine neue Wolke in einer Höhe von 35 bis 40° über dem Horizont gebildet; nach einer Pause von mehreren Minuten brach ein Blitz in 4 Absprüngen aus ihr hervor, und ich hörte ganz bestimmt eben so viel gedehnte rollende Donnerschläge, die aber nicht alle mit gleicher Schall-Stärke zu mir kamen. Es fand die grölste Aehnlichkeit Statt zwischen diesem Donnern, und dem, was ich öfters gehört hatte, wenn mehrere Schiffe manoeuvrirten und in verschiedenen Richtungen schossen. Ich kannte die mehresten Abhandlungen, welche über den Donner geschrieben sind, aber keine Hypothese konnte mir dieselben genügend erklären.

Die häufigen, in längern und kürzern Strahlen ausbrechenden Blitze, und die Absprünge, welche sich in den einzelnen Strahlen zeigten, beschäftigten mich nicht wenig; doch ich konnte keine Ursache zu solchen Absprüngen auffinden. Endlich hörte das Donnern auf, und ich hatte nichts weiter als die bestimmte Ueberzeugung erlangt, daß bei einem Donner mit einzelnen Schlägen die Wieder-

holungen des Donners mit der Anzahl der Absprünge der Blitzstrahlen gleich sey.

Nachdem der Regen nachgelassen hatte, ging ich aus, und traf einen meiner Bekannten, der mir sagte, der Blitz habe in eine Tanne in dem Carlsberger Parke eingeschlagen und die Borke von oben bis unten abgeschält. Ich ging sogleich dahin, und fand dort unter Mehreren auch einige Kadetten der Kriegs-Akademie versammelt. Auf mein Zureden kletterten zwei Kadetten auf den Baum, und mit Hülfe einer Schnur fanden wir, daß das oberste Viertel des Stamms, von der Spitze des Baums an gerechnet, unbeschädigt war, der Blitz aber die Rinde in der ganzen übrigen Länge des Stamms bis zur Erde herab, in einer Breite von 4,5 schwed. Decimalzollen ($5\frac{1}{4}$ rheinl. Zoll) abgeschält hatte, als sey sie mit einem scharfen Messer ausgeschnitten worden. Das Merkwürdigste für mich aber war, daß rund um den Baum alle alte und frische Tannenzapfen in einen Kreis gestreut waren, als wäre dieses mit Fleiß geschehn; innerhalb dieses Kreises lag keiner, es war, als wären sie weggelegt. Der Umfang dieses Kreises wurde gemessen, und war 180 Fufs, der Durchschnitt 60 und 66 Fufs *). Mir schien es unglaublich, daß dieses Umherstreuen allein von dem Blitz bewirkt seyn sollte.

*) Die Ungleichheit des Bodens, der auf der einen Seite abhängig war, veranlaßte diese Ungleichheiten des Kreises: die Durchmesser sind mit einer Schnur, der Umkreis nach Schritten gemessen, und auf Füße gebracht worden.

Ich war in einer nicht zu beschreibenden unruhigen Stimmung. Die vielfältigen Versuche mit dem größten Gelchütz, welchen ich in einer Reihe von Jahren beigewohnt, und die ich auf Befehl Sr. Maj. des Königs selbst angestellt hatte, hatten mir Gelegenheit gegeben, verschiedene bis jetzt wenig beachtete Umstände zu bemerken und aufzuzeichnen, die mit dem, was ich hier von den Wirkungen des Blitzes sah, wunderbar zusammenfielen. Ich werde nur einiges davon anführen, um zu zeigen, wie meine Ideen von dem Blitze und dem Gewitter bei mir allmählig entstanden sind, und wie ich veranlaßt worden, Blitz und Donner mit dem Schiessen aus groben Stücken zu vergleichen, und auf die Behauptung gekommen bin, daß sich bei dem Blitze alles, was das Abspringen in Zickzak und den Donner betrifft, nur auf die mechanische Wirkung des Stoßes eines entstandnen Feuerstrahls gegen die umgebende Luft bezieht.

Eine 6pfündige Kanone von 3,3 schwed. Decimalzollen Durchmesser und 56 Z. Länge mit 2 Pfund trockenem Pulver geladen, giebt beim Abfeuern außerhalb der Mündung einen Feuerstrahl von 50 bis 60 Zoll Länge; kömmt hierzu die Länge der Seele, so ist der ganze Strahl 106 bis 116 Zoll lang. Eine 24pfündige Kanone von 5 Dec. Zoll Durchmesser und 100 Zoll Länge mit 12 Pfund Pulver geladen, giebt eben so außerhalb der Mündung einen Feuerstrahl von 150 bis 160 Dec Zoll, folglich mit der innern Kanonenlänge einen Feuerstrahl von 250 bis

260 Zoll Länge. Dafs ich hier und in der Folge nur von Schüssen ohne Kugeln rede, muß ich ein für allemal anführen. So wie der Feuerstrahl verlöscht oder verschwindet, wird der Rauch in einer länglich - runden Form sichtbar, deren längster Durchmesser allezeit vertical ist, wenn der Zuschauer seitwärts von der Kanone steht (siehe Taf. II. Fig. 1).

Bei Versuchen, die im Jahre 1799 in *Karlskrona* mit 24- und 36-pfündigen Kanonen angestellt wurden, war es nothwendig, vor den Kanonen eine breterne Wand, 30 Fuß von den Mündungen derselben, aufzustellen. Wir konnten aber damit nie zu Stande kommen, weil der Druck der Luft sie jedes Mal umwarf; und war auch das Gerüst von grobem Holze stark genug gemacht worden, so wurden doch die Breter losgerissen und umhergeschleudert. Dasselbe geschah noch bei 60 Fuß Abstand, wiewohl weniger heftig, so dafs die Wand auf 80 Fuß von den Kanonen-Mündungen erst konnte gesetzt werden. Es wurden bei diesen Versuchen auch Ladungen von 40 bis 50 Pfund Pulver gebraucht. Dafs ich die Länge des Feuerstrahls bei diesen Ladungen unbeachtet gelassen habe, thut mir leid; andere Gegenstände forderten aber meine größte Aufmerksamkeit, und ich glaubte bei einer andern Gelegenheit dieses nachholen zu können.

Aus Versuchen, welche in einer dunkeln Nacht mit einer 6pfündigen Kanone gemacht wurden, die 56 schwed. Dec. Zoll lang ausgebohrt war und mit 2 Pfund Pulver geladen wurde, hat sich ergeben,

dafs die Zeit, welche zwischen dem Aufblitzen des Zündpulvers aus dem Zündloche und dem Sichtbarwerden des aus der Kanonen - Mündung herausfahrenden Feuerstrahls hingehet, allezeit 15 bis 18 Tertien beträgt; dieses sind Mittelzahlen von der größten und kleinsten Anzahl Tertien, welche bei 40 Schüssen beobachtet waren. Auf diese Erfahrung, glaube ich, muß man Rücksicht nehmen, wenn man bei der Nacht die Geschwindigkeit des Schalls durch Kanonen - Schüsse messen oder beobachten will. Ich habe mich, ehe ich diese Erfahrung durch einen Zufall gemacht habe, hierbei sehr oft getäuscht. Wenn bei dunkler Nacht aus Kanonen gelchossen wird, kann man das Aufblitzen des Zündpulvers und das Blitzen des ausfahrenden Feuerstrahls beobachten, wenn auch zwischen der Kanone und dem Beobachter ein Abstand von einigen tausend Ellen und hohe Gegenstände sich befinden; man braucht nur nach der Gegend hin die Augen und seine Aufmerksamkeit zu wenden.

Noch ein anderer Umstand, nämlich die im Profile stets nierenförmige Gestalt des Rauchs, hatte bei den Artillerie - Versuchen meine Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Da der Feuerstrahl nur 15 bis 16 Fuß außerhalb der Kanonenmündung sichtbar war, konnte nicht er es unmittelbar seyn, der in einer mehr als drei Mal größern Entfernung von der Mündung der Kanonen die breitere Wand umwarf; dieses war also lediglich der vor dem Feuerstrahl hergetriebenen Luft zuzuschreiben. Denkt

man sich die einzelnen Luftschichten vor der Kanone wie ganz dünne auf einander liegende elastische Flächen, so wird sie sich um einen Körper, der sie aus ihrer Stelle vertreiben will, auf die Weise anlegen, wie ich es in Fig. 2 dargestellt habe, wo jeder Strich eine Luftschicht vorstellt *). Diese Figur hat aber die auffallendste Aehnlichkeit mit der Gestalt, welche der Rauch bei jedem Schusse annimmt.

Es läßt sich schwerlich läugnen, daß der aus einer Kanone herausfahrende Feuerstrahl große Aehnlichkeit mit dem Blitzstrahl hat, und daß beide vermöge der großen Geschwindigkeit, womit sie ausfahren, die Luft vor sich her zusammenpressen müssen, und daß dieses Verdichten nicht eher aufhören kann, bis der Strahl erloschen ist. Da die Stärke dieses Zusammenpressens mit der Länge und der Dauer des Blitzes wächst, und der Widerstand

*) Der herausfahrende Feuerstrahl scheint cylinderförmig zu seyn, das ihn umgebende Gas hingegen breitet sich nach den bekannten Gesetzen der ausdehnbaren Flüssigkeiten kegelförmig aus, und da es nicht mit einer gleichen Geschwindigkeit und Kraft, als der Feuerstrahl, herausstürzen und ihm folgen kann, und überdem mit einer größern Fläche gegen die widerstehende Luft wirkt, so wird dadurch die Gestalt der gegen den Feuerstrahl gewendeten Seite der zusammengepressten Luftkegel gebildet. Es stellt in Fig. 2 *ab* den Feuerstrahl vor, *cd* und *ef* die Seitenlinien des Gaskegels, *df* den Durchmesser der Fläche, womit derselbe gegen die durch den Feuerstrahl zusammengepresste Luftkugel *L* stößt; und *dg* und *fh* die Richtungen, in welchen das Gas von der Luftkugel abprallt, da es den Widerstand derselben nicht überwinden kann.

der zusammengepressten Luft zugleich immer größer wird, so muß endlich ein Zustand eintreten, wo der Widerstand der durch das Zusammenpressen hervorgebrachten Luftkugel mit der Wirkung des Blitzes oder des Feuerstrahls im Gleichgewichte ist, und diese letztern folglich entweder erlöschen und zu wirken aufhören, oder sich einen andern Weg suchen müssen, auf welchem sie einen geringern Widerstand leiden. Der Blitz springt in diesem letztern Fall von seiner anfänglichen Richtung ab, und dieses Abspringen kann nur unter einem spitzen Winkel von 30 bis 40° geschehn, vorausgesetzt, daß alle elastische Flüssigkeiten den kleinsten Widerstand zu überwinden suchen *), welcher nicht in einer Richtung seyn kann, die durch die zusammengepresste, Widerstand leistende Luftkugel hindurch geht, sondern rückwärts gerichtet seyn muß (Fig. 3). Gesetzt die Luftkugel habe im Augenblicke des Abspringens dieselbe Gestalt, als der Rauch vor der Mündung der Kanone, wenn der Feuerstrahl verlöscht, so wird sie in der Mitte, an der Stelle, wo der Blitz oder der Feuerstrahl unmittelbar auf sie wirkt, eine schalenförmige Vertiefung ha-

*) Ich bediene mich dieses Ausdrucks: „daß elastische Flüssigkeiten immer den *geringsten Widerstand* zu überwinden suchen,“ weil ich aus Erfahrung weiß, daß eingeschlossnes Schießpulver beim Sprengen von Steinen, von Kanonen, von Bomben, und in Minen diese Richtung nimmt; dasselbe habe ich auch bei gesprengten Flaschen an Windbüchsen bemerkt. Von solchen Thatfachen habe ich diese Voraussetzung genommen.

ben; aus dieser muß die Abspringung geschehen, und diese Form der Luftkugel muß den constanten Abspringungs-Winkel bestimmen. Daß man zuweilen diesen Abprung unter einem stumpfen Winkel sieht, ist eine optische Täuschung, welche Statt finden kann, wenn der abspringende Blitz sich in einer Ebne bewegt, die durch das Auge des Beobachters geht.

Diese Behauptungen haben mehrere Gegner gefunden, welche mit eignen Augen gesehen haben wollen, nicht bloß daß der Blitz unter stumpfen Winkeln wohl von 100° absprang, sondern auch, daß er aus den Wolken in gerader Linie, ohne abzuspringen, ausgefahren sey. Da ich selbst alle diese ungleichartigen Abweichungen bei Blitzen beobachtet hatte, aber überzeugt war, daß sie nur in einem Scheine bestanden und auf einer optischen Täuschung beruhten, so ließ ich, um davon auch diese meine Gegner zu überzeugen, mir zwei 18 Zoll lange Stäbe von $\frac{1}{4}$ Zoll Breite und $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke unter einem Winkel von 30° zusammensetzen. Dieser hölzerne Winkel wurde hinter einen mit Postpapier überzogenen Rahmen gestellt, und dahinter ein Licht, so daß der Schatten des Winkels auf das Papier fiel, wie wenn man einen Schattenriß zeichnen will. Ich stellte den Winkel so, daß der Schatten der beiden Schenkel eine gerade Linie machte und ausah, als käme er von einem Stabe her; und durch eine angebrachte Schnur ließ sich der Winkel in vertikaler Ebne um einen Punkt

nach Belieben drehen. Von Allen wurde der Schatten als von einem Stabe herrührend anerkannt, und bei dem Umdrehen brachte ich alle Winkel hervor, unter denen Jeder Blitze wollte haben abpringen sehn; denn auf den Winkel, unter welchem die Stäbe zusammengefasst waren, konnte keiner schließen, weil ihnen die Länge der Schenkel nicht bekannt war.

Die vor dem Blitz hergetriebenen Luftkugeln sehe ich als die Ursache an, daß in den Wäldern und auf dem Felde gewöhnlich die höhern Bäume von dem Blitz getroffen werden, indess in den Städten und Dörfern zum öftern die höchsten Gebäude verschont, und dagegen die niedrigsten Hütten beschädigt werden. Führt nämlich ein Blitzstrahl auf einen Wald zu, so wird die Luftkugel von den hervorragenden Baumspitzen durchlöchert, und dadurch der Widerstand derselben vermindert; die höchsten Bäume kommen also dem Strahl am nächsten, und dieser ergreift sie, um mit dem geringsten Widerstande bis zur Erde zu kommen. Wahrscheinlich war der kreisförmige Platz um die von dem Blitz getroffene Tanne in dem Park zu Stockholm, von welchem alles Laub wie weggeblasen war, eine Wirkung der Luftkugel. Merkwürdig ist es, daß der Blitz, wenn er in Bäume einschlägt, niemals die äußerste Spitze derselben beschädigt hat; vielleicht wird sie durch den Luftdruck auf die Seite gebogen. — Ist der Wald lichte, und der Blitzstrahl fährt nicht unmittelbar auf einen

Baum, sondern in einen Zwischenraum zwischen den Bäumen herab, so daß nur der äußere Rand der Luftkugel durch die umstehenden Bäume durchlöchert oder zerrissen wird, der Blitz also seine Bahn mit der zerrissenen Luftkugel bis an den Erdboden verfolgen kann, so muß er hier, vermöge des Widerstands der verdichteten Luft, einen Absprung aufwärts machen (Fig. 4), wodurch die Blitze erklärt werden, welche Einige haben aus der Erde hervorbrechen sehen.

Was den zweiten Fall betrifft, daß ein Gewitter, welches über Städte und Dörfer ausbrach, die hohen Gebäude in denselben verschoont und niedrige Hütten getroffen hat, so erklärt sich auch dieser Fall aus der Annahme solcher kugelförmigen verdichteten Luft vor dem Blitzstrahl auf folgende Weise. Hat der Blitzstrahl eine solche Richtung, wie in Fig. 5 gegen das hohe Gebäude, so wird die Luftkugel gegen die Fläche des Dachs getrieben, hier stärker zusammengepreßt, und der Blitz dadurch zum Abspringen genöthigt, da er dann allerdings einen ungleich niedrigeren Gegenstand treffen kann. Dieser so oft eintreffende Fall läßt sich durch keine der bisher angenommenen Hypothesen über Gewitter etc. erklären.

Als ich mit meiner Speculation über diesen Gegenstand so weit gekommen war, wurde ich begierig zu wissen, wie groß die Länge eines Blitzstrahls zwischen dem Abspringen sey, oder die Länge eines solchen scheinbaren Cylinders zu

messen, den der Blitz mit unmeßbarer Geschwindigkeit durchläuft, bis er die Luft vor sich her so stark zusammengepreßt hat, daß er einen andern Weg zu nehmen gezwungen wird. Ich versuchte dieses auf mehrere Art zu bestimmen, doch ohne Erfolg, und schon wollte ich es als unausführbar aufgeben, als ich glücklicher Weise auf den Gedanken kam, es mit der *Camera clara* zu versuchen. Die meinige ist ganz nach den Angaben Brander's gemacht, welche man in seiner Beschreibung einer *Camera obscura*, Augsburg 1769, findet. An die Stelle des mattgeschliffnen Glases setzte ich einen kleinen hölzernen Rahm mit feinem, geölhtem Postpapier überzogen, auf welches ich ein quadratförmiges Netz mit Tuschke gezogen hatte. Je zwei nächste Linien dieses Netzes standen um $\frac{1}{8}$ schwed. Decim. Zoll von einander ab, und die 5te Linie war dicker gezogen; so konnte ich das Netz als Mikrometer brauchen. Ich bestimmte vorläufig den Werth jeder Abtheilung in Graden und Minuten, und so auch die Winkel, welche die Klippen, die meinen Horizont begränzten, mit meinem Fenster machten, und die Höhen der Dächer, die meine Ausichten nach andern Gegenden beschränkten. Auf diese Art, und mit einer guten *Tertien-Uhr* *) ausge-

*) Die *Tertien-Uhr*, deren ich mich bei Beobachtungen bediene, hat die Gestalt einer gewöhnlichen Taschenuhr, das Zifferblatt aber hat drei Abtheilungen und Zeiger, von denen der eine Minuten, der andre Secunden, der dritte Tertien weist. Auf der Rückseite des Gehäuses ist die Ge-

rüftet, wartete ich mit Sehnsucht auf ein herannahendes Gewitter. Aber leider verfehlte ich den ganzen übrigen Sommer die Gelegenheiten zu Beobachtungen, indem, wenn ich zu Hause darauf harrete, kein Gewitter erlichien, wenn ich aber ausser dem Hause seyn mußte, sehr oft bedeutende Gewitter kamen.

Ganz unbefriedigt blieb indeß damals meine Beobachtungslust nicht. Es ist in Stockholm wäh-

schwindigkeit des Schalls in einer Secunda nach schwedischen und andern Fußmaassen eingestochen. Bei dem Gebrauch setzt ein Druck mit dem Zeigefinger gegen eine Feder sogleich das Werk in Gang, und darin bleibt es so lange, bis man den Druck nachläßt. Der Gang der Uhr wird regulirt mittelst einer Zoll langen, mit feinen Gewinden versehenen Schraube, die durch einen gewöhnlichen Uhrschlüssel rechts oder links gedreht wird, je nachdem die Uhr zu geschwind oder zu langsam gegangen ist. Bei ununterbrochnem Fortgehn bleibt die Uhr 2 Stunden lang im Gange. Diese Tertien-Uhren wurden auf meine Veranstaltung im J. 1798 zu Artillerie-Verluchen in Stockholm verfertigt, und sind seitdem bei der Artillerie als Entfernungsmesser und Beobachtungs-Instrumente eingeführt. Der vorige König von Schweden Gustav Adolph IV. gab auf meine Vorstellung den Befehl, daß bei jeder Feldbatterie eine solche Uhr zur Disposition des Batterie-Chefs seyn solle; auch sind alle Festungen damit versehen worden; die Officiere und Unterofficiere müssen sich während der jährlichen Exercirzeit in dem Gebrauch der Uhr zum Distanzmessen durch den Schall üben. Ich habe nie eine Centrifugal-Tertienuhr gesehn, und kann davon nicht urtheilen; so weit ich aber seit 1798 die hier beschriebenen Uhren habe prüfen und Erfahrungen über sie anstellen können, scheinen mir die von dem geschickten Uhrmacher Anders Lundstedt in Stockholm verfertigten nichts zu wünschen übrig zu lassen.

rend des Sommers ein sehr gewöhnliches Vergnügen, auf dem Mäler-See herumzufegeln, und man sieht auf ihm häufig eine große Menge Luftfahrzeuge; alle haben Kanonen, und das Schiessen damit, und das Abbrennen kleiner Feuerwerke macht ein Hauptvergnügen dabei aus; besonders pflegt man *Raketen* steigen zu lassen. An diesen letzteren hatte ich eine gute Uebung, indem ich durch meine Camera clara das Steigen dertelben beobachtete, und sowohl die Zeit desselben, als die Höhe, die sie erreichten, maafs. Ich habe eine große Menge solcher Beobachtungen aufgeschrieben, und selbst mehrere Raketen vom größten Caliber zu dem Ende steigen lassen.

Was mir bei den Raketen besonders auffiel, war die stets gleiche Gröfse des Winkels, unter welchem die Strahlenbüschel divergirten, die beim Aufsteigen der Rakete aus der Röhre herausbrannten. Diese Gleichförmigkeit der Ausströmungs-Winkel gab mir Veranlassung zu einer Reihe von Versuchen, die ich mit größern und kleinern *Schwärmern* von stärkern und schwächern Sätzen anstellte, wie man sie zu Luft-Feuerwerken im Laboratorio zu machen pflegt. Während die Schwärmer brannten, maafs ich mit meiner Camera clara den Ausströmungs-Winkel, indem ich die Schenkel desselben entweder auf dem Papiere aufzeichnete, und nachher verlängerte, um ihn mit einem Transporteur messen zu können, oder indem ich ihn unmittelbar mit einem von sehr dünnem Horn verfertigten

Winkelmesser mit beweglichen Schenkeln maafs, den ich auf das geöhlte Papier oder das mattgeschliffene Glas legte. Ich fand diesen Ausströmungs-Winkel immer von beinahe 12° .

Da ich unter Umständen, wo die Kraft des gewöhnlichen Schießpulvers durch einen Zusatz von Schwefel und Kohlen etc. geschwächt und zum successiven Verbrennen gebracht worden war, immer eine gleichartige kegelförmige Ausströmung während des Verbrennens beobachtet hatte, wollte ich auch versuchen, was geschehen würde, wenn das Pulver ungeschwächt (wie man es bei dem Feuer-
gewehr und den Kanonen braucht) mit ganzer Gewalt augenblicklich ausströmte. Ich nahm zu dem Ende eine 16pfündige Haubitze, deren Ausbohrung so gestaltet war, wie es Fig. 6 darstellt, brachte in die Kammer *bcd* die Pulver-Ladung, liefs sie dann in eine wagerechte Richtung legen, den Raum *edhg* unter der Verlängerung der untersten Linie *de* der Kammer mit sehr feinem getrocknetem Sande füllen, und sie so abfeuern. Aller Sand wurde durch das entzündete Pulver herausgeworfen bis auf den Theil hinter der schrägen Fläche *fd*, welcher allemal zurückblieb, die Ladung mochte stark oder schwach seyn; doch war bei einer stärkern die Fläche am bestimmtesten. Der Winkel *edf* wurde mit einem Instrument gemessen und 6° befunden. Diese Versuche wurden vielfältig wiederholt, mit mancherlei Veränderungen, deren Beschreibung hier zu weitläufig werden würde. Sie

Alle gaben mir zureichende Gründe, bei der Einführung des eisernen Feldgeschützes in Schweden die Mündungen sowohl der Kanonen, als auch der Haubitzen und der Mörser, auf eine Länge von einem bis zwei Caliber, unter einem Winkel von 6° kegelförmig ausbohren zu lassen, (wie dieses Fig. 7 zeigt,) so wie auch die gewöhnliche innere Form der letzteren zu verändern.

Noch muß ich anführen, daß die Flamme eines Lichts, wenn sie am hellsten und vollkommensten, ganz ruhig brennt, gleichviel welche Dicke die Kerze habe, und ob sie aus Talg oder aus Wachs bestehe, allezeit einen Winkel, mit der Spitze aufwärts, von beinahe 12° macht. Unter diesem Winkel brennt auch die Flamme einer Argand'schen Lampe, wiewohl sie nur einen abgestumpften Kegel bildet. Es ist bekannt, daß die bei Feuerwerken gebräuchlichen Schwärmer, wenn man sie anzündet und in der Hand hält, ruhig fortbrennen, und einen feurigen Kegel ausstoßen, dessen Spitze bei der Mündung des Schwärmers ist. Der Winkel dieses Ausströmens ist stets derselbe, und die Höhe, bis zu welcher es sich sichtbar darstellt, beträgt, je nachdem der Satz mehr oder weniger rasch brennt, zwischen 2 und 3 Fuß. Steckt man aber einen solchen Schwärmer in einen Flintenlauf, der etwa 30 Mal so lang als weit ist, und zündet ihn darin an, durch ein hineingeworfenes kleines Stück Schwamm, so sieht man kein

Ausströmen, wohl aber eine rothe, leckende, 5 bis 6 Zoll hohe Flamme, welche mit einem ziemlichen Geräusch so lange brennt, bis der Satz verzehrt ist. — Dieser Versuch scheint mir von bedeutender Wichtigkeit zu seyn, und verdient unter Abänderungen wiederholt zu werden. Ich kam durch einen Zufall auf den Versuch; ich wollte nämlich bei der Armee gewisse telegraphische Signal-Schüsse einführen, die bei Nacht gebraucht werden könnten, insonderheit bei der Scheeren-Flotte. Zu dem Ende wurden Schwärmer und andre Sachen in ein Gewehr gethan, welches vorher wie gewöhnlich mit Pulver geladen war. Ich nahm ein ungeladenes Gewehr und setzte den Schwärmer hinein, und als ich meinen Irrthum gewahr wurde, befahl ich, den Schwärmer anzustecken und ausbrennen zu lassen; und dieses ließ ich nachher noch oft wiederholen. Die Erklärung dieser Erscheinung blieb mir aber dunkel, bis ich des Hrn. Clavelin's vortreffliche Abhandlung in *Gilbert's Annalen der Physik* Jahrg. 1800, B. 6. S. 263 las, auf welchen Aufsatz mich der Prof. Sjorten 1806 aufmerksam machte, der mir als Professor der Artillerie bei den damaligen Versuchen behülflich war. Die von Clavelin angeführten Versuche mit Schwärmern wurden unter mannigfaltiger Abänderung wiederholt, und gaben mir Veranlassung zur Verbesserung der Raketen, und zu andern in die Artillerie gehörenden Einrichtungen, wovon ich bei einer andern Gelegen-

heit etwas mittheilen werde. Hier lernte ich auch die GröÙe des Zurückprallungs-Winkels elastischer Flüssigkeiten, wenn sie gegen eine Fläche stossen, zuerst kennen *).

Ich war in dem nächstfolgenden Jahre glücklicher, und hatte mehrmals Gelegenheit, sowohl am Tage als in der Nacht, durch die *Camera clara* nicht nur den Blitz zu beobachten, sondern auch die in den Wolken bei Gewittern vorgehenden Bewegungen wahrzunehmen; ich muß indess die Mittheilung dieser Beobachtungen bis zu einer andern Gelegenheit, wenn ich im Besitze meiner Papiere seyn werde, verschieben. So viel kann ich aber versichern, daß es in der Physik kaum eine schönere Beobachtungsart giebt, als die mit der hier beschriebenen Vorrichtung, in der die erhabensten Natur-Erscheinungen sich wie ein lebendiges Gemälde im Kleinen darstellen, und selbst das Ge-

*) Merkwürdig ist es, daß ein so gewaltiam ausströmendes Gas, durch 8 bis 9 maliges Reflectiren in dem eingeschlossnen Raume, dahin gebracht werden kann, als eine ruhig brennende leckende Flamme zu erscheinen. Sollten nicht überhaupt Gasarten, wenn man sie durch lange Röhren triebe, mehrere uns noch unbekannte Erscheinungen hervorbringen, wodurch manche jetzt unerklärbare Wirkung als eine natürliche Folge sich darstellen dürfte? Die Gasharmonica sollte in dieser Hinsicht wieder etwas an die Tagesordnung kommen, und die mit ihr angefangnen Versuche mehr im Großen angestellt werden. Auch muß ich den Wunsch äußern, daß der Aufsatz des Hrn. Clavelin nicht in Vergessenheit komme: die darin behandelten Gegenstände geben die reichste Gelegenheit zu neuen interessanten Versuchen, welche ohne große Vorrichtungen gemacht werden können.

schwindeste, das wir kennen, sich mehrere Sekunden lang, so zu sagen, festhalten und messen läßt. Ich darf versichern, daß ich bei diesen Beobachtungen das Ablpringen des Blitzes nie unter einem kleinern Winkel als 36° gesehen, wohl aber Winkel von 60 und 70° bemerkt habe. Da nun bekannt ist, daß ein unter einem spitzen Winkel zusammengesetzter Gegenstand, durch seine Richtung gegen das Auge des Beobachters, unter einem viel größern, aber nie unter einem kleinern Winkel erscheinen kann, so bezeichne ich die Größe des Abspringungs-Winkels mit dem Ausdruck: zwischen 30 und 40° .

Der Blitz hat nicht dieselbe Geschwindigkeit als das Licht; er bedarf, um eine Länge von 2800 Fuß zu durchlaufen, eine bemerkbare Zeit. Man kann sich davon besonders überzeugen, wenn der Strahl und die Absprünge in einer durch das Auge gehenden Ebene liegen, so daß es scheint, als wäre die ganze Bahn des Blitzes ein einziger Strahl, dessen ganze scheinbare Länge sich dem Auge darstellt. Dieses habe ich oft gesehen, und bin dadurch veranlaßt worden, dem Blitz eine Geschwindigkeit von 40000 bis 50000 Fuß in der Secunde zuzutheilen. Wenn man den Blitz mit bloßen Augen in der freien Luft betrachtet, so scheint er, weil der Blick des Beobachters auf einen großen Raum vertheilt ist, mit einer unendlich großen Geschwindigkeit durch die Luft zu fahren; in der *Camera*

clara hingegen, wo der Blick und die Aufmerksamkeit in einen kleinen Raum gesammelt sind, wird auch schon für den im Beobachten wenig geübten Zuschauer eine Zeitdauer bemerkbar; ich schätze sie auf 4 bis 5 Tertien. Da ich, wie weiterhin folgen wird, zu glauben Ursache habe, daß zwischen jedem Absprunge die Länge des scheinbaren Feuerstrahls 6 bis 700 Fuß beträgt, und da ich nicht bestimmt weiß, ob nicht fünf Zickzacks zuweilen Statt finden, so habe ich die angeführte Geschwindigkeit hergesetzt, bis sie durch Beobachtungen genauer bestimmt werden wird. Ich hoffe, daß ich hierbei keine große Unrichtigkeit begehe, da die vielfältigen Beobachtungen, welche ich während mehrerer Jahre über Geschwindigkeiten in sehr kurzen Zeiträumen zu machen Gelegenheit gehabt, und wobei ich mich immer der Tertien-Uhr bedient habe, mir die Geläufigkeit im Schätzen solcher kleinen Zeittheile erworben haben, welche sich Jeder zu eigen machen muß, ehe er an Beobachtungen dieser Art geht. Wenn man das Auge schließt, gleich nachdem man den Blitz in der Camera clara wahrgenommen hat, so erscheint der Blitzstrahl dem Beobachter in der Größe und unter den Winkeln, worin er ihn gesehen, und er hat Zeit, (wenn er sich etwas im Zeichnen geübt hat,) sowohl den Absprungs-Winkel als die Länge des Strahls zu beurtheilen. Den längsten Blitzstrahl habe ich im Juli 1808 bei einem Gewitter in Stock-

holm durch das Gitter meiner Camera clara gemessen; er war 244 schwedische Ellen oder 488 Fuß lang. Ob dieser Blitz sich in einer Ebne, die senkrecht auf meiner Gesichtslinie war, bewegt habe, darüber kann ich nichts bestimmen, wohl aber behaupten, daß er diese Länge ohne irgend einen Absprung durchließ. Den scheinbaren Durchmesser des Blitzes habe ich zwischen 6 und 7 schwed. Dec. Zoll gefunden. Wäre die von mir gefundene Länge von 488 schwed. Fuß das Maximum der Absprungs-Länge, und fänden in einem Blitzstrahl in unsrer Atmosphäre nicht mehr als höchstens 5 Absprünge Statt, wie ich Ursache habe, nach meinen Beobachtungen zu glauben, da ich mehrentheils nur 4 Absprünge bemerkte, wegen des 5ten indeß nicht ganz sicher bin, und wären endlich alle Absprünge von gleicher Länge, so hätten wir 2440 schwedische Fuß als die größte Länge, welche ein Blitzstrahl durchlaufen kann *). Es hat mir geschehen, als sey der letzte Strahl, in welchem der Blitz verlöscht, immer schwächer als die andern Strahlen.

*) Es wäre sehr zu wünschen, daß sich Beobachter, die in einer Entfernung von einigen Meilen von einander wohnen, vereinigen möchten, um während des Sommers über die Gewitter, welche zwischen ihren Wohnorten ausbrechen, auf die von mir angegebene Art gleichzeitige Beobachtungen anzustellen, damit wir die wahre Länge der Blitzstrahlen und die Größe ihrer Absprungs-Winkel genauer kennen lernten.

Andere Beobachtungen geben mir indeß Ursache zu glauben, daß die größte Länge, welche der Blitz zwischen dem Abspringen zu durchlaufen pflegt, 6 bis 700 Fuß beträgt. Auf meinen Reisen, bei denen ich außer einer Tertien-Uhr keine Beobachtungs-Apparate mit mir führen konnte, fiel ich nämlich darauf, die Länge des Blitzes durch die Dauer des Schalls zu messen, zu welchem Ende ich, so wie der erste Schall zu mir kam, meine Tertien-Uhr in Bewegung setzte, und selbige laufen ließ, bis der Schall verschwunden war. Ich setzte voraus, daß die Geschwindigkeit desselben 1039 französische oder 1137 schwedische Fuß in der Secunde sey. Sind nun die Zahl der Absprünge gemerkt, so hat man die Länge zwischen jedem Absprünge.

Da der Blitz allezeit dem Donner vorangeht, so betrachtete ich den Donner als ein Product des Blitzes, und da bei der großen Geschwindigkeit und den unbestimmten Richtungen dieses letztern seine Länge aus einem Beobachtungspuncte mit Gewisheit nicht bestimmt werden, die Länge der wirkenden Kraft also nicht gemessen werden kann, so glaubte ich durch Messung des langsamern Products derselben (d. i. des Schalls) auf die Länge des Blitzstrahls schließen zu können, weil beide einander proportional seyn müssen. Aber auch diese Beobachtungsart ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden. Der Anfang des Schalls im Ohr ist ziemlich genau zu bemerken, weil durch den vorangegan-

genen Blitz die Aufmerksamkeit auf ihn gespannt ist und man etwas erwartet. Dagegen hat es mehr Schwierigkeit, das Ende des Schalls zu bestimmen, besonders wenn der letzte Ab sprung des Blitzes eine Richtung von dem Beobachter abwärts hat, und der Schall so zu sagen verhallt; im entgegengesetzten Fall, wenn die Richtung des letzten Ab sprungs nach dem Beobachter zu ist, wird das Ende des Schalls vernehmbarer und weniger trüglich. Im ersten Falle erhält man gewöhnlich eine viel längere Zeitdauer, und folglich die Länge des Blitzes um vieles zu groß *).

Ich kann fast mit Sicherheit behaupten, daß in Schweden kein Gewitter in einer größeren Höhe als von 400 Klaftern entsteht; auch glaube ich, daß in Deutschland, und überhaupt diesseits der Alpen, die Höhe, in welcher Gewitter entstehen, nicht über 500 Klafter hinauf reicht. Vielleicht hängt dieses mit der Höhe der atmosphärischen Schneelinie zusammen; denn zwischen dieser und unsrer sichtbaren Wolken schicht scheint mir die Werkstätte Zeys des Donnerers zu seyn. Ich habe mit sehr vielen Reisenden gesprochen, die den Brocken bestiegen,

- *) Daß man diese Beobachtungen nur machen kann, wenn bei einem Gewitter die Blitze in Minuten langen Pausen fallen, brauche ich kaum anzumerken. Denn ist das Gewitter in der Nähe, und folgen die Blitze so dicht auf einander, daß der Donner des ersten noch nicht zu Ende ist, bevor schon der erste Schall des zweiten unser Ohr erreicht, so entsteht der ununterbrochene, oft Minuten lang rollende Schall des Donners.

und während sie oben waren, ein Gewitter erlebt haben; dieses war immer unterhalb der Spitze des Berges: Selbst habe ich diese Erfahrung nicht gemacht, glaube aber, daß man im Zenith des Brokens nie ein Gewitter beobachtet hat.

Reimarus erzählt in seiner älteren Abhandlung über den Blitz, er sey während eines Gewitters auf einem Gebirge gewesen, und habe mit seiner Gesellschaft die Wolken unter sich erblickt, auch die Blitze gesehn, aber keinen Donner gehört, sondern nur ein Rauschen, als wenn ein Wasserfall in der Nähe gewesen wäre. Da ich einmal angefangen habe, das Gewitter mit dem, was bei dem Schiessen aus Kanonen vorfällt, zu vergleichen, so sey es mir erlaubt, auf diesem Wege noch weiter fortzugehen, und den Vergleich auch auf den *Donner*, als eine Folge des Blitzes, anzuwenden. Um aber richtig verstanden zu werden, muß ich Folgendes vorausschicken:

Einen *kurzen Schall* (*Schall von einem Tact*) nenne ich den, welchen man hört beim Zerplatzen des Knallgoldes, dem Springen einer Bombe, dem Schlag eines Hammers gegen einen festen nicht schallenden Körper, dem Springen der dünnen luftleeren Glaskugeln (Knallbomben) etc.; nämlich einen Schall, der in einer sphärischen Form sich ausbreitet.

Einen *gedehnten Schall* nenne ich den, der entsteht, wenn das Ganze den Schall veranlassende

Mittel, oder der Schall gebende Raum, nach der Länge ausgedehnt ist, so daß dessen Durchmesser vielfach in dessen Länge enthalten ist. Dieses ist z. B. bei dem Feuerstrahl der Fall, der aus einer abgehohten Kanone fährt; seine Dauer verhält sich zu der Schalldauer einer gesprengten Bombe wie der Durchmesser des Feuerstrahls zu seiner Länge (außerhalb der Mündung); und da z. B. der Durchmesser des 24 Pfünders 5 Zoll, die Länge des Feuerstrahls außerhalb seiner Mündung aber 150 Zoll ist, so giebt nach meinen Begriffen der 24 Pfünder eine 30 Mal längere Schalldauer, als die zerplatzende Bombe.

Bei dem Eintritt der Luft in einen leeren Raum entsteht ein Schall, und jeder solcher Raum erneuert denselben. Die *dauernde Länge eines Schalls* steht in dem Verhältniß der Länge des durch die freie Luft hindurchfahrenden Feuerstrahls zu seinem Durchmesser. Denn da der Feuerstrahl von allen Seiten mit Luft umgeben ist, die mit der bekannten Geschwindigkeit in den leeren Raum, den der Feuerstrahl (theilweise) verläßt, einzudringen sucht, so kann der Durchmesser nur als Anzeiger des Schalltacts angesehen oder betrachtet werden.

Wenn eine mit 2 Pfund Pulver geladene Bombe gesprengt wird, so breitet sich der Schall sogleich kugelförmig nach allen Seiten aus, und ist kurz und begrenzt zu hören. Wenn man dagegen 2 Pfund Pulver in eine Kanone ladet, die 15 bis 20 Durchmesser des

innern Raums der Bombe zur Länge hat, so wird man einen merklichen Unterschied der Dauer des Schalls bemerken *). Auch unterscheidet fast jeder Artillerist in großer Ferne, ob aus dem kurzen Wurfgeschütz geworfen, oder aus Kanonen geschossen wird, und ob dieses schweres oder leichtes Feldgeschütz sind; und unter hundert Menschen wird es kaum einen geben, der nicht das Schiessen aus einem 6 Pfänder von dem aus einem 24 Pfänder unterschiede. Noch leichter kann man sich von dieser Verschiedenheit in dem Schall überzeugen, wenn man eine sogenannte Pulverprobe nimmt, die gewöhnlich sehr kurz sind, sie voll Pulver füllt, und den Knall beim Abschieten aus einer Entfernung von einigen hundert Schritten beobachtet. Man lade dann dieselbe Menge von Pulver in eine Pistole, deren Lauf gewöhnlich zwischen 8 bis 12 Zoll lang ist, und endlich in ein Gewehr, das einen 3 bis 4 Mal längeren Lauf als die Pistole hat, und feuere beide ab. Man wird in allen drei Fällen einen auffallenden Unterschied in dem Knall gewahr werden. Die Pulvermenge darf jedoch, soll die Verschiedenheit auffallend werden, nicht unter $\frac{1}{2}$ Loth betragen, und man muß Pistolen und Gewehre aussuchen, die im Caliber möglichst gleich sind.

*) Werden diese Versuche mit ganzen Pfunden Pulver angestellt, so muß der Beobachter nicht näher als 1000 bis 1500 Schritt stehen, und er muß vor aller Erschütterung geschützt seyn. Ich habe aus Erfahrung, welche Täuschung durch eine größere Nähe veranlaßt werden kann.

Da , dem Einströmen der Luft in einen luftleeren Raum eine Geschwindigkeit von 1281,6 parisi. Fuß in der Secunde giebt, die Geschwindigkeit des Blitzes aber um vieles größer ist, so muß bei dessen Durchfahren durch die Luft eine vollkommene Leere entstehen. Um diese auszufüllen, wird wegen der minderen Geschwindigkeit des auszufüllenden Mittels eine Zeit erfordert, mehr oder weniger, je nachdem dieser auszufüllende Raum eine größere oder geringere Länge hat, oder je öfter derselbe erneuert wird. Der Eintritt der Luft in einen luftleeren Raum giebt nun den Schall als Product. Dieser pflanzt sich vom Anfang bis zum Ende in gleicher Geschwindigkeit fort, so daß man, wenn die Länge des zu durchlaufenden Schallgebenden Gegenstandes bedeutend ist, die Zeit messen kann, welche zwischen dem Anfange und der letzten Schallwelle, die gehört werden kann, vergeht.

Denken wir uns einen herausfahrenden Feuerstrahl nach Art dessen bei dem 24 Pfünder außerhalb der Mündung, welcher eine Länge von 488 Fuß hat, so werden beinahe 26 Tertianen verlaufen, ehe der Schall verschwindet, weil derselbe, dem vorhin Bemerkten zu Folge, über 800 Schalltacte lang seyn muß. Folgt nun mehrere solche Strahlen ununterbrochen auf einander, so würde jeder einen eben so lang gedehnten Schall geben, und die Summe aller ein stetes Rollen von einigen Secunden hervor-

bringen, ohne daß man das Echo zu Hülfe zu rufen nöthig hätte. Wären einige dieser Kanonen nach dem Beobachter hin, andere von ihm ab, und noch andere seitwärts gerichtet, wie in Fig. 8, so würde er alle beim Donner beobachtete Modulationen während der Zeit hören, nur würde er in einer gewissen Entfernung und nicht zu nahe stehen müssen. Auf diese Art, glaube ich, die Entstehung des rollenden Getöses des Donners bei einzelnen Donnereschlägen auf eine einfache Art erklärt zu haben *).

*) Ich habe vorhin erwähnt, daß zwischen dem Aufblitzen des Zündpulvers beim Abschießen einer 6pfündigen Kanone, und des aus der Mündung herausfahrenden Feuerstrahls, eine Zeit von 15 bis 18 Tertianen verstreicht. Wenn nun bei Messung eines Abstandes durch die Geschwindigkeit des Schalls, die Tertian-Uhr in dem Augenblick in Gang gesetzt wird, wenn man das Aufblitzen des Zündpulvers sieht, so erhält man die Entfernung zu groß, weil der Schall nur dann erst hörbar wird, wenn er sich in freier Luft nach allen Seiten ausbreiten kann. Denn wäre die Kanone so stark und dicht verschlossen, daß der Feuerstrahl nicht heraus könnte, so würde man auch keinen Knall hören. (Hierüber habe ich sehr interessante Versuche angestellt.) Ist vorn an die Kanone eine Vorrichtung angeschraubt, mittelst der sich eine mit Talg bestrichne Leder-scheibe, die an einer eisernen Platte befestigt ist, durch starke Stahlfedern in dem Augenblicke, wenn der Blitz aus der Mündung herausfährt, gegen die Mündung festdrücken, und diese sich verschließen läßt, so daß keine Luft hineinströmen kann, so hört man den Schall so ungeschwächt als vorher, da die Mündung offen blieb, und die Luft in sie einströmen konnte. Der Rücklauf der Kanone ist aber bei geschlossener Mündung beträchtlich geringer.

Es giebt aber noch eine Erscheinung, die dem Beobachter, wenn er in der Nähe ist, wo der Blitz einschlägt, nicht entgehen kann, und wodurch sich der Donner von allen nachgemachten Arten des Schalls unterscheidet, nämlich der scharfe, schmetternde, so zu sagen, zerreißende Ton, den man beim Einschlagen, und in der größten Nähe des Gewitters hört. Er ist so scharf und abgebrochen gegen den rollenden Ton, wie der scharfe Ton einer Trompete gegen den eines Fagots.

Die Geschwindigkeit, womit ruhige Luft in einen luftleeren Raum einströmt, und welche 1281,6 parisi. Fuß beträgt, giebt den gewöhnlichen heftig knallenden, aber gleichförmigen Schall. Bei dem Abspringen des Blitzes hingegen ist die Luft in der vor den Blitz her getriebenen Luftkugel, wie vorhin erwähnt, in einem hohen Grade zusammengepreßt, und indem der Blitz zurückweicht und dadurch den leeren Raum bildet, stürzt die zusammengepreßte Luft mit unglaublicher Gewalt ihm nach, und dieser bringt den Ton (welchen ich mit dem, den der Trompetenbläser durch seinen Zungenschlag so scharf und schmetternd macht, ver-

als bei offner. Das Zündloch war hierbei mit einer Schraube verschlossen, und das Pulver wurde entweder von vorne durch Stubinen, oder vom Zündloch her durch ein glühendes Eisen entzündet. Diese Versuche haben mich bestimmt, nur den Feuerstrahl in freier Luft (außerhalb der Mündung) in Betrachtung zu ziehn.

glichen habe,) nur in einem ungleich größern Verhältniß hervor.

Die Zukunft, und genau angestellte Versuche werden entscheiden, ob und wie viel ich mich irre. Der Gegenstand hat mir so wichtig für die Naturlehre erschienen, daß ich mich mit demselben mit allem Eifer beschäftigt habe, so viel es meine Zeit erlaubte, und ich darf glauben, daß ich etwas Bestimmtes würde geliefert haben, wäre ich nicht durch Umstände, die ich abzuändern nicht im Stande war, aus meinen Verhältnissen herausgerissen worden. Gern hätte ich etwas ausgearbeitet über den Widerstand der Luft bei einer ausnehmend größeren Geschwindigkeit, als wir unsern Bomben und Kanonenkugeln geben können; ich finde aber, daß dieses meine wissenschaftlichen Kräfte übersteigt, und thue darauf Verzicht.

Ich bin im Besitz mehrerer Erfahrungen über das Schießen senkrecht aufwärts, von eisernen Kugeln und Cylindern von gleichem Durchmesser, bei ungleicher Länge und Schwere, und ich muß aus einigen hundert solchen Schüssen folgern, daß wir mit diesem Gegenstande noch bei weitem nicht aufs Reine sind *).

*) Auf meine Veranlassung wird bei der schwedischen Artillerie mit allem Geschütz, in senkrechter Richtung auf dem Schildzapfen hängend, Probe geschossen. Es wird eine Grube gegraben, so tief, daß nur die Mündung der Ka-

none hervorragt. In der Grube ist ein aus starkem Holze verfertigter Bock, woran die Kanone gehangen wird, ohn daß sie mit der Traube den Boden berührt. Es geschahen aus jeder Kanone 6 Schüsse: die ersten 3 mit einem 7 Kegel-Durchmesser langen Cylinder von Gulseisen, welcher für 6 Pfänder 80 bis 90 schwedische Pfund wiegt; die letzten 3 Schüsse mit 2 Kugeln, und mit der für die Kanone gewöhnlich bestimmten Pulverladung (für den 6 Pfänder 2 Pfund). Wenn ein solcher 7 Kugeln langer eiserner Cylinder aus einem 6 Pfänder mit 1 Pfund Pulver geschossen wird, vergeht zwischen dem Blitz und dem Aufstehen desselben auf den Boden eine Zeit von 21 bis 22 Secunden, und bei einer Ladung von 3 Pfund Pulver beträgt diese Zeit 30 bis 31 Secunden. Der erste Schuss mit dem Cylinder geschieht mit 1 Pfund, die andern beiden Schüsse mit 3 Pfd. Pulver. Das Getöse, welches diese Cylinder beim Herunterfallen in der Luft machen, ist unbeschreiblich. In einem Umkreise von $\frac{1}{2}$ schwedischer Meile glaubte Jeder, daß der Cylinder auf seinen Kopf fallen würde. Pferde, die angebunden waren, rissen sich los, um davon zu laufen. Anfänglich liefen die Bauern aus ihren Häusern, und glaubten, daß das, was herabfalle, durch die Dächer schlagen würde, und doch fielen alle Cylinder nur 6 bis 50 Fuß von der Grube herunter.