

桑木文庫

洋書

0307

LEONHARDI EULERI OPERA OMNIA
SUB AUSPICIIS SOCIETATIS SCIENTIARUM NATURALIUM HELVETICAE

EDENDA CURAVERUNT

F. RUDJO · A. KRAZER · A. SPEISER · L. G. DU PASQUIER

SERIES SECUNDA · OPERA MECHANICA ET ASTRONOMICA · VOLUMEN QUARTUM DECIMUM

LEONHARD EULER
NEUE GRUNDSÄTZE
DER ARTILLERIE

AUS DEM ENGLISCHEN DES HERRN BENJAMIN ROBINS
ÜBERSETZT UND MIT VIELEN ANMERKUNGEN VERSEHEN

MIT VIER BALLISTISCHEN ABHANDLUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON

FRIEDRICH ROBERT SCHERRER



LEIPZIG UND BERLIN
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER

1922

物理
08
E
1.1

九州帝國大學理學部

8257

物理學教室

九州帝國大學工務大學

806236

大正13年2月8日

數學物理學教室

桑本文庫

洋書

0307

LEONHARDI EULERI

OPERA OMNIA

806336

理学部 洋 通及

022232002004455



九州大学蔵書





LEONHARDI EULERI
OPERA OMNIA

SUB AUSPICIIS
SOCIETATIS SCIENTIARUM NATURALIUM
HELVETICAE

EDENDA CURAVERUNT

FERDINAND RUDIO
ADOLF KRAZER ANDREAS SPEISER
LOUIS GUSTAVE DU PASQUIER

SERIES SECUNDA
OPERA MECHANICA ET ASTRONOMICA
VOLUMEN QUARTUM DECIMUM



LIPSIÆ ET BEROLINI
TYPIS ET IN AEDIBUS B. G. TEUBNERI
MCMXXII

LEONHARD EULER
NEUE GRUNDSÄTZE
DER ARTILLERIE

AUS DEM ENGLISCHEN DES HERRN BENJAMIN ROBINS
ÜBERSETZT UND MIT VIELEN ANMERKUNGEN VERSEHEN

MIT VIER BALLISTISCHEN ABHANDLUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON

FRIEDRICH ROBERT SCHERRER



LEIPZIG UND BERLIN
DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER
1922



ALLE RECHTE, EINSCHLIESSLICH DES ÜBERSETZUNGSRECHTS, VORBEHALTEN

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Frühzeitig begann LEONHARD EULER sich mit den praktischen Anwendungen der Mechanik zu befassen; schrieb er doch schon mit 19 Jahren jene Abhandlung über die Bemastung der Schiffe, die von der Pariser Akademie mit einem Preis gekrönt wurde. Es ist die Abhandlung 4 des ENESTRÖMSCHEN Verzeichnisses. Bald fand er auch Gelegenheit, sich speziell mit ballistischen Fragen zu beschäftigen. 1727 siedelte er nach Petersburg über und noch in demselben Jahre wohnte er als Mitglied der Akademie den Schießversuchen bei, die unter der Leitung des Generals GÜNTHER stattfanden und die den Gegenstand der vorletzten in unserem Bande befindlichen kurzen Abhandlung bilden.

Nachdem EULER 1741 infolge seiner Berufung an die preußische Akademie der Wissenschaften seinen Wohnsitz nach Berlin verlegt hatte, wurde er von FRIEDRICH DEM GROSSEN in einer Reihe von praktischen Fragen, insbesondere auch in solchen artilleristischer Natur, zu Rate gezogen. „Der König hatte“, erzählt NICOLAUS FUSS¹⁾, „Herrn EULERS Meinung über das beste in dieses Fach schlagende Werk verlangt. Von ROBINS, der EULERS Mechanik, die er nicht verstand, einige Jahre vorher auf eine grobe Art angefallen hatte²⁾, waren neue Grundsätze der Artillerie im englischen erschienen³⁾, die Herr EULER dem König lobte, indem er sich zugleich anheischig machte, das Werk zu übersetzen und mit Zusätzen und Erläuterungen zu begleiten. Diese Erläuterungen enthalten eine vollständige

1) NICOLAUS FUSS (1755—1825), *Lobrede auf Herrn LEONHARD EULER. Von dem Verfasser selbst aus dem Französischen übersetzt und mit verschiedenen Zusätzen vermehrt, nebst einem vollständigen Verzeichnis der EULERSCHEN Schriften*. Basel 1786, p. 45—47. Abgedruckt in *LEONHARDI EULERI Opera omnia*, series I, vol. 1.

2) B. ROBINS (1707—1751), *Remarks on Mr. EULERS Treatise of motion, Dr. SMITH's complete system of optics, and Dr. JURINS essay upon distinct and indistinct vision*, London 1739, p. 1—29; wieder abgedruckt in JAMES WILSON, *Mathematical Tracts of the late BENJAMIN ROBINS, Esq.*, London 1761, vol. II, p. 191.

3) BENJAMIN ROBINS, *New principles of gunnery: containing the determination of the force of gunpowder, and an investigation of the difference in the resisting power of the air to swift and slow motions*, London 1742; wieder abgedruckt in JAMES WILSON, *Mathematical Tracts of the late BENJAMIN ROBINS, Esq.*, London 1761, vol. I, p. 1—153.



Theorie der Bewegung geworfener Körper und es ist seit 38 Jahren nichts erschienen, das dem, was Herr EULER damals in diesem schweren Theile der Mechanik getan hat, an die Seite gesetzt werden könnte. Auch ward der Werth dieses herrlichen Werkes allgemein anerkannt. Ein aufgeklärter Staatsmann, der französische See- und Finanzminister TURGOT, ließ es ins französische übersetzen¹⁾ und in den Artillerieschulen einführen; und beynabe zu eben der Zeit erschien eine englische Übersetzung²⁾ in der größten typographischen Pracht, die englische Druckereyen einem Werke nur geben können. Indem Herr EULER in dieser Uebersetzung, wo es immer nur thunlich war, Herrn ROBINS Gerechtigkeit wiederfahren läßt, verbessert er, mit einer seltenen Bescheidenheit, dessen Fehler gegen die Theorie, und alle Rache, die er wegen des alten Unbills an seinem Gegner nimmt, besteht darin, daß er dessen Werk so berühmt macht, als es ohne ihn nie geworden wäre.“

BENJAMIN ROBINS wurde 1707, also in demselben Jahre wie EULER, zu Bath in England geboren und verriet frühzeitig eine vielseitige Begabung und Gewandtheit sowohl im mündlichen als auch im schriftlichen Ausdruck. Er studierte Mathematik und Physik, interessierte sich lebhaft für Geschichte, Kunst und Literatur und beschäftigte sich mit vielerlei technischen Fragen, insbesondere auch mit dem Befestigungswesen und der Ballistik. Durch zahlreiche Schießversuche mit Benutzung des von ihm erfundenen ballistischen Pendels suchte er sich über die Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschwindigkeit zu orientieren. Für seine Arbeiten auf diesem Gebiete erhielt er von der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu London eine goldene Medaille. Die Besichtigung

1) J. L. LOMBARD, *Nouveaux principes d'artillerie de M. BENJAMIN ROBINS, commentés par M. LEONARD EULER, traduits de l'allemand, avec des notes*, Dijon et Paris 1783 (Abhandlung 77B des ENESTRÖMSCHEN Verzeichnisses. Als Anhang sind dieser Übersetzung beigelegt: 1) *Nouvelles Experiences faites à Woolwich, pour connaître les vitesses initiales des Boulets, rapportées dans les Transactions philosophiques, année 1778, no. 111*, enthaltend den Bericht über die Ergebnisse der Schießversuche, die CHARLES HUTTON (1737–1823), Professor der Mathematik und Ingenieur an der Militärakademie zu Woolwich, im Jahre 1775 daselbst ausgeführt hatte; 2) *Extrait d'une dissertation de M. EULER sur l'explication des phénomènes de l'air, insérée dans le tome II des Memoires de l'académie de Péterbourg pour l'année 1797* (Abhandlung 7 des ENESTRÖMSCHEN Verzeichnisses, enthalten in LEONHARD EULERS *Opera omnia*, series II, vol. 27, unter dem Titel *Tentamen explicationis phaenomenorum aeris*).

2) HUGH BROWN, *The true principles of gunnery investigated and explained. Comprehending translations of professor EULERS observations upon the new principles of gunnery, published by the late Mr. BENJAMIN ROBINS, and that celebrated authors Discourse upon the track described by a body in a resisting medium, inserted in the memoirs of the Royal academy of Berlin for the year 1753* [Abhandlung 217A in ENESTRÖMS Verzeichnis]. To which are added many necessary explanations and remarks, together with Tables calculated for practice, the use of which is illustrated by proper examples; with the method of solving that capital problem, which requires the elevation for the greatest range with any given initial velocity, London 1777 (Abhandlung 77A in ENESTRÖMS Verzeichnis).

der festen Plätze in Flandern gab ihm Gelegenheit, sich in der Fortifikation zu vervollkommen. In den Jahren 1749 und 1750 war er als General-Ingenieur der ostindischen Kompagnie in Indien tätig, wo er Pläne für die Forts St. David und Madras ausarbeitete. Seine zarte Konstitution ertrug jedoch das dortige Klima nicht. Am 29. Juli 1751 erlag er im Fort St. David dem Fieber.¹⁾

ROBINS literarische Arbeiten betreffen nicht allein Gegenstände der Mathematik und Physik, der Artillerie und Ballistik, sondern auch Angelegenheiten des öffentlichen Lebens und sind zum Teil polemischer Natur. Es verdient hier besonders erwähnt zu werden, daß er schon im Jahre 1747 in dem Aufsatz *On the nature and advantage of rifled barrel pieces* für die Einführung gezogener Gewehre eintrat und die Vorteile erkannte, welche die Hinterladung für die gezogenen Feuerwaffen hat. Dem raschen Aufschwung, den die von LEIBNIZ und NEWTON begründete höhere Analysis durch die Basler Mathematiker JAKOB, JOHANN, DANIEL BERNOULLI und LEONHARD EULER nahm, vermochte er jedoch nicht zu folgen; ein Umstand, der wenigstens teilweise die ablehnende Haltung erklärt, die er gegenüber EULERS *Mechanica* einnahm.

Obwohl schon GALILEI hervorgehoben hatte, daß die Wurflinie nur im luftleeren Raum eine Parabel sei, hielten sich doch die Artilleristen noch im 18. Jahrhundert an die parabolische Theorie, weil sie glaubten, den Einfluß des Luftwiderstandes auf die Flugbahn vernachlässigen zu dürfen. „L'Artillerie a eu son enfance comme les autres sciences mais beaucoup plus longue“, schreibt LOMBARD in der Vorrede zu der p. VIII, Anmerkung 1, zitierten französischen Übersetzung, „livrée d'abord à une routine aveugle, ses progrès ont été très lents. Il a fallu deux siècles pour détruire l'absurde opinion du mouvement rectiligne des projectiles; un autre siècle pour dissuader les Artilleurs de leur mouvement parabolique. Les effets de la résistance de l'air, quoique connus depuis longtemps, étaient un secret relégué dans les écrits de quelques savants et totalement ignorés des Artilleurs, à qui cependant cette connaissance était la plus nécessaire“. ROBINS hat das Verdienst, durch seine Schießversuche und Messungen eine richtige Einschätzung der Bedeutung des Luftwiderstandes angebahnt zu haben.

EULERS Übersetzung der *New Principles of gunnery* beginnt mit einer von EULER verfaßten Vorrede, in der er über die Einteilung des Werkes und über die von ihm hinzugefügten „Anmerkungen“ orientiert, die auf einen jeden der ROBINSSCHEN „Sätze“ folgen. Der sich daran anschließende „Vorbericht des Verfassers“ enthält eine Darstellung der Entwicklung der beständigen Befestigung und der Artillerie. ROBINS verfolgt darin die Ausgestaltung der Fortifikation von der Entstehung der Bastionen an bis auf VAUBAN und

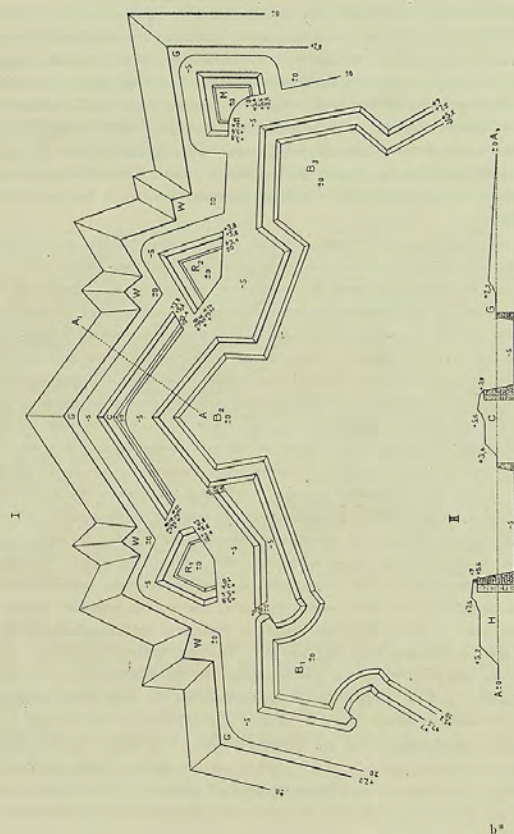
1) Die biographischen Angaben über ROBINS wurden der Vorrede des p. VII zitierten Buches von JAMES WILSON entnommen.



COEHOORN und bedient sich dabei einiger technischer Ausdrücke, die hier an Hand der Figuren I und II auf S. XI erklärt werden sollen.

Fig. I zeigt den Grundriß eines Ausschnittes einer Bastionärbefestigung im Maßstab 1:5000 und Fig. II einen Vertikalschnitt im Maßstab 1:1250 längs der schwach gebrochenen Linie AA_1 des Grundrisses. Der letztere stellt drei mit B_1 , B_2 und B_3 bezeichnete Bastionen oder *Bollwerke* dar, welche die Gestalt von Fünfecken haben, die auf einer Seite, nämlich gegen das Innere des befestigten Platzes, offen sind. Die Ecke, die der offenen Seite gegenüberliegt, ist die *Bastionsspitze*. Die in ihr zusammenstoßenden Wallteile sind die *Facen* und die sich rückwärts an sie anschließenden Wallteile die *Flanken*. Die Gerade, die den von den Facen gebildeten Winkel halbiert, wird *Kapitale* genannt. Der Punkt, wo die Flanke an die Face anstößt, heißt *Schulterpunkt*. Während die Flanken der Bastionen B_2 und B_3 geradlinig verlaufen, sind die der Bastion B_1 in der Weise kreisförmig gekrümmt, wie sie VAUBAN anfänglich anlegte; überdies schließen sie nicht, wie bei B_2 und B_3 , an die Schulterpunkte an, sondern sie sind etwas zurückgesetzt, wodurch an jedem Schulterpunkt ein *Orillon* oder *Bollwerksohr* entsteht, das den Zweck hat, die dahinterliegenden Batterien zu decken. Der Teil des Walles, der zwei benachbarte Bastionen verbindet, heißt *Courtine*. Die Bastionen und Courtinen bilden zusammen die fortlaufende gebrochene Linie des Hauptwalles H (Fig. II), bestimmt zur Aufstellung von Geschützen, aber auch eingerichtet zur Verteidigung mit dem Gewehr. Vor dem Hauptwall zieht sich ein breiter Graben hin. Vor der Courtine rechts befindet sich das *Ravelin* R_1 (von den Franzosen auch *Demi-lune* genannt), dessen Wall nur aus den beiden Facen besteht, während das Ravelin R_1 vor der Courtine links noch zwei kurze Flanken hat. Zwischen der Courtine links und dem zugehörigen Ravelin ist zur wirksamen Grabenverteidigung eine *Grabenschere* (*Tenaille*) eingebaut. Vor den beiden Facen der mittleren Bastion wurde zu ihrem Schutz eine *Contregarde* C angelegt und vor der Spitze der Bastion B_3 ein *Halbmond* M , wie ihn ROBINS in Holland gesehen haben mag. Vor dem Graben, der alle genannten Anlagen umzieht, befindet sich der *gedeckte Weg* G , der in den einspringenden Ecken *Waffenplätze* W aufweist, die oft zu hartnäckiger Verteidigung eingerichtet waren und an die sich eine für Infanterieverteidigung eingerichtete Umwallung anschließt; sie zieht sich vor dem gedeckten Weg hin und soll ihn vor feindlicher Einwirkung schützen. Rampen, Brücken und unterirdische Gänge, die die einzelnen Befestigungsteile miteinander verbinden, sowie Traversen zum Schutze gegen seitliches Feuer sind der Einfachheit halber in der Zeichnung weggelassen worden.

Die Profilierung der einzelnen Teile der ganzen Befestigungsanlage zeigt Fig. II. Die Zahlen geben an, wie viele Meter eine im Grundriß angegebene Linie oder ein im Profil angedeuteter Punkt mit + über, mit - unter dem Bauhorizont liegt, der in der Fig. II durch die punktierte Linie bezeichnet ist, an deren Enden ± 0 steht. Die den Hauptwall





auf der Vorderseite begrenzende, mit einwärts angebrachten Strebepfeilern versehene Mauer heißt *Escarpe* und die ihr jenseits des Grabens gegenüberliegende Mauer *Contre-Escarpe*. Der Teil des Hauptwalles, der die Escarpemauer überragt, wird *Brustwehr* (*Parapet*) genannt, weil er den hinter ihm stehenden Schützen Deckung vor den feindlichen Geschossen gewähren soll (Fig. II). Derartige Brustwehren befinden sich auf jedem zur Verteidigung eingerichteten Wall, insbesondere auch auf den Ravelins, der Contre-Garde und der Grabenscheren. Die höchste Linie an jeder Brustwehr, die *Feuerlinie* (*Crête*), wird in Fig. I durch einen etwas dickeren Strich dargestellt. Die ganz schwach geneigte Fläche vor der Feuerlinie des gedeckten Weges, die sich im Vorgelände verliert, heißt *Glacis*. Die zwischen den Kapitalen zweier benachbarter Bastionen liegenden Teile einer Festung bilden eine *Festungsfront*.

Bei der Belagerung einer Festung richtete sich der durch VAUBAN bis in alle Einzelheiten ausgebildete förmliche Angriff meistens gegen eine bestimmte Front. Nach Zurückdrängung der Vortruppen des Verteidigers legte man parallel zur Angriffsfront im Abstand von etwa 575 m von den nächsten Festungswerken einen Schützengraben, die *erste Parallele* genannt, an, der von den Schnittpunkten mit den die Front begrenzenden Kapitalen parallel zu den Nachbarfronten verlängert wurde. In die erste Parallele baute man die *Illicochebatterien* und einzelne Wurf batterien ein. Die Geschosse der ersten sollten die Deckungen des Verteidigers in möglichst flachen Bogen überfliegen und die Festungslinien in mehreren Sprüngen der Länge nach bestreichen. Von der ersten Parallelen ausgehend schnitt man dann im Zickzack Laufgräben oder *Sappen* ein, deren Richtung so gewählt wurde, daß sie von der Festung aus nicht der Länge nach bestrichen werden konnten. Gegen die Festung zu waren sie mit einer Brustwehr versehen und hatten den Zweck, die Verbindung der ersten mit der zweiten Parallelen herzustellen, die ebenfalls in Schützengrabenprofil in einer Entfernung von etwa 250 m vom befestigten Platze angelegt wurde. In dieser Linie oder unmittelbar davor und durch einen Laufgraben damit verbunden wurden die *Demontierbatterien*, deren Geschütze die des Verteidigers zum Schweigen bringen sollten, und überdies *Wurf batterien* gebaut. Von der zweiten Parallelen aus wurden wiederum Sappen vorge trieben und dann wurde am Fuße des Glacis zur Aufnahme von Mörserbatterien die *dritte Parallele* erstellt. Hernach ging man von dieser aus mit traversierten Sappen gegen die Feuerlinie des gedeckten Weges vor und etablierte dort die *Breschebatterien* zum Zerstören des Mauerwerkes und die *Contrebatterien* zur Bekämpfung der nicht selten kasematierten Batterien der Bastionsflanken. Hatte die Bresche eine genügende Breite erreicht, so schritt der Angreifer, wenn nötig, über den Grabenniedergang zum Sturm, den der Verteidiger gelegentlich dadurch zu vereiteln suchte, daß er in der Bastion hinter der Bresche ein *Retranchement*, das heißt eine neue Verteidigungslinie, einbaute.

Die Artillerie schlederte um die Mitte des 18. Jahrhunderts aus glatten Vorderladern kugelförmige eiserne Geschosse und Kartätschen. Die Bezeichnung eines Geschützes als Sechspfünder, Zwölfpfünder usw. richtete sich nach dem Gewicht einer gußeisernen Vollkugel, deren Durchmesser mit dem Kaliber des betreffenden Geschützrohres übereinstimmte. Das Artilleriematerial zeigte in allen europäischen Staaten eine große Mannigfaltigkeit. Die kurze Charakteristik und Benennung der Geschütze auf Seite 320 ist deutschen Verhältnissen in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts angepaßt. Das Wort *Kartätsche* oder *Cartone* (mittelaltenglisch *Quartana*) bezeichnete ursprünglich ein kurzes Geschütz, dessen Geschößgewicht ein Viertel des 100 bis 200 Pfund schweren Geschosses eines „Hauptstückes“ betrug.

Die zahl- und umfangreichen „Anmerkungen“, die EULER in der Übersetzung des ROBINSSCHEN Buches den einzelnen „Sätzen“ hat folgen lassen, bilden die erste Darstellung der innern, äußern und Ziel-Ballistik unter Zuhilfenahme der Infinitesimalrechnung. Auf Grund der Versuchsergebnisse von ROBINS setzt er den Widerstand, den die Bewegung einer Kugel durch die Luft erleidet, gleich dem Gewicht eines über ihrer Großkreisfläche stehenden Zylinders vom spezifischen Gewicht der Luft, die das Geschöß umgibt, und von der Höhe $\frac{1}{2}v + \frac{1}{2}h$. Dabei bedeutet h die Höhe eines Zylinders, der mit dem soben genannten in der Basis und dem spezifischen Gewicht übereinstimmt, dessen absolutes Gewicht jedoch dem über der Basis lastenden Luftdruck gleichkommt, während v die Höhe bedeutet, bis zu welcher ein Körper, der mit der augenblicklichen Geschößgeschwindigkeit lotrecht aufwärts geworfen wird, im luftleeren Raum steigt. Der Versuch, die Koordinaten der Flugbahnpunkte unter Voraussetzung dieses Luftwiderstandsgesetzes als Funktionen des Abgangswinkels und des Neigungswinkels der Bahntangenten gegen die Horizontale durch unendliche Reihen darzustellen, führte zu keinem befriedigenden Resultat. J. H. LAMBERT hat dann später, ausgehend von der Annahme, daß der Luftwiderstand dem Quadrat der Geschößgeschwindigkeit proportional sei, derartige Reihenentwicklungen durchgeführt.¹⁾

Auf die EULERSCHE Bearbeitung des ROBINSSCHEN Werkes folgen im vorliegenden Bande noch vier Abhandlungen EULERS über Ballistik. Die Abhandlung 217 (des ENESTRÖMSCHEN Verzeichnisses) *Recherches sur la véritable courbe que décrivent les corps jetés dans l'air ou dans une autre fluide quelconque* erschien 1755 in den Memoiren der Berliner Akademie.²⁾ Eine Abhandlung mit ungefähr demselben Titel war aber nach C. G. J. JACOBI

1) J. H. LAMBERT (1728–1777), *Mémoire sur la résistance des fluides avec la solution du problème balistique*, Mém. de l'acad. d. sc. de Berlin 21 (1765), 1767, p. 102–188.

2) Eine englische Übersetzung der Abhandlung 217 ist p. VIII, Anmerkung 2, erwähnt.



schon am 20. Juli 1752 der Berliner Akademie vorgelegt worden. EULER nimmt darin den Luftwiderstand proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit an und ersetzt dann, um die sich ergebenden Integrale ausrechnen zu können, die Flugbahn durch eine gebrochene Linie. Jeder ihrer Teile wird durch Streckung eines Flugbahnbogens erhalten und ist gegen die Horizontale unter einem Winkel geneigt, der ein Mittelwert der Winkel ist, welche die Tangenten in den Endpunkten jenes Bahnbogens mit der Horizontalen einschließen. Diese Abhandlung bildet insofern die Grundlage der modernen äußern Ballistik, als hier zum ersten Mal die Methode angewandt wird, eine von der Zeit abhängige Größe für Teile der Flugbahn durch einen Mittelwert zu ersetzen, um die Gestalt der ersteren näherungsweise bestimmen zu können; ein Verfahren, das gegenwärtig noch eingeschlagen wird.

Die Abhandlung 411 (des ENESTRÖMSCHEN Verzeichnisses) *De ictu glandium contra tabulam explosarum* ist nach den Akten am 14. Januar 1771 der Petersburger Akademie vorgelegt worden und auch in demselben Jahr in den *Novi Commentarii* erschienen. Sie hat das Eindringen eines Geschosses in eine Zielscheibe, die zuerst als feststehend, sodann aber auch als in horizontaler Richtung beweglich angenommen wird, sowie das Durchschlagen der Scheibe zum Gegenstand. Als lebendige Kraft (*vis viva*) eines bewegten Körpers wird hier noch das Produkt aus seinem Gewicht und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit bezeichnet und es wird gezeigt, daß der Verlust an lebendiger Kraft, den das bewegte System beim Eindringen des Geschosses in die Scheibe erleidet, der Größe proportional ist, die man jetzt die vom Geschöß geleistete Arbeit nennt.

Die folgende Abhandlung 853 (des ENESTRÖMSCHEN Verzeichnisses) *Meditatio in experimenta explosione tormentorum nuper instituta*, auf die schon am Anfang des Vorwortes hingewiesen worden ist, wurde erst 1862 in den *Opera postuma* veröffentlicht. Wie aus dem Wort „nuper“ geschlossen werden muß¹⁾, ist sie 1727 oder 1728 geschrieben worden. Sie knüpft an sieben Schießversuche an, die mit einem senkrecht aufwärts gerichteten Geschützrohr ausgeführt worden waren, dessen Seele nach dem dritten Schießversuch um ein Fünftel ihrer Länge verkürzt wurde. Die Abhandlung enthält die Berechnung der Steighöhe und der Steigzeit des Geschosses aus der ganzen gemessenen Flugzeit mit Hilfe einer Formel, deren Herleitung nicht angegeben ist, die aber auf dem NEWTONSCHEN Luftwiderstandsgesetz beruht und die im wesentlichen von EULER in seiner *Mechanica* entwickelt ist. Es bestehen jedoch zwischen den Gewichten der verwendeten Ladungen einerseits und den beobachteten Flugzeiten andererseits Widersprüche, die sich nur durch irtümliche Deutungen der in den Versuchsprotokollen enthaltenen Zahlen erklären lassen. Beim ersten Versuch sind vermutlich 8 Loth im Versuchsprotokoll für 8 Unzen gehalten und daher mit

1) G. ENESTRÖM, *Kleine Bemerkungen zur letzten (dritten) Auflage von CANTORS Vorlesungen über Geschichte der Mathematik*, Biblioth. Mathem. 14., 1913—1914, p. 81.

16 Loth wiedergegeben worden; auf dieselbe Weise mögen beim zweiten Versuch aus 4 Loth 8 Loth geworden sein. Der in Hinsicht auf die Geschützrohrängen offensichtliche Widerspruch, der beim dritten und vierten Versuch zwischen den beobachteten Flugzeiten besteht, läßt vermuten, daß die Flugzeit beim dritten Versuch nicht 2, sondern 11 Sekunden betrug, daß aber die Zahl 11 für eine römische II gehalten und daher mit 2 wiedergegeben wurde. Die Rechnung ergibt nämlich für eine Flugzeit von 11 Sekunden eine Steighöhe von 472,6 rheinischen Fuß, was mit der Steighöhe, die man beim vierten Experiment erhält, gut harmoniert. DANIEL BERNOULLI hat übrigens die Beobachtungsergebnisse der in Rede stehenden Schießversuche im Jahre 1727 mathematisch bearbeitet und die Ergebnisse seiner Rechnungen in den *Commentationes academiae scientiarum Petropolitanae* 2, p. 338, sowie in seiner *Hydrodynamica*, p. 236 und 237, zusammengestellt. Der Umstand, daß er die Längen in englischen Fuß angibt und das spezifische Gewicht des Eisens in bezug auf atmosphärische Luft zu 7650 annimmt, während EULER hierfür 7000 setzt, erklärt im Zusammenhang mit den erwähnten wahrscheinlichen Versehen die Abweichung der berichtigten EULERSCHEN Rechenergebnisse von denen BERNOULLIS. Vermutlich hätte EULER selbst die numerischen Rechnungen, die den Inhalt der Abhandlung bilden, niemals drucken lassen. Seine Aufzeichnungen sind aber gleichwohl von Wert, einmal, weil sie erkennen lassen, daß er sich anfänglich an das NEWTONSCHE Luftwiderstandsgesetz gehalten hat, und sodann, weil darin zum ersten Mal in der Literatur der Buchstabe *e* zur Bezeichnung der Basis der natürlichen Logarithmen Verwendung findet, worauf ENESTRÖM¹⁾ aufmerksam gemacht hat.

In dem Bericht, den ENESTRÖM über die EULERSCHEN Manuskripte der Petersburger Akademie veröffentlicht hat, werden neun Notizbücher²⁾ erwähnt. Das vierte derselben enthält p. 437—438 ein Fragment mit der Überschrift: *De motu globi per tubum tornatum explosi*. Nach ENESTRÖM ist das Eintragen der Notizen in diesen vierten Band in die Jahre 1740—1750 zu versetzen. Die kurze Notiz *De motu globi*, die sich mit der Bewegung eines Geschosses in einem gezogenen Rohr beschäftigt, erschien auch vom rein mathematischen Standpunkte aus wert, in die *Opera omnia* aufgenommen zu werden, weil darin bereits das Integral vorkommt, mit dem sich EULER dann in den *Institutiones calculi integralis*³⁾ ausführlicher befaßt hat, nämlich der von SOLDNER⁴⁾ später so genannte *logarithmus integralis*.

1) Siehe die Anmerkung p. XIV.

2) G. ENESTRÖM, Bericht an die Eulerkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft über die EULERSCHEN Manuskripte der Petersburger Akademie, Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung 22, 1913, Zweite Abt., p. 191.

3) *Institutiones calculi integralis*, vol. I, Petropoli 1768, cap. 4, § 228, p. 125; LEONHARDI EULERI *Opera omnia*, series I, vol. 11, p. 127.

4) J. SOLDNER (1777?—1833), *Théorie et tables d'une nouvelle fonction transcendante*, Muncie 1809.



Die *Neuen Grundsätze der Artillerie* enthalten in unserer Ausgabe außer den bereits erwähnten auf die einzelnen „Sätze“ folgenden „Anmerkungen“ EULERS noch zweierlei Fußnoten. Die einen sind mit Sternchen versehen und stammen alle von ROBINS. Die andern haben Nummern und die Bezeichnung F. R. S. und sind, wie auch die übrigen so bezeichneten Fußnoten des vorliegenden Bandes, vom Herausgeber hinzugefügt.

Zum Schlusse danke ich dem Redaktionskomitee für die wertvolle Unterstützung, die es meiner Arbeit hat zuteil werden lassen, insbesondere für die Vervollständigungen der historischen Notizen und der Zitate, sowie für die große Sorgfalt, die es auf die Korrektur verwendet hat.

Dank und Anerkennung gebühren auch der Verlagsfirma B. G. TEUBNER, die allen Wünschen des Herausgebers stets größte Bereitwilligkeit entgegengebracht hat und deren Geduld bei der langwierigen Drucklegung oft auf eine harte Probe gestellt worden ist.

Küsnacht bei Zürich, im Januar 1922.

F. R. SCHERRER.

ÜBERSICHT

über die im vorliegenden Bande vorkommenden Maßeinheiten.

1. Längeneinheiten.

- 1 rheinländischer Fuß (Schuh) = 12 Zoll = 12 · 12 Linien = 0,31385 Meter.
- 1 scrupulum pedis rhenani = $\frac{1}{1000}$ rheinländische Fuß.
- 1 englischer Fuß (Schuh) = $\frac{1}{3}$ Yard = 12 Zoll = 0,30479 Meter.
- 1 rheinländischer Fuß = 1,0297 englische Fuß.
- 1 englischer Fuß = 0,9711 rheinländische Fuß.
- 1 englischer Faden (fathom) = 2 Yard = 6 Fuß = 1,8288 Meter.
- 1 englische Meile (statute mile) = 880 Fathoms = 5280 Fuß = 1609,3149 Meter.
- 1 Pariser Fuß = $\frac{1}{6}$ Toise = 12 Zoll = 12 · 12 Linien = 0,32484 Meter.
- 1 französischer Faden = 1 Toise = 1,9490 Meter.

2. Gewichtseinheiten.

- 1 englisches Troy-Pfund = 12 Unzen = 240 Pennyweights = 5760 Grains = 373,2419 Gramm.
- 1 (Troy) Unze (= 480 Grains) wird beim Apothekergewicht in 8 Drachmen = 8 · 3 Skrupel geteilt.
- 1 englisches Avoirdupois-Pfund = 16 Unzen = 256 Drachmen = 7000 Grains = 453,5926 Gramm.
- 1 Grain beider Gewichte = 0,0648 Gramm.
- 144 Avoirdupois-Pfunde = 175 Troy-Pfunden.
- 192 Avoirdupois-Unzen = 175 Troy-Unzen.
- 1 Avoirdupois-Unze = $437\frac{1}{2}$ Grains = 28,3495 Gramm.
- 1 englischer Quintal = 112 Avoirdupois-Pfunden = 50,802 Kilogramm.
- 1 (engl.) Ton = 20 Quintal = 1016,048 Kilogramm.
- 1 holländisches Troy-Pfund = 16 Unzen = 492,1677 Gramm.
- 1 holländisches Handelspfund = 32 Loth = 494,0904 Gramm.
- 1 Pariser Pfund = 16 Unzen = 16 · 576 Grains = 489,5058 Gramm.
- 1 Nürnberger Pfund¹⁾ Handelsgewicht = 2 Mark = 16 Unzen = 32 Loth = 128 Quint = 509,7 Gramm.

1) Nach v. ALTEN, *Handbuch für Heer und Flotte* 4, p. 196, bediente man sich zu Anfang des 18. Jahrh. in Deutschland bei der Artillerie des Nürnberger Pfundes zur Bezeichnung der Geschoßgewichte. F. R. S.



INHALT

Dieser Band umfaßt die Nummern 77 (*Neue Grundsätze*), 217, 411, 853 des ERNSTROEMISCHEN Verzeichnisses sowie ein unediertes Fragment.

I

NEUE GRUNDSÄTZE DER ARTILLERIE

Seite

aus dem Englischen des Herrn BENJAMIN ROBINS übersetzt
und mit vielen Anmerkungen versehen.

Berlin 1745.

VORREDE EULERS

3

VORBERICHT DES VERFASSERS

10

oder

eine historische Nachricht von dem Ursprung und Aufnehmen
der Fortification und Artillerie

ANMERKUNGEN DES ÜBERSETZERS

45

Hinweis auf die Untersuchungen von HUYGENS, NEWTON, JOH. und D. BERNOULLI
und HERMANN über den Luftwiderstand, sowie von JOH. BERNOULLI, PAPIN, BRACHI
und D. BERNOULLI über die Verbrennung des Schießpulvers.

c*



ERSTES CAPITEL

VON DER GEWALT DES SCHIESS-PULVERS

ERSTER SATZ

49

Wenn Schieß-Pulver sowohl in der Luft, als in einem Luft-leeren Raum, angezündet wird, so wird durch die Entzündung eine beständige, flüssige und mit einer Ausdehnungskraft versehene Materie hervorgebracht.¹⁾

Anmerkung²⁾

52

EULERS Kritik der ROBINSSCHEN Darlegungen.

ZWEYTER SATZ

53

Enthaltend eine ausführlichere Erklärung der Umstände, welche bey der Loßbrennung des Pulvers, sowohl in der Luft, als in einem Luft-leeren Raum, bey den beyden vorhergemeldten Experimenten beobachtet werden.

Anmerkung

55

EULER schließt aus den ROBINSSCHEN Versuchen auf die Eigenschaften der, nach seiner Ansicht, im Schießpulver eingeschlossenen Luft und teilt seine Anschauungen über die Natur der atmosphärischen Luft und des Salpeters mit.

DRITTER SATZ

56

Die Elasticität oder Ausdehnungs-Kraft der aus dem Pulver erzeugten flüssigen Materie ist, wann die übrigen Umstände einerley sind, ihrer Dichte oder Zusammensetzung proportional.

Anmerkung

57

EULER hält es für möglich, daß der Druck eines Gases von großer Dichte der letzteren nicht mehr proportional sei.

1) Die „Zusätze“, die ROBINs einzelnen seiner „Sätze“ hinzugefügt hat, werden in diesem Inhaltsverzeichnis nicht besonders aufgeführt. F. R. S.

2) Wie aus der Vorrede EULERS, S. 8, hervorgeht, rühren die „Anmerkungen“, die auf einen jeden „Satz“ folgen, samt den zugehörigen Figuren nicht von ROBINs, sondern von EULER her.

F. R. S.

VIERTER SATZ

58

Die Elasticität und Menge dieser subtilen Materie, welche aus einer gegebenen Quantität Pulver gezeuget wird, genau zu bestimmen.

Anmerkung

62

Vergleichung von Gewichtseinheiten. EULER macht auf die Abhängigkeit der Dichte der Luft von der Temperatur aufmerksam.

FÜNFTER SATZ

63

Den Zuwachs der Elasticität der Luft zu bestimmen, wann dieselbe auf den Grad des glühenden Eisens erhitzt wird.

Anmerkung

64

EULER bezweifelt, daß der Druck eines Gases bei großer Dichte in derselben Weise von der Temperatur abhängt, wie bei geringerer Dichte.

SECHSTER SATZ

65

Zu bestimmen, um wie viel die Elasticität der subtilen Materie, welche aus dem Pulver erzeugt wird, noch durch die Hitze, womit die Entzündung begleitet wird, vermehrt werde.

Anmerkung

67

Ueber die Abhängigkeit der Wärmeabgabe der Körper von ihrer Dichte. EULER äußert die Absicht, in den folgenden Anmerkungen die Richtigkeit der ROBINSSCHEN Sätze dadurch zu prüfen, daß er auf Grund derselben die Wirkungen der Pulvergase berechnet und die Ergebnisse der Rechnung mit denen der Beobachtung vergleicht.

SIEBENTER SATZ

69

Wenn die Länge und Weite eines Stückes, nebst der Schwere der Kugel und der Ladung des Pulvers, bekannt sind, die Geschwindigkeit zu finden, mit welcher die Kugel aus dem Stücke herausgetrieben wird; es wird aber auch die Elasticität des Pulvers im ersten Augenblicke der Entzündung für bekannt angenommen. (Fig. 1, p. 70.)

Erste Anmerkung

77

Lösung der im siebenten Satz genannten Aufgabe durch Rechnung



	Seite
Zweyte Anmerkung	81
Berechnung der Mündungsgeschwindigkeit des Geschosses unter Berücksichtigung des Gegendruckes der Atmosphäre.	
Dritte Anmerkung	84
Die Geschosfreibung im Rohr. Der Druckverlust infolge der Gasentweichung durch das Zündloch und den Spielraum.	
Vierte Anmerkung	87
EULER macht auf die ungleichmäßige Verteilung des Druckes im Rohr hinter dem Geschoss aufmerksam und weist, gestützt auf die Ergebnisse der Schießversuche des Generals GÜNTHER und die Schußweiten, die mit gezogenen Rohren erzielt worden waren, nach, daß die Pulverladung nicht plötzlich, sondern allmählich verbrennt.	
ACHTER SATZ	93
Die Geschwindigkeit, mit welcher sich eine Kugel in einer jeglichen Distanz von dem Stück bewegt, durch die Erfahrung zu bestimmen. (Fig. 2 und 3, p. 94.)	
Erste Anmerkung	100
Experimentelle Ermittlung des Schwerpunktes und des Schwingungsmittelpunktes des ballistischen Pendels. (Fig. 4, p. 100.)	
Zweyte Anmerkung	102
Berechnung der Geschossgeschwindigkeit aus dem Ausschlag des ballistischen Pendels nach ROBINS. (Fig. 5, p. 103.)	
Dritte Anmerkung	106
Verbesserte Berechnung der Auftreffgeschwindigkeit und der Eindringungstiefe eines Geschosses aus dem Pendelausschlag. (Fig. 6, p. 108.)	
Vierte Anmerkung	114
Berechnung der Geschossgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Verzögerung, welche die Pendelbewegung durch den Luftwiderstand erleidet. (Fig. 7, p. 115.)	

	Seite
NEUNTER SATZ	121
Die wirklichen Geschwindigkeiten, womit Kugeln von unterschiedener Art aus Schieß-Gewehren getrieben werden, mit der Theorie zu vergleichen.	
Erste Anmerkung	131
Ueber die Fehler, die sich aus der ROBINSCHEN Berechnungsweise der Geschwindigkeit eines Geschosses aus dem Pendelausschlag ergeben.	
Zweyte Anmerkung	136
Berechnung der Anfangsspannung der Pulvergase aus der Ladung und dem Pendelausschlag, den das Geschoss bewirkt.	
Dritte Anmerkung	141
Die Abhängigkeit der Wandstärke des Geschützrohres vom Druck der Pulvergase. Der Rückstoß. (Fig. 8, p. 142.)	
Vierte Anmerkung	147
Die beste Form des Laderaumes.	
ZEHNTER SATZ	149
Die Veränderungen, welchen die Gewalt des Pulvers nach dem verschiedenen Zustande der Atmosphäre unterworfen ist, zu bestimmen.	
Anmerkung	155
Der Einfluß der Feuchtigkeit der Luft auf die Triebkraft des Pulvers.	
ELFTER SATZ	157
Die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher die aus der Entzündung des Pulvers entstehende Flamme durch ihre eigene Ausdehnungs-Kraft fortgeht, wenn weder eine Kugel noch ein anderer Körper vor das Pulver in dem Stück geladen wird.	
Erste Anmerkung	162
Berechnung der Geschwindigkeit der bei der Pulververbrennung entstehenden Flamme. (Fig. 9, p. 164.)	



	Seite
Zweyte Anmerkung	170
Berechnung der Mündungsgeschwindigkeit eines Geschosses. Angabe einer Formel zur Berechnung der Spannung eines Gases aus seiner Dichte.	
Dritte Anmerkung	175
EULER wendet die in der vorhergehenden Anmerkung mitgetheilte Formel auf die Berechnung der Spannung der Pulvergase an.	
Vierte Anmerkung	177
Bestimmung der Geschwindigkeit der Flamme und des Geschosses unter der Annahme, daß die Ladung nicht vollständig verbrennt. (Fig. 10, p. 177.)	
Fünfte Anmerkung	186
Die Beurteilung der Güte des Schießpulvers. Ermittlung der Ladung, die dem Geschoss die größte Mündungsgeschwindigkeit erteilt.	
Sechste Anmerkung	193
Berechnung der Mündungsgeschwindigkeit eines Geschosses unter der Annahme, daß das Pulver allmählich verbrennt.	
Siebente Anmerkung	201
Ermittlung der Mündungsgeschwindigkeit eines Geschosses unter der Annahme, daß nur ein Teil der Ladung, dieser jedoch plötzlich, verbrennt.	
Achte Anmerkung	206
EULER berechnet die Mündungsgeschwindigkeit eines Geschosses unter Berücksichtigung des Gasverlustes durch das Zündloch und den Spielraum, vorausgesetzt, daß nur ein Teil der Ladung, dieser jedoch plötzlich, verbrennt.	
ZWÖLFTER SATZ	215
Die Gewalt zu untersuchen, mit welcher eine Kugel, so von der Ladung merklich entfernt ist, fortgetrieben wird.	
Anmerkung	217
EULER bestimmt die Mündungsgeschwindigkeit unter der Annahme, daß das Geschoss mit Abstand von der Pulverladung ins Rohr gesetzt wird.	

	Seite
DREYZEHENTER SATZ	225
Die verschiedenen Gattungen der Pulver heranzuzählen, und den sichersten Weg anzuzeigen, um die Güte desselben zu erforschen.	
Anmerkung	231
Bestimmung eines Koeffizienten, der als Maß für die Güte des Pulvers dienen kann.	
DAS ZWEYTE CAPITEL	237
VON DEM WIDERSTANDE DER LUFT UND DEM WEGE WELCHEN EINE KUGEL ODER BOMBE IN DER LUFT BESCHREIBET	
ERSTER SATZ	238
Die allgemeinen Grundsätze des Widerstands, welchen flüssige Materien auf harte Körper, so sich darinne bewegen, ausüben, zu beschreiben und fest zusetzen.	
Erste Anmerkung	246
Das Beharrungsvermögen als Ursache der Entstehung von Kräften.	
Zweyte Anmerkung	250
Die longitudinale Bewegung eines Cylinders in einer unelastischen und in einer vollkommen elastischen Flüssigkeit. Die Bewegung einer schief zur Bewegungsrichtung liegenden ebenen Fläche und einer Kugel im widerstehenden Mittel. (Fig. 11, p. 251, Fig. 12, p. 255, Fig. 13, p. 257.)	
Dritte Anmerkung	259
Die Bewegung eines Cylinders in einem cylindrischen mit Flüssigkeit gefüllten Kanal unter der Annahme, daß die Cylinderachse mit der Achse des Kanals zusammenfällt. (Fig. 14, p. 263, Fig. 15, p. 268, Fig. 16, p. 269.)	
Vierte Anmerkung	270
Der Luftwiderstand gegen sehr rasch bewegte Körper und seine Abhängigkeit von ihrer Gestalt. (Fig. 17, p. 274, Fig. 18, p. 279.)	
LEONHARDI EULERI Opera omnia II ¹⁴ Ballistik	d



	Seite
ZWEYTER SATZ	281
Wie man den Widerstand der Luft, welchen ein darin bewegter Körper leidet, durch Versuche bestimmen soll?	
Erste Anmerkung	285
Berechnung der Endgeschwindigkeit für die Kernschußweite. (Fig. 19, p. 285.)	
Zweyte Anmerkung	293
Der freie Fall in der Luft. (Fig. 20, p. 293.)	
Dritte Anmerkung	298
Ueber die Abhängigkeit des Luftwiderstandes von der Geschwindigkeit.	
DRITTER SATZ	301
Wie man die verschiedenen Vermehrungen der widerstehenden Kraft der Luft nach den verschiedenen Geschwindigkeiten der darin bewegten Körper bestimmen soll? (Fig. 21, p. 301.)	
Erste Anmerkung	302
Aufstellung des den Versuchsergebnissen angepaßten Ausdrucks $\frac{1}{2}v + \frac{1}{2g}v^2$ für den Luftwiderstand.	
Zweyte Anmerkung	308
Bestimmung des Coefficienten g aus den Schießversuchen.	
VIERTER SATZ	313
Wie man die Geschwindigkeit, mit welcher Mülketen- und Canonen-Kugeln durch Hülfe der gewöhnlichen Ladung Pulver herausgeschossen werden, bestimmen soll? (Fig. 22, p. 316.)	
Erste Anmerkung	317
EULER berechnet die Mündungsgeschwindigkeit aus dem Ladungsquotienten und der Seelenlänge gemessen in Kalibern.	
Zweyte Anmerkung	324
Berechnung der Mündungsgeschwindigkeit für Seelenlängen von 10 bis 40 Kaliber und die Ladungsquotienten $\frac{1}{6}, \frac{2}{6}, \frac{3}{6}, \frac{4}{6}, \frac{5}{6}, \frac{6}{6}$.	

	Seite
Dritte Anmerkung	331
Berechnung der vorteilhaftesten Seelenlänge bei vorgeschriebener Mündungsgeschwindigkeit.	
Vierte Anmerkung	335
EULER bespricht die Abhängigkeit der Wandstärke des Geschützrohres von der Beschaffenheit der Ladung und des Geschosses.	
Fünfte Anmerkung	339
Bestimmung der Ladung, welche für ein gegebenes Verhältnis der Seelenlänge zum Kaliber die größte Mündungsgeschwindigkeit ergibt.	
FÜNFTER SATZ	346
Wenn eine Canonenkugel von 24 Pfund mit voller Ladung geschossen wird, so ist der Widerstand der Luft, indem dieselbe aus der Canone herausfährt, mehr als zwanzig mahl größer, als das Gewicht derselben.	
Erste Anmerkung	349
Bestimmung des Luftwiderstandes nach dem in der Ersten Anmerkung zum Dritten Satz aufgestellten Gesetz für den im Fünften Satz erwähnten Spezialfall.	
Zweyte Anmerkung	351
Analytische Ableitung der Gesetze der Wurfbewegung im luftleeren Raum. (Fig. 23, p. 352.)	
SECHSTER SATZ	357
Die Bahn, nach welcher sich eine Bombe oder Stück-Kugel in der Luft bewegt, ist weder eine Parabel, noch bey nahe eine Parabel, wenn die Geschwindigkeit, womit dieselben geschossen werden, nicht sehr geringe ist.	
Erste Anmerkung	361
Bestimmung der Flugbahn und Flugzeit für den Horizontalschuß auf eine kurze Strecke unter der Annahme, daß der Luftwiderstand nur horizontal wirke. (Fig. 24, p. 362.)	
Zweyte Anmerkung	368
Bestimmung der Steighöhe und Flugzeit aus der Mündungsgeschwindigkeit für den Vertikalschuß. Ermittlung der Steighöhe und Mündungsgeschwindigkeit aus der Flugzeit. (Fig. 25, p. 369.)	



Dritte Anmerkung	Seite 380
Berechnung der Koordinaten der Flugbahnpunkte aus dem Gewicht, der Mündungsgeschwindigkeit und Abgangsrichtung des Geschosses sowie aus dem Druck und der Dichte der Luft.	
SIEBENTER SATZ	391
Ausser dem, daß die Kugeln in ihrem Flug durch die Kraft der Schwere abwärts gezogen werden, so werden dieselben auch öfters von einer andern Kraft seitwärts entweder zur rechten oder zur linken getrieben.	
Erste Anmerkung	393
Allgemeine Erörterungen über die Bewegung eines starren Körpers unter der Einwirkung äußerer Kräfte mit Anwendung auf die Geschößbewegung.	
Zweyte Anmerkung	400
Die Bewegung einer rotierenden Kugel in der Luft. (Fig. 26, p. 402.)	
ACHTER SATZ	404
Wenn gleich große und gleich schwere Kugeln auf eben denselben harten Körper mit verschiedenen Geschwindigkeiten stossen, und in denselben hinein dringen, so werden sich die verschiedenen Tiefen, auf welche die Kugeln hinein gedrungen, beynahe verhalten, wie die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten. Und der Widerstand solcher harten Körper wird, in Ansehung des Hineindringens der Kugel, immer gleich groß seyn.	
Anmerkung	405
EULER bestimmt die Eindringungstiefe eines Geschosses aus der Auftreffgeschwindigkeit, dem Kaliber und dem Eindringungswiderstand pro Flächeneinheit.	

II

BALLISTISCHE ABHANDLUNGEN

217. Recherches sur la véritable courbe que décrivent les corps jetés dans l'air ou dans un autre fluide quelconque	Seite 413
Mémoires de l'académie des sciences de Berlin [9] (1753), 1755, p. 321—352	
411. De ictu glandium contra tabulam explosarum	448
Novi commentarii academiae scientiarum Petropolitanae 15 (1770), 1771, p. 414—436	
853. Meditatio in experimenta explosione tormentorum nuper instituta	468
Opera posthuma 2, 1862, p. 800—804	
Fragmentum novum ex <i>Adversariis mathematicis</i> depromptum	478
Ex manuscriptis academiae scientiarum Petropolitanae nunc primum editum	
Namenverzeichnis	483



I

NEUE GRUNDSÄTZE
DER ARTILLERIE



Neue Grundsätze
der
ARTILLERIE

enthaltend
die Bestimmung der Gervalt des Pulvers
nach
einer Untersuchung
über den Unterschied des Widerstands der Luft in schnellen und
langsamem Bewegungen
aus dem Englischen des Hrn. Benjamin Robins
übersetzt und mit den nöthigen Erläuterungen und
vielen Anmerkungen versehen

von
Leonhard Euler
Königlichem Professor in Berlin.



Berlin bey A. Haude
Königl. und der Academie der Wissenschaften
privat. Buchhändler. 1745.



VORREDE

Die Artillerie ist schon von langer Zeit her als ein Theil der Mathematic angesehen worden, indem dieselbe ohne eine hinlängliche Erkenntniß der Arithmetic und Geometrie nicht abgehandelt werden kann. Was zwar die Zubereitung des Pulvers betrifft, daher die Artillerie ihren Ursprung genommen, so läuft dieselbe vielmehr in die Chymie, als in die Mathematic: will man aber von der Ursache der erstaunswürdigen Kraft, womit das Pulver begabet ist, Nachricht haben, so muß man die Natur-Wissenschaft zu Rathe ziehen. Ungeachtet aber die eigentliche Bestimmung der Kraft, welche die Wirkungen des Pulvers hervorbringt, zur Mathematic gehört; so erfordert dieselbe doch eine so weitläufige Erkenntniß der höhern Geometrie und Mechanic, daß man genöthigt ist, dieselbe in den Anfangs-Gründen dieser Wissenschaft völlig mit Stillschweigen zu übergehen. Die Beschreibung der verschiedenen Feuer-Maschinen, welche in der Artillerie vorkommen, scheint auch nur in so fern mit den mathematischen Wissenschaften eine Verwandtschaft zu haben, als darinne die Verhältniß¹⁾ der verschiedenen Vermischungen betrachtet wird. Da sich nun diese auf die bloße Erfahrung gründen, die Mathematic aber eine solche Wissenschaft ist, welche nicht nur in einem jeglichen Fall die Verhältnisse anzeigt, sondern auch den Grund, worauf dieselben beruhen, aus der Natur der Sache selbst bestimmt; so ist klar, daß man sich aus der gewöhnlichen Verknüpfung der Artillerie mit der Mathematic in diesem Stücke nicht viel Vorthail versprechen könne. Eine gleiche Bewandniß hat es auch mit der Beschreibung der verschiedenen Arten von Stücken, Canonen und andern Schieß-Maschinen, von welchen gemeinlich nur die Proportion ihrer Theile, wornach dieselben verfertigt zu werden pflegen, angezeigt wird, ohne sich um die Ursachen zu bekümmern, warum dieselben so, und nicht anders, angenommen worden. Die Erklärung und Einrichtung des Caliber-

1) „Die Verhältniß“ ist eine veraltete Form für „das Verhältniß“. Das erst im 18. Jahrhundert entstandene Wort wurde, wie so viele andere Wörter auf „nis“, bald mit dem weiblichen, bald mit dem sächlichen Artikel verbunden. Vgl. damit „die Befugniß“, „die Bewandniß“, „die Erkenntniß“ u. a. F. R. S.



Maaßstabes scheint also hierbey das einige zu seyn, wozu eine Erkenntniß der Arithmetik und Geometrie erfordert wird, als welche sich auf die Cubische Verhältniß, und die Ausziehung der Cubic-Wurzel gründet. Insonderheit muß zwar die Mathematic zu Hülfe genommen werden, wenn man den Weg, welchen eine Bombe oder Stück-Kugel in der Luft beschreibet, bestimmen will; man nimmt aber gemeinlich an, daß diese krumme Linie eine Parabel sey, und pflegt aus den Eigenschaften derselben auszurechnen, wie weit in einem jeglichen Bogenschusse die Kugel reichen müsse. Dieses würde seine Richtigkeit haben, wenn die Kugel in ihrer Bewegung keinen Widerstand litte; da aber der Widerstand der Luft bey so schnellen Bewegungen sehr merklich ist, so weicht auch dieselbe Linie, welche von einer Stück-Kugel beschrieben wird, sehr stark von einer Parabel ab. Und aus eben dieser Ursache hält auch derjenige Winkel, unter welchem eine Kugel am weitesten geschossen wird, nicht 45 Grad, wie man gemeinlich glaubt, sondern etwas weniger. Wenn man aber die Natur derjenigen krummen Linie, nach welcher sich eine Canonen-Kugel in der That bewegt, untersuchen will, so kann solches ohne die höhere Mathematic keinesweges geschehen.

Hieraus ist also klar, daß der Vortheil, welchen man bißher in der Artillerie aus der Mathematic gezogen, sehr geringe ist, und daß eine gemeine Erkenntniß der Mathematic, wie solche in den gewöhnlichen Anfangs-Gründen erklärt zu werden pflegt, keinesweges hinlänglich ist, in der Artillerie denjenigen Nutzen zu schaffen, welchen man sich sonst von dieser Wissenschaft verspricht. Wenn man aber die höhere Mathematic zu Hülfe nimmt, so ist man im Stande, so wohl die wahre Kraft des Pulvers, als die wahre Bewegung der Kugeln, auf das genaueste zu bestimmen; und da auf diesen zweyen Punkten die fürnehmste Wissenschaft der Artillerie beruhet, so können daraus auch die übrigen dahin gehörigen Stücke auf eine gründliche Art erklärt, und in ihr völliges Licht gesetzt werden. Ja wenn auch gleich ein bloßer Mathematicus aus Mangel einer hinlänglichen Erfahrung nicht im Stande ist, aus dieser Erkenntniß allen Nutzen zu ziehen, so ist doch kein Zweifel, ein erfahrener Artillerist werde diesen Abgang leicht ersetzen, und eine solche ihm mitgetheilte Erkenntniß in allen Umständen mit Vortheil anzuwenden wissen.

Man pflegt gemeinlich in den Gedanken zu stehen, als wenn die höhere Mathematic bloß allein in solchen subtilen Speculationen bestünde, aus welchen man nicht den geringsten Nutzen hoffen könnte, und daß man alle Vortheile, welche man dieser Wissenschaft nicht absprechen kann, nur allein den niedrigen und schon genugsam bekannten Theilen der Mathematic zu danken habe. Allein dasjenige, was in Ansehung der Artillerie angeführet worden, ist schon hinreichend, dieses Vorurtheil völlig zu heben; ja man kann so gar mit dem grösten Recht behaupten, daß keine Wissenschaft mit der Mathematic verknüpft ist, welche nicht, wenn sie gründlich ausgeführet werden soll, die so genannte höhere Mathematic erfordere. Es finden sich so gar auch öfters die Grenzen dieser Wissen-

schaft noch nicht einmal genugsam erweitert, um alle Umstände gehöriger Maßen erklären zu können.

Um dieses deutlicher darzuthun, und dadurch den fast allgemeinen Vorwurf, welcher gegen die höhere Mathematic gemacht zu werden pflegt, aus dem Wege zu räumen, so wollen wir die fürnehmsten practischen Theile der Mathematic etwas genauer in Betrachtung ziehen.

In der Mechanik, welche in Erklärung und Bestimmung der Bewegung der Körper besteht, kommen nicht nur die schwersten Fragen vor, welche ohne eine sehr tiefe Einsicht in die höhere Mathematic unmöglich erörtert werden können, sondern es findet sich darinne keine einzige Maschine, deren Wirkung ohne eine solche Erkenntniß vollständig erklärt werden könnte. Was darinn insgemein von den Maschinen vorgebracht wird, geht nur auf die Einrichtung derselben überhaupt, und man pflegt gemeinlich dabey nicht mehr als das Gleichgewicht zwischen der Kraft, und dem Widerstand der Last, anzuzeigen. Da aber die Last nicht nur im Gleichgewicht erhalten, sondern auch in Bewegung gesetzt werden soll, so muß die Kraft der Last überlegen, und also grösser seyn, als zur Erhaltung des Gleichgewichts erfordert wird. Wie nun in diesem Fall die Bewegung beschaffen seyn, und mit was für einer Geschwindigkeit die Last bewegt werden müsse, davon findet man nicht ein Wort in den gemeinen Abhandlungen der Maschinen, ungeachtet hierauf die Haupt-Absicht und der Nutzen aller Maschinen beruhet. Dieses ist die fürnehmste Ursache, warum man sich fast auf keine auf dem Papier entworfene Maschine verlassen kann, ehe man davon eine wirkliche Probe gesehen. Die gemeine Erkenntniß der Mathematic ist nun keinesweges hinreichend, diesem Mangel abzuhelfen: sondern wenn man die wirkliche Bewegung so gar nur in den einfachen Maschinen bestimmen will, so ist man nicht im Stande, solches ohne die Infinitesimal-Rechnung zu verrichten, und es können sich öfters bey den gemeinsten Maschinen solche Umstände ereignen, zu deren Erklärung eine noch weit grössere Erweiterung der höheren Mathematic erfordert wird. Hierinne bestehet aber die vollständige Erkenntniß aller Maschinen, deren Nutzen folglich von Niemand in Zweifel gezogen werden kan, und gegen welche dasjenige, was davon insgemein vorgebracht wird, für nichts zu rechnen ist. Wenn man hergegen im Stande ist, für eine jegliche entworfene Maschine aus der Einrichtung derselben, und der Grösse der Kraft, die wirkliche Bewegung der Last zu bestimmen, so kann man daraus leicht durch Hülfe der höhern Mathematic eine jede Maschine zu dem höchsten Grad der Vollkommenheit bringen. Denn da man für einen jeden Fall, wenn die Kraft und Last gegeben wird, immer unendlich vielerley Maschinen erdenken kan, durch deren Hülfe die Last von der Kraft bewegt wird, so bestehet die wichtigste Frage darinne, wie man unter allen diesen Maschinen diejenige ausfindig machen soll, vermittelst welcher die Last am geschwindesten bewegt werde. Diese Frage kann aber ohne die so genannte höhere Mathematic unmöglich aufgelöst werden.



Wie unvollständig die Abhandlung der Hydrostatic und Hydraulic sey, welche nur auf die gemeinen Theile der Mathematic gegründet ist, wird ein jeder leicht erfahren, welcher sich nur den leichtesten Fall deutlich zu erklären bemühet. Denn die Bewegung der flüssigen Körper ist eine von den schweresten und verwirrtesten Materien, welche in der Mathematic und Physic immer vorkommen können, und mit einer gemeinen Erkenntniß der Mathematic ist darinne nicht das geringste auszurichten. Die berühmten Herren BERNOULLI sind die ersten gewesen, welche diese so dunkle Materie auf eine gründliche Art abgehandelt haben. Der Hr. Professor DANIEL BERNOULLI in Basel hat darüber zu erst sein unvergleichliches Werk unter dem Titel der *Hydrodynamica*¹⁾ herausgegeben, worinne er durch die subtilsten Rechnungen so wohl die Kräfte, als die Bewegungen der flüssigen Körper, so gründlich bestimmt, daß allenthalben die schönste Uebereinstimmung mit der Erfahrung hervorleuchtet. Er hat sich hierzu meistens des Grundsatzes der Erhaltung der lebendigen Kräfte bedient; allein sein Herr Vater hat hernach Mittel gefunden, alle diese Bestimmungen aus den ersten Gründen der Bewegung herzuleiten, wie so wohl aus seinen Werken, welche kürzlich zusammen gedruckt²⁾ heraus gekommen, als aus dem 9ten Tomo der *Comment. der Petersburger Academie*³⁾ erhellet. Wer diese Werke nur obenhin ansieht, wird bald überführt werden, daß in dieser Wissenschaft ohne die höhere Mathematic nicht das allergeringste bestimmt werden kann.

Seit dem die Astronomie auf den gegenwärtigen Grad der Vollkommenheit gebracht worden ist, so ist die höhere Mathematic dazu ganz und gar unentbehrlich; denn ohne dieselbe können die Bewegungen der Planeten und Cometen unmöglich bestimmt werden. Insbesondere aber reicht uns der Mond die allerdeutlichste Probe von der Nothwendigkeit der höheren Mathematic in der Astronomie dar. Die Gesetze, nach welchen sich seine Bewegung richtet, sind offenbar, und es kommt nur darauf an, daß man aus diesen Gesetzen die wirkliche Bewegung des Mondes bestimme. Hierzu wird nun nicht nur die tiefste Erkenntniß der Infinitesimal-Rechnung erfordert, sondern so hoch dieselbe auch bey jetziger Zeit gebracht zu seyn scheint, so ist dieselbe doch noch bey weitem nicht hinlänglich, alle Veränderungen der Bewegung dieses Planeten auf das genaueste zu bestimmen. Alles, was bisher darüber zum Vorschein gekommen, bestehet nur allein in Näherungen, und wir

1) D. BERNOULLI (1700-1782), *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*, Argentorati 1738. F. R. S.

2) JOH. BERNOULLI (1667-1748), *Opera omnia*, Lausanne et Genevae 1742, 4 Theile, siehe besonders die Abhandlung *Hydraulica*, t. IV, p. 387. F. R. S.

3) JOH. BERNOULLI, *Dissertatio hydraulica de motu aquarum per vasa aut per canales quacunque figuram habentis fluentium*, *Comment. acad. sc. Petrop.* 9 (1737), 1744, p. 3; der zweite Teil der Abhandlung folgte im Bande 10 (1738), 1747, p. 207. F. R. S.

können uns keine vollkommene Erkenntniß davon versprechen, ehe und bevor die höhere Mathematic auf einen weit höheren Grad wird getrieben worden seyn.

Hieraus folgt also ganz deutlich, daß der Nutzen der Mathematic keines weges in den gemeinen Theilen derselben bestehe, als deren Gebrauch sich nicht sonderlich weit erstreckt; sondern daß man der höheren Mathematic meistens allein alle diejenigen Vortheile zu danken habe, welche man von dieser Wissenschaft theils schon wirklich erhalten, theils aber noch zu erwarten hat. Es ist also so fern, daß man diese Untersuchungen zu weit treiben könnte, daß man vielmehr die wichtigsten Vortheile nicht eher zu erreichen vermögend ist, als bis man noch sehr grosse Erweiterungen und Entdeckungen darinne wird gemacht haben.

Aus dem gegenwärtigen Werke von der Artillerie, welches wegen der darinne enthaltenen fürtrefflichen und nützlichen Entdeckungen einen allgemeinen Beyfall gefunden, wird genugsam erhellen, daß der Verfasser unmöglich so weit gekommen seyn würde, wenn ihm nicht die höhere Mathematic dazu den Weg gebahnet hätte; indem darinne fast kein Satz vorkommt, welcher ohne die Infinitesimal-Rechnung vollkommen erörtert werden könnte. Weil nun der Nutzen von diesem Englischen Tractat nicht nur schon sehr beträchtlich ist, sondern auch ohne Zweifel noch weit höher gebracht werden kann, so habe ich den Vorsatz gefasset, dieses Werk ins Teutsche zu übersetzen, um die darinne enthaltenen herrlichen Erfindungen desto mehr bekannt zu machen. Da aber der Verfasser alles sehr kurz zusammen gezogen, so habe ich für gut befunden, nicht nur allenthalben die nöthigen Erläuterungen beyzufügen, sondern auch einen jeglichen Satz noch weiter auszuführen, damit man so wohl die Gründlichkeit, als den Nutzen, desto deutlicher einsehen möge. Ich habe mich bey dieser Uebersetzung einer ziemlichen Freyheit bedienet, und mehr auf die Sache selbst, als auf die Worte gesehen, welches bey Werken von dieser Art niemand übel deuten wird.

Es ist diesem Werk von dem Verfasser ein ziemlich weitläufiger Vorbericht vorgesetzt worden, worinne eine historische Nachricht von dem Ursprung und Aufnehmen¹⁾ so wohl der Fortification, als der Artillerie ertheilet wird. Dieses dienet allem Ansehen nach fürnehmlich zu zeigen, wie wenig bisher von der wahren Theorie der Artillerie bekannt gewesen, und wie viele und wichtige Entdeckungen noch zu Verbesserung dieser Wissenschaft erfordert werden.

Das Werk selbst bestehet aus zwey Capiteln. Im ersten wird theils die Kraft des Pulvers, theils die Geschwindigkeit, welche dadurch einer Kugel eingedrückt wird, unter-

1) „Aufnehmen“ bedeutet hier: geschichtliche Entwicklung. Im übrigen sei gleich an dieser Stelle auf das Vorwort des Herausgebers verwiesen, wo die im vorliegenden Bande vorkommenden fortifikatorischen und artilleristischen Kunstausdrücke erklärt werden. F. R. S.



suchet. Erstlich weist der Verfasser durch unstreitige Versuche, daß die Gewalt des Pulvers in der Ausdehnungs-Kraft einer darinne eingeschlossenen subtilen Materie, welche durch die Entzündung in Freyheit gesetzt wird, bestehe. Hernach untersucht er, wie groß diese Kraft sey, und nach was für Gesetzen dieselbe abnehme, indem sich die subtile Materie je länger je mehr ausdehnet. Er zeigt auch, wie viel die bey der Entzündung entstehende Erhitzung zur Vermehrung der Kraft beytrage. Nachdem er diese Stücke erörtert, so bestimmt er die wirkliche Geschwindigkeit, welche einer Kugel von einer gegebenen Ladung Pulver in einem gegebenen Lauf eingedruckt wird. Damit man aber von der Wahrheit dieser Bestimmungen desto mehr versichert werde, so beschreibt er eine von ihm erfundene Maschine, durch deren Hülfe die wirkliche Geschwindigkeit einer jeden Kugel bestimmt werden kann. Diese durch die Erfahrung befundene Geschwindigkeit hält er mit derjenigen, welche er aus der Gewalt des Pulvers gefunden hatte, gegen einander, und weist allenthalben die schönste Uebereinstimmung.

Im andern Capitel stellt er seine Untersuchungen über den Widerstand der Luft an, und weist, daß derselbe auf solche schnelle Bewegungen weit stärker sey, als man nach den bisher angenommenen Regeln immer vermuthen könnte. Hieraus bestimmt er, wie viel eine jegliche Kugel, welche mit einer gegebenen Geschwindigkeit in die Luft geschossen wird, nach und nach von ihrer Geschwindigkeit verliere, und bekräftiget alles dieses beständig durch vielerley Erfahrungen, welche er mittelst seiner obgedachten Maschine angestellt. Unterdessen gehet er hier nicht so weit, daß er die Bahn, nach welcher sich eine Kugel in der Luft bewegt, bestimmte, sondern er verspricht darüber eine besondere Abhandlung, welche aber, so viel uns bekannt, noch nicht zum Vorschein gekommen.

Dieses ist kürzlich der Inhalt des ganzen Werks. Ungeachtet aber dasselbe nur diese zwey Haupt-Stücke in sich zu enthalten scheint, so sind dieselben doch nicht nur der Grund und die Stütze der ganzen Artillerie, sondern es sind auch damit alle übrige Theile dieser Kunst dergestalt verknüpft, daß man dieses Werk mit Recht als eine vollständige Abhandlung der ganzen Artillerie ansehen kan.

Der Autor hat beyde Capitel ferner in Sätze abgetheilet, und einem jeden seine Erklärung und Beweis beygefüget; bißweilen hat er auch noch zu mehrerer Erläuterung Zusätze angehänget, welche mit den von dem Uebersetzer beygefüigten Anmerkungen nicht müssen verwechselt werden.¹⁾

Die Anmerkungen, welche auf einen jeden Satz folgen, sind also nicht von dem Verfasser des Werks, und hätten folglich mit einer sonderbaren Schrift gedruckt werden sollen; da aber dieses, theils wegen der Weitläufigkeit dieser Anmerkungen, theils wegen anderer Umstände, nicht füglich hat geschehen können, so ist nöthig, hiermit den Leser einmahl

1) Siehe das Vorwort des Herausgebers. F. R. S.

für allemahl zu erinnern, daß alles dasjenige, was sich unter dem Titel der Anmerkungen allhier befindet, bey der Uebersetzung beygefüget worden. In denselben ist man bemühet gewesen, erstlich die von dem Autore abgehandelten Materien weitläufiger zu erklären, und hernach auch weiter auszuführen, damit man daraus um so viel grössere Vortheile ziehen könne. Bißweilen sind auch einige von dem Autore begangene geringe Fehler bemerkt und verbessert worden. Im zweyten Capitel befinden sich auch einige Anmerkungen, in welchen man die wahre Bewegung einer Kugel in der Luft zu bestimmen gesucht, nachdem vorher die Kraft des Widerstandes auf eine allgemeine Formel gebracht worden. Die ganze Sache beruhet also nur auf der Ausführung der Rechnung; diese aber ist so schwehr und verworren, daß alle bißher bekannte Vortheile der Infinitesimal-Rechnung noch nicht hinlänglich sind, alle Schwierigkeiten zu überwinden, welches folglich einen neuen Beweis gegen diejenigen, welche der höhern Mathematic allen Nutzen absprechen wollen, an die Hand giebt.



VORBERICHT DES VERFASSERS

ODER

EINE HISTORISCHE NACHRICHT VON DEM URSPRUNG UND AUFNEHMEN DER FORTIFICATION UND ARTILLERIE

Ich war vor ungefehr einem Jahre beynae entschlossen, öffentliche Vorlesungen über die Fortification und Artillerie zu halten; es fanden sich aber einige Hindernisse, welche nicht nöthig sind, hier anzuführen, so mich von diesem Vorsatz zurück hielten. Als aber inzwischen einige Abschriften von dem Inhalt, den ich mir vorgesetzt hatte, in verschiedene Hände geriethen, so wurde ich einiger massen zu gegenwärtiger Unternehmung genöthiget.

Denn da ich mir vorgenommen hatte, diese Abhandlung so vollständig, als mir immer möglich wäre, zu machen, sowohl durch grosse Modelle von den verschiedenen Arten zu befestigen, und dieselben zu attaquiren, als durch vielerley in der Erfahrung gegründete Regeln der Artillerie, so fand ich für nöthig, bey dieser letztern Materie eine Untersuchung von der Gewalt des Schieß-Pulvers, nebst einigen Betrachtungen über den Widerstand der Luft, welche ich entdeckt und durch die Erfahrung bestätigt hatte, mit einzurücken. Weil nun diese Grundsätze in den Papieren, welche bekannt worden, ganz kurz ohne einigen Beweis vorgelegt waren, dieselben aber noch streitig scheinen möchten, indem sie mit den Meynungen der meisten, welche hierüber geschrieben, nicht übereinstimmen, so lag mir ob, etwas ausführlicher einigen Schwierigkeiten, welche dabey entstehen könnten, zu begegnen, und die Gewisheit derselben durch viele ungezweifelte Experimente darzuthun. Hieraus ist also fürnehmlich der folgende Tractat erwachsen, worinnen die Gewalt und Wirkung des Pulvers so genau bestimmt ist, daß man daraus die Geschwindigkeit von aller Gattung Kugeln, welche geschossen werden, ausrechnen, und dabey auch den ganz ausserordentlichen Widerstand der Luft, welche in dergleichen schnellen Bewegungen weit grösser ist, als man bisher geglaubet, in

einem jeglichen Fall anzeigen kann. Hieraus wird nun erhellen, daß sowohl die erste Geschwindigkeit, womit eine Kugel durch volle Ladung ausgeschossen wird, als auch der Weg, welchen dieselbe in der Luft beschreibet, von demjenigen, was bißher von den Autoribus hierüber gesagt worden, gänzlich unterschieden sey.

Da die fürnehmsten Untersuchungen in den folgenden Blättern auf die Gewalt des Pulvers, und die Bewegung der Kugeln, gerichtet sind, so wird es verhoffentlich dem Leser nicht unangenehm seyn, einige Nachrichten von der Erfindung des Pulvers, nebst einer kurzen Beschreibung von dem Aufnehmen der Artillerie, und der damit verknüpften Fortification, allhier anzutreffen; und das um so vielmehr, da die Natur und Beschaffenheit desjenigen, welches in diesem Werk vorgebracht wird, nicht wenig erläutert werden wird, wenn man dasselbe mit den hierüber vormahls gehegten Meynungen gegen einander halten kann. Und obgleich meine Haupt-Absicht nur allein auf die Verbesserung der Theorie und Praxis der Artillerie gehet, so sind doch die jetzigen Arten zu befestigen so genau mit der Erfindung und Anwendung der Artillerie verbunden, und es erhält von diesen beyden Künsten gleichsam eine von der andern ihre Gesetze, daß ich vermuthet, eine kurze Nachricht von dem Ursprung und den Veränderungen der jetzigen Kriegs-Baukunst werde nicht unfüglic der Beschreibung derjenigen gewaltigen Maschinen vorgesetzt werden, welche dazu Anlaß gegeben haben.

Was die erste Erfindung der Bollwerke anlangt, so finden sich darüber bey den Autoribus verschiedene Meynungen, und es ist noch nicht ausgemacht, wenn und wo dieselben zuerst sind gebraucht worden. Einige haben diese Erfindung dem Zisca¹⁾, in Böhmen, andere aber dem ACHMET BASCHA²⁾, zugeschrieben, als welcher nach Eroberung von Otranto A. 1480, diese Stadt auf eine sonderbare Art fortificiret und dabey die Bollwerke angebracht haben soll.³⁾ Diese Muthmassung findet sich aber nur bei den neuern Schriftstellern. Diejenigen, welche vor hundert und mehr Jahren von der Fortification ge-

^{*)} Man sehe hierüber nach die Anmerkungen des Chevalier FOLARD³⁾ über den POLYBIUM, Tom. 3, pag. 2.

1) JOHANN ZISKA (1360?—1424), der berühmte Feldherr der Hussiten. F. R. S.

2) KEDÜK-ACHMED-PASCHA, Großwesir unter SULTAN MOHAMMED II. F. R. S.

3) J. C. CHEVALIER DE FOLARD (1669—1752) veröffentlichte mit V. DE THUILIER *Histoire de Polybe* (mit Kommentar), Paris 1727—1730, 6 Bde. Über die Entstehung und den Inhalt dieses berühmten Werkes siehe M. JAHNS, *Geschichte der Kriegswissenschaften vornehmlich in Deutschland*, 2. Abt., München und Leipzig 1890, p. 1480. F. R. S.



schrieben, scheinen vielmehr der Meynung zu sein, daß die Bollwerke in der alten Art zu bauen nach und nach zur Vollkommenheit gebracht worden, und daß sich niemand ins besondere die Erfindung derselben zueignen könne. Insonderheit schreibt PASINO in dem ersten Theil seines Buches die Veränderungen in der alten Fortification, und die Einführung der neuern Arten der vermehrten Gewalt der Artillerie zu, ohne zu behaupten, daß dieselben auf einmahl, oder durch eine Person in Schwang gebracht worden.*) Woraus ich schliesse, daß man in diesem Stück, betreffend die Erfindung der Bollwerke, nicht mehr mit Gewißheit behaupten könne, als daß dieselben bald nach dem Jahr 1500 bekannt worden. Denn A. 1546 hat TARTALEA¹⁾ seine *Quesiti et Inventioni diverse* heraus gegeben, allwo er in dem sechsten Buche Meldung thut, daß, als er sich in Verona aufgehalten (welches einige Jahr vorher gewesen seyn muß), er daselbst einige Bollwerke von ungeheurer Grösse gesehen habe, deren einige schon zu Ende gebracht, andere aber noch in der Arbeit waren. Und ausser diesem befindet sich noch in eben diesem Buch ein Plan von Turin, welches damals mit 4 Bastionen fortificiret war, und offenbar kurz vorher vollendet worden ist.²⁾

Ob wir nun gleich die Zeit, da man angefangen, die alten runden Thürme in Bollwerke zu verwandeln, nicht gewiß bestimmen können, so ist doch solches allem Ansehen nach nicht lange vor obgemeldeter Zeit geschehen. Denn in eben diesem Buche hält der Prior von Barletta, welcher selbst ein Kriegsmann gewesen, die Festung Turin für unüberwindlich, und berichtet dabey, daß dieses die allgemeine Meynung aller Kriegsverständigen gewesen. Hierbey wirft er auch die Frage auf, ob die Kunst der Menschen hierinne nicht schon den höchsten Grad der Vollkommenheit erreicht hätte? welches ein unstreit-

*) *Discours sur plusieurs Points de l'Architecture de Guerre concernans les fortifications tant anciennes que modernes.* Par Mr. AURELIO DE PASINO FERRAROIS, Architecte de tres Illustre Seigneur, Monseigneur le Duc de BOURBON. Gedruckt bey Plantino 1579. Es erhellet aus einer Abschrift von Versen, welche diesem Buch vorgesetzt sind, daß dieser Autor die Stadt Sedan befestiget hat.

1) NICOLÒ TARTAGLIA (1500 oder 1506—1559), *Quesiti et inventioni diverse*, Venetia 1546 (und 1554); *Opere*, Venetia 1606. F. R. S.

2) EULERS Übersetzung: „... ein Plan von Turin, welcher mit 4 Bastionen fortificiret ist, und derselbe scheint schon eine geraume Zeit vorher verfertigt zu seyn“, ist nicht befriedigend. Im englischen Original heißt es: „... a plan of Turin, which was then fortified with four Bastions, and seems to have been completed some time before“. In der Tat geht auch aus dem sechsten Buche von TARTAGLIA'S *Quesiti* hervor, daß die vier Bastionen nicht nur auf dem Plane, sondern in Wirklichkeit existierten. F. R. S.

tiges Merkmal zu seyn scheint, daß diese Erfindung damahls ganz neu gewesen, und daß dieselbe bey allen Kunstverständigen Nachdenken und Bewunderung erwecket habe; dergleichen eine neue Erfindung von dieser Art gewöhnlicher Weise zu verursachen pflegt.

Die ersten Bollwerke, als die von Turin, Antwerpen*), und andere von gleichem Alter, waren sehr klein, und weit von einander entfernt; denn damahls war die allgemeine Art zu attaquieren, daß man die Courtine und nicht die Bollwerke angriff. Aber nicht lange hernach wurden weit grössere Bollwerke eingeföhret, und näher zusammen gesetzt, als vorher üblich gewesen, wie aus der Citadell von Antwerpen erhellet, welche um das Jahr 1566¹⁾, unter der Aufsicht des Duc d'ALBA²⁾, erbauet worden, und wegen der grossen Lobes-Erhebungen der damahligen Autoren das erste Exempel von dieser Verbesserung zu seyn scheint.

Man kann also setzen, daß die neue Gestalt der Kriegs-Baukunst zu dieser Zeit ihren Anfang genommen. Denn die meisten heut zu Tag bekannten Verbesserungen sind nicht viel mehr, als eine Ausführung solcher Methoden, welche innerhalb wenig Jahren von dieser Zeit an zu rechnen gemacht worden. Denn bald nach dieser Zeit traten schon verschiedene berühmte Männer auf, als LA TREILLE**), ALGHISI³⁾, MARCHI⁴⁾, PASINO, und vor allen der SPECKLE***),

*) Antwerpen wurde fortificiret um das Jahr 1540, wie man aus dem SPECKLE⁴⁾ ersieht im 1. Buch 10ten Capitäl.

**) *La Maniere de fortifier Villes, Chasteaux, et faire autres lieux forts*, mis en françois par le Seigneur ERNEST FRANÇOIS DE LA TREILLE, Commissaire en l'Artillerie, Lyon 1556. Dieser Autor war, wie ich gesehen, der erste, der die retirirten Courtinen vorgeschlagen, welche hernach durch andere unter dem Nahmen der verstärkten Ordnung bekannt gemacht worden.

***) DANIEL SPECKLE war Architect in der Stadt Straßburg und starb im Jahre 1589. Er hat ein Buch von der Fortification in deutscher Sprache heraus gegeben, welches zu Leipzig im Jahr 1736 gedruckt ist.⁵⁾

1) Genauer 1567—1571. Die Zitadelle ist 1874 geschleift worden. F. R. S.

2) Der bekannte spanische Staatsmann und Feldherr Herzog von ALBA (1508—1582), Statthalter der Niederlande. F. R. S.

3) ALGHISI DA CARPI verfaßte um 1548 *Delle fortificationi libri III*, Venedig 1570. F. R. S.

4) F. DE' MARCHI (ungefähr 1506—1574), *Dell' architettura militare libri tre*, Brescia 1599. Über Geschichte und Inhalt dieses bedeutenden Werkes berichtet ausführlich M. JÄHNS, *Geschichte der Kriegswissenschaften vornehmlich in Deutschland*, 1. Abt. München und Leipzig 1889, p. 805. F. R. S.

5) D. SPECKLE (auch SPECKLIN genannt) wurde 1536 in Straßburg geboren und starb daselbst als Stadtbaumeister und Militärarchitekt im Jahre 1589. Sein Hauptwerk *Architectura Von*



welcher einer von den größten Geistern war, die sich jemahls auf diese Kunst gelegt haben.

Um desto besser von den Vorzügen der neuen Befestigungs-Arten urtheilen zu können, so wird nöthig seyn, sich in eine kurze Untersuchung der verschiedenen Manieren einzulassen, welche zu Bedeckung der Flanken, und folglich zur Sicherheit des Walls gegen die feindlichen Anfälle, vorgeschlagen werden; indem man glaubt, daß die fürnehmste Vertheidigung einer Festung in den Flanken bestehe. Dahero gibt die Art und Weise, wodurch für die Sicherheit der Flanken gesorget wird, das sicherste Mittel an die Hand, die Vortheile einer jeglichen Befestigungs-Art richtig zu beurtheilen.

Die gewöhnlichsten Mittel, diese Absicht zu erhalten, sind nun die Orillons, die Ravelins, welche vor die Courtines gesetzt werden, die halben Monds vor den Spitzen der Bollwerke, und die Contreguardes; dahero ein jegliches von diesen Stücken ins besondere, sowohl in Ansehung des Alterthums, als des daher entstehenden Nutzens, in Betrachtung gezogen zu werden verdient.

Die Orillons sind eben so alt, als die Bollwerke selbst; denn man findet zu Turin und Antwerpen (wie oben gemeldet worden) niedrigere Flanken, welche in den Bollwerken eingeschnitten, und dabey mit ziemlich dicken Schultern versehen worden, um dieselben vor den Feld-Batterien zu verwahren. Ueber dieses kommen eben dergleichen Orillons, als jetzo im Gebrauch sind, in den Rissen des PASINO, SPECKLE, und anderer, häufig vor, nur mit diesem Unterscheid, daß die heutigen nicht so stark und massiv sind, als jene. Diese Erfindung hat das Glück gehabt, fast bei allen Befestigungs-Arten, welchen vor andern ein Vorzug gebühret, beybehalten zu werden; ungeachtet sich derselben Nutzen vielmehr auf den Ruff der vor Alters geleisteten Dienste, als auf die Vortheile, welche man noch wirklich dadurch erhält, zu gründen scheint. Denn bey den alten Belagerungen hatten die Belagerten die Gewohnheit, ein Retrenchement hinter der Breche zu machen, wodurch die Belagerer genöthiget wurden, sich auf den Ruinen der Breche fest zu setzen, um dasselbe Retrenchement anzugreifen. In diesem Fall konnten die Canonen, welche von dem Orillon bedeckt waren, nicht unbrauchbar gemacht werden, und leisteten folglich den Belagerten bey dieser Gelegenheit herrliche Dienste.

Festungen erschien zuerst 1589 in Straßburg und erlebte sehr viele Auflagen bis 1736, wo es zum letzten Male (Dresden und Leipzig) gedruckt wurde. Siehe den Artikel von H. JANITSCHKE in der *Allgemeinen deutschen Biographie*, Bd. 35, p. 82, ferner das wiederholt genannte Werk von M. JÄHNKE, *Geschichte der Kriegswissenschaften*, 1. Abt., p. 822. F. R. S.

Man könnte auch viele Exempel anführen, da der Feind, nachdem er sich auf den Ruinen der Breche schon fest gesetzt hatte, dergestalt geängstigt worden, daß er sich genöthiget gefunden, von seiner Unternehmung abzustehen. Weil aber jetzo diese Gewohnheit länger auszuhalten, nachdem die Breche formiret, und der Graben ausgefüllt worden, abgekommen, so hört man auch bey den jetzigen Zeiten selten von dergleichen Vortheilen, welche man den Orillons zu danken hatte.

Die Ravelins, welche vor die Courtines gesetzt werden, (oder die halben Monds, wie dieselben in den neuern Arten genannt zu werden pflegen,) sollten dienen, um die Flanken vor den Creutz-Schüssen zu verwahren, und die Batterien, welche auf dem entgegen gesetzten Theil der Contrescarpe aufgerichtet würden, auf eine Stelle einzuschränken, wo dieselben den Belagerten mehr ausgesetzt, und schweher sind, sich davor zu verwahren. Diese Erfindung ist gleichfalls beynahe eben so alt, als die Befestigungskunst selbst, indem sich dieselbe in den meisten alten Plätzen, und fast bey allen alten Scribenten, findet, und seithero in den meisten Befestigungs-Arten ist beybehalten worden.

Allein die alten Autores, deren fürnehmste Sorge auf die Sicherheit der Flanken gerichtet war, verliessen sich nicht allein auf die Vortheile, welche sie von der letzt gedachten Erfindung erhielten. Denn obgleich durch dieses Mittel die Batterien, so zur Zerstörung der Flanken dienen sollen, auf einem engen Platz eingeschränkt werden, so fanden sie doch, daß der Feind auf diesem Platz mehr Raum hatte, als zu Aufrichtung seiner Contrebatterien erfordert würde; und um dieser Ursache willen haben sie noch die halben Monde vor die Spitzen der Bastionen gesetzt. Durch dieselben suchte man den Grund in Besitz zu nehmen, worauf die feindlichen Batterien gegen die Flanken schon allbereit eingeschränket worden, und dadurch dem Feind die Errichtung dieser Batterien desto schwerer zu machen. Dem ungeachtet konnte diese Absicht hierdurch nicht völlig erreicht werden, und dahero hat man diese Manier einige Zeit aus der Acht gelassen.

Der Endzweck der Contreguardes*), welche ebenfalls sehr alt sind, ist mit den itzt gemeldeten halben Monden einerley, und besteht in Bedeckung

*) PASINO, dessen wir oben Meldung gethan, maßt sich die Erfindung der Contreguardes an, ungeachtet dieselben nachgehends durch SPECKLE sehr sind verbessert worden. Denn die Contreguardes dieses Autoris waren nicht nur vor die Bastionen allein gesetzt, sondern sie umringten den gautzen Platz.



der Flanken, wozu dieselben, wann sie tüchtig angelegt werden, ganz ungemein geschickt sind. Denn, wenn der Feind die Flanken miniren¹⁾ will, so muß er seine Contre-Batterien entweder auf der Contreguarde selbst errichten, welches ihm doch, wann dieselbe ein bequemes Profil hat, unmöglich fällt; oder er ist genöthigt, einen Theil der Contreguarde zu demoliren, um dadurch seine Batterien auf der Contrescarpe in Stand zu setzen, daß man die Flanke zu Gesicht bekomme; welches doch wegen der grossen Gefahr und Schwierigkeit ein mühseliges Werck ist, und eben so viel Hindernisse trifft er auch an, wenn er Breche schiessen will.

Allein, ungeachtet der Fürtrefflichkeit dieser Erfindung, so ist dieselbe doch in den neuern Methoden einer benachbarten Nation gänzlich negligirt worden. Es sind in der That zwey oder drey Plätze durch die Franzosen befestigt worden, in welchen zwar solche Werke, die von ihnen Contreguarden genennet worden, anzutreffen sind; dieselben haben aber mit denjenigen, von welchen hier die Rede ist, nichts als den blossen Nahmen gemein, obgleich ihre eigene Erfahrung von der Wirkung dieser Werke bey Turin ihnen eine vortheilhaftere Meynung davon hatte beybringen sollen. Denn ich habe letzters gesehen, daß dieselben die Werke von alten Festungen mit Contreguarden von einer sehr beträchtlichen Fronte vermehret haben, ungeachtet dieselben vorher vor vollkommen feste Plätze gehalten wurden.

Aus allem diesem, was bißher gesagt worden, ist klar, daß sich die alten Ingenieurs die Bedeckung der Flanken weit nachdrucklicher haben angelegen seyn lassen, als ihre Nachfolger, und daß folglich die Befestigungs-Kunst ihre Vollkommenheit nicht den neuern Ingenieurs zu danken habe, wie uns einige unwissende Schriftsteller bereden wollen. Denn es ist gewiß, daß die grösste Stärke einer Festung in der Sicherheit der Flanken bestehe, weil, wenn auch schon alle übrige Beschützungs-Werke, welche den Batterien des Feindes ausgesetzt sind, ruinirt worden, dennoch der Feind sich dem Haupt-Wall nicht nähern darf, so lange die Flanken noch unversehrt sind. Und derothalben, da dieser Umstand von einigen der neuern Ingenieurs so wenig in Betrachtung gezogen worden, so muß man gestehen, daß die wahren und eigentlichen Gründe dieser Kunst von ihnen sehr unvollkommen begriffen worden sind. Denn es hat sich öfters zugetragen, daß dieselben über einige Faden an der Länge der Flanke, Face oder Courtine, oder über einige Grade eines Winkels disputirt, da sie doch inzwischen die wichtigste Betrachtung, welche in

1) Im Original ruin zerstören. F. R. S.

der Bedeckung der Flanke gegen die Batterien des Feindes besteht, aus der Acht gelassen.

Diese Nachlässigkeit wurde bißweilen durch den Schein einiger Maximen unterstützt, deren eine insonderheit hierinne besteht, daß derjenige, welcher den Feind sieht, auch von demselben hinwiederum gesehen werden könne.*) Woraus man geschlossen, daß wenn man von der Flanke den Feind sehen könne, derselbe auch von seinen Batterien die Flanke ruiniren könne. Der Fehler dieses Schlusses steckt aber hierinne, daß die Flanke, wenn sie wohl bedeckt ist, den Feind nicht sehen kan, so lang er sich an solchen Orten, wo es ihm möglich ist, Batterien anzulegen, aufhalt: sondern alsdenn erst, wann er auf eine solche Stelle angerücktet ist, da er dem heftigsten Feuer der Flanke ausgesetzt ist, ohne sich im Stande zu befinden, dieselbe hinwiederum zu attackiren. Als zum Exempel eine Canon, so nach der gemeinen Manier durch das Orillon bedeckt ist, kan von dem Feind nicht eher gesehen werden, biß er den Graben schon meistens passirt ist, oder sich auf der Breche fest setzt; an beyden Orten aber fällt es ihm unmöglich, dagegen Contre-Batterien aufzuwerfen. Und je vollkommener das Werk ist, welches die Flanke bedeckt, je grösser wird auch der Platz seyn, worinne sich der Feind in solcher Gefahr befindet.

Andere Ingenieurs haben sich unterstanden, dieser Kunst fast alle Wirkung abzusprechen, und in dieser Absicht haben sie die Gewalt der neuen Art zu attackiren dergestalt erhoben, daß sie behaupten wollen, es könne kein Platz so künstlich befestiget werden, daß er dagegen auszuhalten vermögend wäre. Diese Leute stehen in den Gedanken, daß, wann die Contrescarpe einmal verlohren ist, die gantze Festung sich zugleich übergeben müsse: und in dieser Meynung suchen sie sich durch verschiedene Exempel von sehr wichtigen Festungen zu bestärken, welche in einer weit kürzeren Zeit, als man hätte vermuthen können, zur Uebergabe genöthiget worden sind. Wenn diese Meynung richtig wäre, so würde der größte Theil der Unkosten, so auf den Festungs-Bau gehen, sehr übel angewandt sein: indem ein einzelner Wall, nebst einer Contrescarpe, nicht weniger Vortheil schaffen würde, als die stärkste Festung. Wann man aber diese Sache recht gründlich untersucht, so

*) Diese Maxime wird in eben dieser Absicht behauptet in des PAGANS¹⁾ *Fortification*, Cap. IV.

1) BL. FR. DE PAGAN (1604-1665), *La Fortification*, Paris 1645.

F. R. S.

LEONHARD: EULERI Opera omnia II:14 Ballistik



wird man befinden, daß wenn eine Festung wohl gebaut, und rechtschaffen vertheidiget wird, der Verlust der Contrescarpe noch sehr wenig zur Uebergabe des Platzes beytrage.*) Es hat zwar öfters die Kühnheit und Eilfertigkeit des Directeurs über die Approchen einen verzagten und unerfahrenen Commandanten in Furcht gesetzt: wenn aber dergleichen übereilte Attaquen gegen einen Platz, darinnen sich ein tapferer und erfahrener Officier befunden, unternommen worden, so hat derselbe zuweilen daraus so viel Vortheil zu ziehen gewußt, daß solche unzeitige Angriffe zum größten Schaden der Belagerer ausgeschlagen. Auf diese Weise sind öfters die leichtesten Unternehmungen unmöglich gemacht worden; und die Absicht etliche Tage zu gewinnen, hat manchmal die gantze Entreprise zu nichte gemacht.**)

Ausser diesen Erfindungen, um die Flanken zu bedecken, davon hier schon Meldung geschehen, sind noch andere von einer ganz andern Natur in Vorschlag gebracht worden; welche aber wegen ihrer sonderbaren Beschaffenheit nicht sonderlich in Betrachtung gekommen. Dergleichen ist die Errichtung einer Linie, welche durch den Graben von der Spitze des Bollwerks biß zum gegenüber stehenden Winkel der Contrescarpe gezogen werden soll. Dieser Vorschlag findet sich in den Memoires des Generals MONTECUCCOLI¹⁾, als ein solches Mittel, welches weit wenigern Schwierigkeiten unterworfen

*) In der letzten merkwürdigen Belagerung von Barcelona²⁾ zog der Verlust der Contrescarpe (welche in einer Zeit von 14 Tagen war eingenommen worden) die Uebergabe der Stadt noch keinesweges nach sich: sondern der größte Widerstand fand sich noch, nachdem der Platz schon durch viele Brechen eröffnet worden.

**) Verschiedene Exempel von dergleichen Schwierigkeiten und Gefährlichkeiten, denen die Allirten im letzten Kriege in Flandern öfters ausgesetzt gewesen, sind beschrieben von LANDSBERG³⁾, welcher damals als Ingenieur in Holländischen Diensten gestanden. Diese Zufälle kamen seiner Meynung nach insgesamt von den Vorurtheilen der Anführer her, welche, unter dem Vorwand die Sache zu beschleunigen, die Fronts von ihren Attaquen zusammen gezogen, und dadurch öfters des Feindes Werke in ihrem Rücken gelassen, welches ihren weitem Fortgang fast unmöglich gemacht.

1) RAIMUND GRAF MONTECUCCOLI (1609—1681), oesterreichischer Feldmarschall. F. R. S.

2) Von Anfang Juli bis 21. September 1714 durch die Franzosen. Siehe v. ALTEN, *Handbuch für Heer und Flotte*, Bd. 1, Berlin-Leipzig 1909, p. 834. F. R. S.

3) J. D. H. LANDSBERG, der Jüngere (1680?—1746), *Les fortifications de tout le monde*, La Haye 1712; *Nouvelle manière de fortifier les places*, La Haye 1712. Näheres findet man in dem mehrmals angeführten Werke von M. JÄHNS, 2. Abt., p. 1712. F. R. S.

seyn soll, als dem ersten Anblick nach scheinen möchte.*) Allein, ungeachtet eine solcher gestalt aufgeführte Linie die Flanke vor dem Gesicht der gegenüber auf der Contrescarpe errichteten Batterien ohne Zweifel bedeckt, und dieselbe auch an sich selbst sehr wohl vertheidiget werden kann; so habe ich doch nimmer gehört, daß man sich derselben wirklich bedienet hatte.

Ein anderes Mittel, die Flanke zu versichern, besteht darinne, daß man den einwärts laufenden Winkel der Contrescarpe, oder des Ravelins, zwischen die Flanke und die Contre-Batterien setzt. Diese Manier ist bei ERKARD von Barleduc beschrieben**), und soll eine Erfindung des GRAFEN VON LYNAR¹⁾ seyn. Und obgleich einige Autoren, welche die hieraus erwachsenden Vortheile nicht einsehen, keinesweges gutheissen wollen, daß ein Theil des Grabens von der Flanke verborgen seyn soll, welcher Umstand sich bei diesem Vorschlag notwendig ereignet, so haben doch die größten Männer, welche sich jemahls auf diese Kunst gelegt, diese Manier angenommen, und ihrer Nachfolge gewürdigt. Die berühmte Festung Bergen-op-Zoom hat auch wirklich ihre Flanken zum Theil auf diese Art bedeckt.

In einem guten Grunde aber kann man zu einer so kräftigen Defension gelangen, welche die bisher gemeldeten weit übertrifft: und dieses geschieht durch Hülfe der Contremines. Denn gesetzt, daß die Fortification eines Platzes nicht mehr Stärke hat, als erfordert wird, den Feind zu nöthigen, seine Batterien biß an das Glacis zu bringen, wann er entweder Breche schiessen, oder die Flanke ruiniren will, (wozu ein gutes Profil, sammt einem Ravelin vor der Courtine, hinreichend seyn kan), wann nur der Grund biß auf eine ziemliche Tiefe vom Wasser frey ist: so sind die Belagerten immer im Stande, durch ihre Minen die Batterien des Feindes zu ruiniren, welches nach der

*) Man sehe nach *Memoire del General PRINCE DI MONTECUCCOLI* pag. 116.²⁾

) *La fortification démontrée) LIVR. III. Chap. 2. Außer dieser hier gemeldeten Invention findet sich bey diesem Autore der Vorschlag, eine Gallerie unter dem bedeckten Wege mit Öffnungen in den Graben anzubringen, welcher bei Tournay ins Werk gerichtet worden; vollständiger aber zu Bergen-op-Zoom. LIVR. IV. Chap. 7.

1) R. GUERINI GRAF ZU LYNAR (1525—1596). F. R. S.

2) *Memoire della Guerra*, herausgegeben von HEINRICH VON HUYSEN unter dem Titel: *Memoire del General PRINCE DI MONTECUCCOLI, che rinfermano . . .*, Colonia 1704. M. JÄHNS I. c. p. 1166. F. R. S.

3) JEAN ERKARD de Bar-le-Duc (1554—1610), *La fortification reduite en art et démontrée*, Paris 1600. F. R. S.



Tiefe des Grundes zu mehrmalen wiederholt werden kan. Denn da diese Batterien, wie man supponirt, auf einer Stelle angelegt werden, so können sich die Belagerten darauf allzeit zum voraus gefaßt machen, und erhalten dadurch einen unendlich grossen Vortheil über den Feind, wann sich derselbe unterstehen sollte, dieselben auszugraben: welches doch bey solchen Umständen seine einige Zuflucht seyn würde.

Die erste vortheilhafte Anwendung der Minen in Belagerungen geschehe in dem Königreich Neapolis, allwo PETRUS DE NAVARRA¹⁾ sich durch dieses Mittel einer Festung bemeisterte, welche Frantzösische Besatzung hatte. Von den Minen aber, wodurch die Belagerten dem Feinde Schaden zugefügt, finden sich die ersten berühmten Exempel bey der Belagerung von Candia A. 1666, 67 und 68.²⁾ Nicht, als wann dieselben nicht schon oft bey Vertheidigung der Plätze vorher wären gebraucht worden, obgleich auf keine so merkwürdige Art; sondern weil sich die Stadt Candia hauptsächlich durch Hilfe dieser Erfindung gegen die türkische Macht drey Jahr lang gehalten. Nach dieser Zeit hat man angefangen, die Vortheile der Contreminen besser einzusehen. Das letzte merkwürdige Exempel von ihrem grossen Nutzen findet sich in der Vertheidigung der Stadt Turin A. 1706. Denn dadurch wurden die Unternehmungen der Feinde dergestalt gehemmet, daß sie beynahe 4 Monathe nach Eröffnung der Tranchéen nicht mehr als die Contrescarpe in Besitz bekommen: und eben damahls wurden ihnen 11 Canonen von den Belagerten in die Luft gesprengt, nur 3 oder 4 Tag vorher, ehe der Platz entsetzt worden.

Ehe ich diese Materie schliesse, kan ich nicht umhin, von den grossen Verbesserungen der Minen Erwähnung zu thun, welche sich in der unvergleichlichen Abhandlung, so in dem dritten Buch des Frantzösischen POLYBIU³⁾

1) Gemeint ist PEDRO NAVARRO (1446—1528), der im Jahre 1503 das Castello dell' Uomo bei Neapel sprengte. Vergl. S. J. v. ROMOCKI, *Geschichte der Explosiv-Stoffe*, Bd. I, Berlin 1895, p. 251—253. F. R. S.

2) Über den Minenkrieg vor Candia gibt Auskunft der Artikel Kandia von Oberstleutnant FROBENIUS in v. ALTEN, *Handbuch für Heer und Flotte*, Bd. 5, Berlin-Leipzig 1913, p. 265. F. R. S.

3) Als Frantzösischer POLYBIUS wird nach M. JÄHNS l. c. p. 1458 bezeichnet: *L'art de la guerre par M. le MARQUIS DE QUINCY, auquel est joint un traité des mines et des places de guerre par VALLIERE*, Paris 1726. F. R. S.

beygefüget worden, befinden.⁴⁾ Denn es kan nichts vollständiger seyn, als die Manier, wonach die verschiedenen Arten der Minen eingetheilt worden. In der That kan zwar die Form der Aushöhlung, welche daselbst angezeigt wird, nicht so genau beobachtet werden, wie der Autor scheint zu erfordern; inzwischen hat dieser Einwurf mit der allgemeinen Anordnung der Kammern nichts zu thun, als welche ungemein wohl ausgesonnen ist, theils zuerspahrung des Grundes, theils auch zu Beschädigung des Feindes.

Ich habe schon einige Nachricht ertheilt von den Mängeln, so sich meistens in den Schriften derjenigen neuen Ingenieurs, welche neue Befestigungs-Arten herfür bringen wollen, befinden. Indem ich aber von diesen Autoribus und ihren Nachfolgern spreche, so muß ich zugleich die ausnehmenden Verdienste des grossen COEHOORNS¹⁾ erheben, welcher ausser Zweifel der tüchtigste Ingenieur gewesen, den die Welt jemahls gesehen. Dieser Autor hat zwey Bücher über diese Materie heraus gegeben.²⁾ Das erste enthält eine Methode, ein Fünfeck zu befestigen, welchem ein Vorschlag beygefüget ist, die Fortifikation von Coevoerden³⁾ zu verbessern. In dem andern Buche hat er drey verschiedene Manieren zu fortificiren angegeben, deren eine auf ein 6-Eck, die andere auf ein 7-Eck, und die dritte auf ein Achteck eingerichtet ist. Ausser diesem hat er noch beschrieben, wie man diejenige Seite einer Festung, welche an einem Fluß gelegen, fortificiren soll. In diesem Werke hat er alle mögliche Arten von Attaquen untersucht, welche gegen die von ihm vorgeschlagenen Festungen unternommen werden können, um dadurch den grossen Vorzug seiner Defension darzuthun. Dahero dieses Werk theils als eine Abhandlung von Attaquen und Defensionen, theils auch als ein Systema von der Fortification, angesehen werden kan; durchgehends aber ist

⁴⁾ In der Vorrede wird gesagt, daß diese Abhandlung von Ms. DE VALIERE Marechal des Camps und Capitaine General des Mines⁴⁾ komme.

1) M. VAN COEHOORN (1641—1704), Zeitgenosse und Gegner VAUBANS, Generalinspektor der niederländischen Festungen. F. R. S.

2) Nach M. JÄHNS, l. c., p. 1383 u. 1385 ist das erste dieser Bücher *Versterckinge de Vijfhoek met alle sijne Buijtenwercken, gestelt tegens di van de Ing. en Capt. L. PAAN*. Leeuwarden 1682, und das andere *Nieuwe Vestingbouw op en natte of lage horisont* . . . Leeuwarden 1685. F. R. S.

3) Die niederländische Festung Coevorden (Koevorden) war 1592 von MORITZ v. ORANIE und 1672 von Bischof BERNHARD v. GALEN eingenommen worden. F. R. S.

4) J. F. DE VALLIERE (1667—1759). F. R. S.



dieses das fütrefflichste Werk, so jemahls über diese Materie zum Vorschein gekommen. Dasselbe war erstlich in niedertentscher, als des Autoris Mutter-Sprache, beschrieben; es ist aber hernach ins Frantzösische und Englische übersetzt worden, aber sehr unvollkommen; obgleich in einer neuen Ausgabe der Frantzösischen Uebersetzung¹⁾, so neulich in Holland herausgekommen, viel Fehler verbessert, und einige sonderbare Stellen durch den Herausgeber, welcher den Sinn des Verfassers sehr wohl begriffen zu haben scheint, erläutert worden.

Inzwischen bin ich von solchen Leuten, welche diesen grossen Mann sehr wohl gekannt haben, versichert worden, daß ihm diese seine Bücher damahls bey weitem nicht den Vortheil und die Ehre erworben, welche er sich daraus mit allem Recht hätte versprechen können: sondern daß er von den damahligen Ingenieurs, welche von der alten Gewohnheit keinen Fuß breit weichen wollten, vielmehr als ein unerfahrer und einbildischer Mann ausgeschrien worden. Endlich aber habe er doch alle diese Anfälle des Neides und der Vorurtheile durch seine Vertheidigung des Forts Guillaume²⁾ bey Namur überwunden, als dieser Ort von den Frantzosen belagert worden. Nach dieser That, wodurch sein Ruhm befestiget worden, stieg er nach und nach zu den höchsten Kriegs-Bedienungen, und verewigte seinen Namen durch die Anführung der Belagerung Namurs unter dem König WILHELM, und nachgehends bey Bonn³⁾, Limburg, der Citadelle von Lüttich, und andern Orten. Sein Tod, welcher bey dem Anfange des letzten Krieges in Flandern erfolgte, war den Allirten sehr fatal, wovon fast eine jegliche von ihnen nach A. 1707 unternommene Belagerung traurige Proben an den Tag legte.

Ausser den Belagerungen, welche er führte, wurde er auch zu Verbesserung und Anlegung verschiedener Holländischen Gränzfestungen gebraucht. Sein letztes Werk, welches er aber nicht zu Ende gebracht, war Bergen op Zoom, welches seinem Namen zur immerwährenden Ehre gereicht, ob ihn gleich noch jetzo die Tadelsucht nicht unangefochten lässt. Denn ich habe

1) In der zweiten Auflage der ersten frantzösischen Übersetzung (La Haye 1706) betitelt: *Nouvelle fortification tant pour un terrain bas et humide, que sec et élevé, par COEHORN, La Haye 1741.* F. R. S.

2) Im englischen Original und in der deutschen Übersetzung William statt Guillaume.

F. R. S.

3) Im englischen Original und in der deutschen Übersetzung Bon statt Bonn. Die Einnahme Bonns durch COEHORN erfolgte 1703. F. R. S.

Krieges-Leute gehört, welche an eben dieser Festung solche Werke, welche doch zur stärksten Verteidigung dienen, als Haupt-Fehler ansehen wollen.

In Betrachtung des grossen Ruhms, welchen der General COEHORN durch seine wichtigen Dienste erworben, ist fast nicht zu begreifen, daß seine Schriften so wenig hervor gezogen worden. Die natürlichste Ursache dieser Nachlässigkeit scheint wohl die Verachtung zu seyn, welche man insgemein gegen die Erfindungen einer benachbarten Nation heget, welche, so herrlich dieselben auch seyn mögen, dennoch von einer andern Nation, deren Interesse entgegen ist, nimmer nach Würden hoch geschätzt werden. Dem sey aber wie ihm wolle, so glaube ich doch, daß der Ruhm dieses Autoris noch inskünftige weit höher steigen werde. Denn ich sahe vor einiger Zeit, daß in einer der beträchtlichsten Gränzfestungen von Frankreich ein Werk aufgerichtet wurde, welches augenscheinlich aus den gedachten Rissen des COEHORNS genommen worden.

Uebrigens kan ich unter den neuen Autoribus von der Fortification, ohne ihrem Ruhm den geringsten Abbruch zu thun, keinen einzigen finden, welcher mit dem jetzt gemeldeten COEHORN in gleichen Rang gesetzt zu werden verdiente. Es finden sich zwar noch zwey berühmte Autores, welche von der Art, die Plätze zu attaquiren und zu defendiren, geschrieben haben, welche Materie mit der Fortification auf das genaueste verknüpft ist, und die billig den grössten Beyfall verdienen: ich meyne den General GOULON¹⁾ und den Marechall DE VAUBAN²⁾. Von dem erstern haben wir einen Tractat unter dem Titel: *Memoires sur l'Attaque et la Defense des Places*³⁾, worinne er die fürnehmsten Maximen bey diesen Operationen sehr deutlich ausföhret. Von dem andern hat man ein Werk, welches er dem vorigen König in Frankreich geschrieben praesentiret, wovon nachgehends verschiedene Copien herum gekommen, biß dasselbe endlich erst vor einigen Jahren in Holland gedruckt worden⁴⁾. In diesem Buche hat Mr. VAUBAN diejenigen Theile der

1) P. VON GOULON, 1686 General in österreichischen Diensten. F. R. S.

2) S. LEPRESTRE DE VAUBAN (1633—1707). F. R. S.

3) Der genaue Titel ist: *Mémoires pour l'attaque et la deffense d'une place par Mr. GOULON, Ing. et Général des Armées de l'Empereur.* 1706 im Haag frantzösisch und 1709 in Nürnberg deutsch erschienen. F. R. S.

4) Durch den Buchhändler DE HONDT unter dem Titel: *De l'attaque et de la défense des places par M. DE VAUBAN. T. I, La Haye 1737.* Die zweite Abtheilung dieses Bandes bringt die Abhandlung über die Verteidigung, aber nicht die von VAUBAN, sondern von DESTROULIERES. F. R. S.



Attaque, welche insonderheit von seiner eigenen Erfindung sind, sehr umständlich beschrieben: als da sind die Batterie à ricochet, die Parallels, und eine besondere Anlegung der Sape. Ueber dieses hat er auch zugleich sehr weitläufige Anleitung zu allen übrigen nöthigen Stücken gegeben, dergestalt, daß man das ganze Werk als ein würdiges Meisterstück der grossen Erfahrung und Geschicklichkeit dieses grossen Mannes mit Recht ansehen kan.

Man dürfte vielleicht erwarten, daß ich mit eben solchen Lobes-Erhebungen von der Tüchtigkeit dieses jetzt gemeldeten Ingenieurs in der Kunst zu fortificiren selbst Meldung thun sollte: allein da derselbe selbst über diesen Articul nichts geschrieben, so kann mich dieses entschuldigen, daß ich ihn unter der Liste der Autoren von dieser Art nicht aufführe. Wenn ich aber hierüber die Wahrheit sagen soll, so kan ich aus allem demjenigen, was ich bißher von seinen Werken gesehen, nicht glauben, daß er vielmehr wegen seiner übrigen Gaben, als wegen der Befestigungs-Werke, welche er aufgeführt, aestimiret zu werden verdiene. Denn ungeachtet ich seinen grossen Verstand und Einsicht sehr hoch schätze, so kann ich doch nicht begreifen, wie man seine Erfindungen in dieser Kunst mit COEHOORN nur in einige Vergleichung bringen könne.

Dieses mag also genug seyn von dem Anfange, und den Veränderungen der neuen Kriegs-Baukunst. Wir wollen dahero zu Erläuterung desjenigen, welches mit dem folgenden Tractat näher verbunden ist, fortschreiten: nemlich zur Erfindung des Pulvers und der Artillerie, und derselben Fortgang, nebst den verschiedenen Theorien, woraus dieselben entsprungen.

Die Erfindung des Schießpulvers wird gemeinlich einem teutschen Mönch, Namens BARTHOLD SCHWARTZ, zugeschrieben, welcher dasselbe, wie man sagt, um das Jahr 1320 erfunden haben soll¹⁾. Der erste Gebrauch aber in dem Kriege wird insgemein den Venetianern 1380 gegen die Genueser zugeeignet. Diese beyden Meynungen aber sind unstreitig falsch. Denn eine dem Pulver ähnliche Vermischung findet sich schon bey dem ROGERIO BACON²⁾,

1) ROMOCKI stimmt in seiner *Geschichte der Explosivstoffe*, Bd. I, Berlin 1895, p. 106—113, der von H. HANSJAKOB in der Schrift *Der schwarze Barthold*, Freiburg i. B. 1891, vertretenen Ansicht bei, wonach der genaunte Franziskaner-Mönch in der Mitte des 13. Jahrhunderts zu Freiburg i. B. gelebt haben soll. F. R. S.

2) Der englische Franziskaner-Mönch ROGER BACON (1214—1294) erwähnt eine solche Mischung in seiner Schrift *Epistola fratris ROGERII BACONIS de secretis operibus artis et naturae et de multitudine mugiae*, Paris 1542, cap. XI. Die betreffende Stelle ist abgedruckt in ROMOCKI, *Geschichte der Explosivstoffe*, Bd. I, p. 93. F. R. S.

als eine schon damals wohl bekannte Sache, beschrieben, welcher beynahe 50 Jahr vor gemeldetem SCHWARTZ gelebet; und man hat auch unwidersprechliche Proben, daß der Gebrauch der Artillerie viel eher, als A. 1380, bekannt gewesen.

Und in der That, da die Entdeckung des Salpeters gänzlich ungewiß ist, so hat man sich auch nicht zu verwundern, daß die Erfindung des Schießpulvers eine so verborgene und ungewisse Sache seyn soll. Denn diese zwey Entdeckungen sind mit einander so genau verbunden, daß man nicht wohl begreifen kan, wie die erstere lange Zeit vor der andern hätte bekannt seyn können.

Die Haupt-Eigenschaft des Salpeters besteht in der entsetzlichen Vermehrung der Anzündungs-Kraft, welche sich in allen verbrennlichen Materien, so damit vermischt werden, äussert: obgleich derselbe allein und ohne Vermischung weder Feuer fangt noch brennt. Denn, wann zum Exempel der blosse Salpeter in einen Tiegel gethan, und in das heftigste Feuer gesetzt wird, so schmelzet er nur, und wird glühend, entzündet sich aber keineswegs. So bald er aber mit einer verbrennlichen Materie, als Schwefel oder Kohlen, versetzt wird, so entsteht im Augenblick eine heftige Entzündung, wodurch ein Theil des Salpeters, je nachdem mehr oder weniger verbrennliche Materie damit vermischt worden, verzehret wird. Eine gleiche Entzündung geschieht, wenn man den Salpeter nur bloß ins Feuer wirft. Nun ist es nicht wahrscheinlich, daß diese Eigenschaft des Salpeters lange hat verborgen bleiben können, nachdem diese Materie selbst entdeckt worden. Denn, wann nur zufälliger Weise etwas davon ins Feuer gefallen, so hat sich sogleich seine erstaunliche Kraft in Vermischung mit verbrennlichen Materien verrathen müssen. Und nachdem dieses einmahl wahrgenommen worden, so war es ganz natürlich und leicht, auf eine Vermischung des Salpeters mit einer verbrennlichen Materie zu fallen, welche alsdann viel heftiger, als immer eine schon bekannte Materie loßbrennen würde. Unser jetziges Schießpulver ist aber nichts anders, als eine solche verbesserte und zu grösserer Vollkommenheit gebrachte Vermischung.

Wenn wir also, dieses vorausgesetzt, die Zeit bestimmen könnten, wann der Salpeter zuerst bekannt worden, so könnte man auch ziemlich sicher muthmassen, wann dergleichen Mixturen, welche unserm Pulver gleichen, zuerst erfunden worden. Hierüber ist aber die allgemeine Meynung, daß der Salpeter entweder von den Arabern, oder von den neuen Griechen um das



9te Seculum entdeckt worden, als welche Völker sich mit dem größten Fleiß auf die Chymie und Alchymie gelegt hatten. Der arabische Nahme des Salpeters soll auch so viel, als eine loßbrennende Kraft, anzeigen; und das griechische Feuer, welches von den letzten Griechischen Kaysern im Kriege gebraucht worden, wenn die demselben von den Autoribus beygelegten Würkungen ihre Richtigkeit haben, muß nothwendig auch aus Salpeter bereitet worden seyn.¹⁾

Einige heutige Autores wollen so gar behaupten, daß der Salpeter schon zu weit altern Zeiten bekannt gewesen, wozu dieselben die heut zu Tage gleiche Bedeutung der Nahmen Nitrum, und Salpeter, verleitet zu haben scheint. Es ist aber anjetzo bei den Chymicis eine ausgemachte Sache, daß die bey einigen Alten unter dem Nahmen Nitro erwehnte und bey dem PLINIO²⁾ beschriebene Materie ein Saltz gewesen, welches von demjenigen, so wir Salpeter nennen, gänzlich verschieden ist.

Daß aber die erste Entdeckung des Schieß-Pulvers, oder eine demselben ähnliche Mixtur, weit vor die Zeiten, da SCHWARTZ und BACON gelebet, hinaus gesetzt werden, und daher, allem Ansehen nach, eben so alt, als die Kenntniß des Salpeters selbst seyn müsse, erhellet aus dem BACONE selbst. Denn dasjenige, was er beschreibet, war zu seiner Zeit keine neu erfundene Composition, sondern nur eine Anwendung einer alten zum Behuf des Kriegswesens. Und aus seinen eigenen Worten ist deutlich zu ersehen³⁾, daß da-

¹⁾ BACON erzehlet⁴⁾, daß ein Knall, gleich dem Donner, und ein Blitz, welcher den natürlichen übertreffe, durch die Kunst hervor gebracht werden, und daß es verschiedene Mittel gäbe, wodurch eine Stadt oder eine Armée zu Grunde gerichtet werden könne. Er sieht auch in den Gedanken, daß GIDEON auf eine solche Art die Midianiter überwunden habe. Nachdem er an einem andern Orte eben diese Dinge mit andern Worten angeführet, so fügt er folgendes hinzu:

Et experimentum huius rei capimus ex hoc ludicio puerili, quod fit in multis mundi partibus, scilicet ut instrumento facto ad quantitatem pollicis humani ex violentia illius salis, qui Salpetae vocatur, tam horribilis sonus nascitur in ruptura tam modicae rei scilicet modici pergameni, quod fortis tonitruum rugitum et corruscationem maximam sui luminis iubar excedit.

Man besche des Doctor JESS Vorrede zu seiner Edition von *BACONIS Opus maius*.⁴⁾

1) Diese Ansicht ist irrig, wie ROMOCKI l. c. p. 5—22 überzeugend nachgewiesen hat. F. R. S.

2) PLINUS der Ältere (23—79), der bekannte römische Naturforscher und Verfasser der *Historia naturalis*. F. R. S.

3) Im letzten Kapitel seines *Opus maius*, betitelt *De dignitate artis experimentalis*. Die einschlägige Stelle ist auch abgedruckt bei ROMOCKI l. c. p. 93. F. R. S.

4) Diese von S. JESS besorgte Ausgabe des *Opus maius* erschien in London 1733. F. R. S.

mahls schon eine Vermischung aus Salpeter und andern Materien bey den zur Lust angestellten Feuerwerken üblich gewesen. Dieses erhellet aber noch deutlicher aus einem Buche des MARCI GRAECI, *Liber Ignium* genannt.^{*)} Denn dieser Autor beschreibet zwey Gattungen von Feuerwerken, eine fliegende, und eine andere, welche einen Knall von sich giebt. Die Halse oder Cartusche zu dem erstern soll nach seiner Anweisung lang und schmal seyn, und die Composition sehr fest zusammen gestossen werden. Die Halse zur andern Gattung muß kurz und dicke, an beyden Enden wohl verbunden und nur halb voll gefüllet werden. Die Composition, welche er zu beyden vorschreibt, bestehet aus zwey Pfund Kohlen, einem Pfund Schwefel, und aus 6 Pfund Salpeter, welche Materien pulverisirt und in einem steinern Mörsel zusammen wohl vermischet werden sollen. Dieses muß nun eine weit stärkere Composition seyn, als heut zu Tage vermittelst einer grossen Menge Pulver gemacht zu werden pfleget. Ungeachtet aber die eigentliche Zeit dieses Autoris nicht gewiß ist, so muß er doch lange vor dem Gebrauch der Artillerie gelebt haben; denn er thut nirgends, wie ich sehe, die geringste Meldung, daß diese Kunststücke in dem Kriege wären gebraucht worden; und da sich derselbe die Erfindung dieser Drachen und Schwärmer, wie man dieselben heut zu Tage nennen würde, nicht zuschreibet, davon auch nicht als von etwas neues spricht, so kan man sicher glauben, daß dieselben schon lange vor ihm üblich gewesen.

Der erste Gebrauch dieser Vermischungen im Kriegswesen scheint bald nach dem Jahr 1300 gemacht worden zu seyn. Der Vorschlag des BACONS, welchen er um das Jahr 1280 gethan, sich dieser heftigen Loßbrennung zu Zerstörung der Städte und Arméen zu bedienen, mag dazu die ersten Gedanken gegeben haben, welche nachgehends besser sind verfolgt worden. SCHWARTZ, an statt der erste Erfinder des Schießpulvers zu seyn, mag vermuthlich dasselbe zuerst bey dem Kriegswesen angewandt haben; und die gemeine Erzählung, auf was Art derselbe zu dieser Erfindung gelangt seyn

^{*)} Dieses ist ein Manuscript, welches der Doctor MEAD besitzt.¹⁾ Was aber hierinne gemeldet ist, wird bestätigt durch den Herausgeber des *BACONIS Opus maius* in der Vorrede.

1) Die Schrift mit dem genauen Titel *Liber ignium ad comburendos hostes, auctore MARCO GRAECO* befindet sich nach ROMOCKI l. c. p. 114 in den Handschriftenbänden 7156 und 7158 der Pariser Nationalbibliothek und wurde 1804 herausgegeben von LA PORTE DU TREIL. MARCUS GRAECUS lebte etwa in der zweiten Hälfte des 13. Jahrhunderts. F. R. S.



soll, scheint diese Meynung nicht wenig zu bestätigen.*) Und vielleicht sind die verschiedenen Verbesserungen, welche nach der Zeit durch andere gemacht worden, ingleichen auch die Ausführung der Gedancken des BACONS an verschiedenen Orten, die wahre Ursache, warum die Geschichtschreiber über dem Ursprung der Artillerie so sehr uneinig sind.

Das Schießpulver wurde einige Zeit nach Erfindung der Artillerie aus einer weit schwächern Composition bereitet, als anjetzo gewöhnlich ist**), und auch als dasjenige war, dessen bey dem MARCO GRAECO Meldung gethan wird. Allein, die Ursache hievon war vermuthlich vielmehr die Schwäche ihrer Stücke, als die Unwissenheit einer bessern und stärckern Mixtur. Denn die ersten Stücke der Artillerie waren von einer sehr kurtzen und ungeschickten Façon, indem dieselben gemeinlich aus vielen der Länge nach zusammen geschmiedeten eisernen Stangen gemacht, und durch eiserne Ringe befestiget wurden. Da dieselben auch über das gebraucht wurden, steinerne Kugeln von ungeheurer Grösse zu schiessen, um dadurch den alten Maschinen, an deren Stelle dieselben gesetzt worden, nachzuahmen, so hatten sie auch eine sehr grosse Mündung. Allein, die Schwierigkeit, diese ungeschickten Maschinen fortzubringen und zu tractiren, ingleichen auch die Entdeckung.

*) Nach der gewöhnlichen Erzählung wird gemeldet, daß als SCHWARTZ einmahl die Materien zum Pulver in einem Mörser gestampfet, und solchen hierauf mit einem Stein zugedecket, ein Funke ungefähr in den Mörser gesprungen, wodurch die Materie angezündet, und der Stein auf eine zimliche Höhe geschmissen worden. Weil wir nun dargethan haben, daß SCHWARTZ, der ein Chymicus war, auf diese Weise die Composition des Pulvers selbst, als welche schon lange vorher bekannt gewesen, nicht allererst kan erfunden haben, so mag ihm dieser Zufall Anlaß gegeben haben, auf die bequemste Art, wie man sich desselben in dem Kriege bedienen könnte, zu denken. Denn BACON scheint vielmehr schon die Wirkung desselben eingesehen zu haben, welche die Kraft der Flamme in die umliegenden Körper auszuüben vermögend ist. Der Name, und die Figur vom Mörser, welcher in der alten Artillerie einer Gattung von Geschütz beygelegt worden, und der Gebrauch derselben, wodurch man Steine in die Höhe zu werfen pflegte, geben dieser Muthmassung einen starken Nachdruck.¹⁾

**) Man sehe in des TARTALEA *Quesiti et Inventioni* Libr. 3., Quesito 5., nach, allwo 23 verschiedene Compositionen, welche zu verschiedenen Zeiten im Schwange gewesen, angeführt werden. Die erste, welche zugleich die älteste ist, wurde aus gleichen Theilen Salpeter, Schwefel und Kohlen, gemacht.

1) Aus den sehr gründlichen und umfassenden Untersuchungen ROMOCKIS geht hervor, daß der p. 24 genannte BARTHOLO SCHWARTZ zuerst auf den Gedanken kam, die Triebkraft des schwarzen Schießpulvers zum Fortschleudern von Geschossen zu verwenden. F. R. S.

daß weit kleinere eiserne Kugeln eine grössere Wirkung thun, wann dieselben durch eine grössere Menge stärkeres Pulver geschossen werden, haben bald eine Veränderung so wohl in der Materie, als Form der ersten Stücke, verursacht. Hierdurch wurde man zu den Metallenen Canonen geleitet, welche, ob sie gleich leichter und bequemer zu tractiren waren, als die vorigen, so waren sie doch wegen ihrer kleinern Mündung viel stärker, und konnten eine grössere Ladung von besserem Pulver aushalten, als vorher im Gebrauch gewesen. Auf diese Art wurden die eisernen Kugeln, welche am Gewicht 40 biß 60 Pfund¹⁾ hielten, in eine weit schnellere Bewegung gesetzt, und erhielten also eine stärkere Kraft, als man vorher durch die grösten Steine hervor zu bringen vermögend gewesen.*)

*) Die Zeit, zu welcher diese Veränderung vorgenommen worden, und die dadurch erhaltenen Vortheile, werden von GUICCIARDINI²⁾ beschrieben, welcher, indem er von der Frantzösischen Armée, so A. 1494 in Italien einen Einfall thun sollte, Meldung thut, sich folgender Gestalt vernehmen läßt:

Et per unirsi con questo esercito erano state condotte per mare a Genova quantità grande d'artiglierie da battere le muraglie, et da usare in campagna, ma di tale sorte, che giamai non haveva veduta Italia le simiglianti. Questa peste trovata molt' anni innanzi in Germania, fu condotta la prima volta in Italia da' Venetiani nella guerra, che circa l'anno della salute 1380 hebbono i Genovesi con loro. — Il nome delle maggiori era bombarde, le quali, sparse dopo questa invention per tutta Italia s'adoperavano nell' oppugnatione delle terre, alcune di ferro, alcune di bronzo, ma grossissime, in modo che per la macchina grande et per l'imperitia de gli huomini, et mala attitudine de gl' instrumenti tardissimamente et con grandissima difficoltà si conducevano, piantavansi alle terre co' medesimi impedimenti, et piantate era dall' un colpo all' altro tanto intervallo, che con piccolissimo frutto a comparatione di quello, che seguitò dopo, molto tempo consumavano, donde i defensori de' luoghi oppugnati havevano spatio di potere otiosamente fare di dentro ripari et fortificationi. — Ma i Francesi fabbricando pezzi molti più espediti, nè d'altro che di bronzo, i quali chiamavano Cannoni, et usando palle di ferro, dove prima di pietra, et senza comparatione piu grosse et di peso gravissimo, s'usavano, li conducevano in sulle carrette, tirate (non da buoi, come in Italia si costumava) ma da cavalli con agilità tale d'huomini, et d'instrumenti deputati a questo servizio, che quasi sempre al pari de gli eserciti caminavano, et condotte alle muraglie erano piantate con prestezza incredibile, et interponendosi dall'un colpo all' altro piccolissimo intervallo di tempo, si spesso et con impeto si tagliardo percuotevano, che quello che

1) Über die in diesem Bande vorkommenden Maßeinheiten gibt das Vorwort des Herausgebers Auskunft. F. R. S.

2) Das Zitat bezieht sich auf die 1561—1564 in Florenz erschienene *Storia d'Italia* des italienischen Staatsmanns, Heerführers und Historikers FRANCESCO GUICCIARDINI (1483—1540).

F. R. S.



Durch dieses Mittel kam also das Pulver, welches noch heut zu Tage in ganz Europa üblich ist, in Gebrauch. Diese Verbesserung des Pulvers bestand aber nicht nur in der Proportion der Materialien, aus deren Vermischung dasselbe gemacht wird*), sondern die Erfindung, dasselbe zu körnen, brachte auch einen ganz besondern Vortheil. Denn anfänglich wurde das Pulver immer fein wie Meel bereitet, in welche Gestalt dasselbe durch die Zerstoßung der Materialien gebracht worden. Und es ist noch zweifelhaft, ob man zuerst bey Körnung des Pulvers die Absicht gehabt, seine Stärke dadurch zu vermehren, oder dasselbe bloß allein zu den kleinen Schieß-Gewehren bequemer zu machen, als wozu das gekörnte Pulver viele Jahr lang allein gebraucht worden, da man sich immittelst zu den Canonen beständig des Meel-Pulvers bedienet hat. Als man aber bemerket, daß die Stärke des Pulvers durch die Körnung nicht wenig vermehret wurde, indem dadurch das Feuer einen freyern Durchgang zwischen den Körnern erlangte, so wurde das Meel-Pulver völlig bey seite gesetzt.**)

prima in Italia fare in molti giorni si soleva, da loro in pochissime hore si faceva. GUICCIARDINI *Histor. Libr. I. p. 45.*

Was dieser Autor von der erstaunlichen Grösse der Steine, welche bey den Stücken von der alten Art gebraucht worden, meldet, wird sich besser verstehen lassen, wann man bedencket, daß als MAHOMET der Zweite A. 1453 die Stadt Constantinopel belagert, er die Wälle mit steinern Kugeln, welche biß auf 1200 Pfund schwer waren, beschossen. Diese Stücke konnten aber des Tages nicht mehr, als 4 mahl loßgeschossen werden.

*) Wir sehen aus dem TARTALEA, daß das Canonen Pulver (polvere grossa moderna) zu seiner Zeit aus 4 Theilen Salpeter, einem Theil Schwefel, und einem Theil Kohlen; das Musqueten-Pulver aber aus 18 Theilen Salpeter, 7 Theilen Schwefel, und 8 Theilen Kohlen; oder auch aus 18 Theilen Salpeter, 2 Theilen Schwefel, und 3 Theil Kohlen zubereitet worden. Diese Compositionen des Musqueten-Pulvers kommen mit den jetzt gebräuchlichen ziemlich genau überein; dann die erstere hält in hundert Pfund Pulver nur etwa 1 Pfund, die andern aber 3 Pfund Salpeter mehr, als jetzt gewöhnlich ist.

**) Daß das Pulver erstlich in Meels Gestalt gebraucht worden, und daß erst lange hernach die Körnung zum Gebrauch der kleinen Schieß-Gewehre aufgekommen, zu denen Canonen aber das Meel-Pulver beibehalten worden, ist unstreitig gewiß. TARTALEA versichert ausdrücklich in seinen *Questi* Libr. 3. Ques. 9. und 10., daß damals das Canonen-Pulver in Meels Gestalt, das Musqueten-Pulver aber gekörnet gewesen. Und unser Lands-Mann WILLIAM BOURNE¹⁾ in seiner *Art of Shooting in great Ordnance*, welches Buch 40 Jahr nach TARTALEA herausgekommen²⁾, erzehlet im ersten Capitel, daß das Schlangen-Pulver, (welches er dem gekörnten Pulver entgegen setzt,) so fein als

1) Der Geschlechtsname BOURNE fehlt in der deutschen Übersetzung. F. R. S.

2) Nämlich 1587 in London. BOURNE war 1583 gestorben. F. R. S.

Die Form der Artillerie hat seit zweyhundert Jahren sehr geringe Verbesserungen erhalten: indem die besten Stücke, welche anjetzo gemacht werden, in Ansehung der Proportionen nicht viel von denjenigen unterschieden sind, welche zur Zeit des Kayzers CARLS V. verfertigt worden. Es sind zwar in der That öfters leichtere und kürzere Stücke in Vorschlag gebracht, und probiret worden; allein, ungeachtet dieselben ihre Vortheile hatten, und in besondern Umständen sehr gute Dienste thaten, so scheint es doch, daß dieselben zum allgemeinen Gebrauch als unzulänglich verworfen worden. Ob aber gleich die Proportionen bey der Artillerie in dieser Zeit nicht merklich verändert worden, so hat man doch in dem Gebrauch derselben ziemliche Veränderungen vorgenommen; indem man nun insgemein eben dieselben Absichten durch kleinere Stücke zu erhalten trachtet, als man dazu vor diesem erfordert zu werden geglaubt hatte. Also sind die Batterie-Stücke, welche anjetzo durchgehends approbirt werden, halbe Carthaunen, so eine Kugel von 24 Pfund schiessen; weil man durch die Erfahrung befunden, daß der Schuß davon, ob er gleich schwächer ist, als von grösseren Stücken, dennoch in Ansehung der nunmehr gebräuchlichen Profilen in den Befestigungs-Werken, stark genug ist, und daß man durch die Bequemlichkeit dieselben fortzubringen und zu tractiren, ingleichen durch die Ersparung an Ammunition, sehr wichtige Vortheile über die gantzen Carthaunen erhält, deren man sich vormahls Breche zu schiessen bedienet hat. Die jetzige Manier, Breche zu schiessen, welche allenthalben angenommen worden, da man erstlich den gantzen Wall so niedrig als möglich, durchschneidet, ehe man den obern Theil abzuwerfen sucht, scheint auch eine sehr wichtige Verbesserung in der Ausübung der Artillerie zu seyn. Denn ich kann mich nicht erinnern, diese Manier bey irgend einem alten Autore angetroffen zu haben, und

Sand und Staub seyn muste: und im dritten Capital sagt er, daß 2 Pfund gekörnt Pulver so weit treiben als 3 Pfund Schlangen-Pulver. Ferner berichtet der Herr HENRICH MANWAYING in seinem *Seamans Dictionary*), welches er dem Herzog von BUCKINGHAM zur Zeit CARLS des Ersten praesentirt, unter dem Wort Pulver: daß zwey Arten von Pulver im Gebrauch waren, das eine genannt Schlangen-Pulver, welches nicht gekörnet war, sondern wie Staub aussah; das andere aber gekörntes Pulver: ob er gleich hinzusetzt, daß das Schlangen-Pulver auf der See nicht gebraucht worden. Ich glaube aber, daß zu der Zeit, als dieses Buch geschrieben worden, das Pulver schon durchgängig gekörnet worden; dann die ausländischen Scribenten von der Artillerie hatten schon lange vorher den Gebrauch des gekörnten Pulvers recommendirt.

1) In London erschienen 1644. F. R. S.



GABRIEL BUSCA*), welcher sich auf seine grosse Erfahrung sehr viel einbildet, will das Gegentheil ausdrücklich haben. COLLADO thut zwar davon, als von einer bey den Türcken**) üblichen Practique Meldung, ohne dieselbe jedoch gut zu heissen, oder noch als ein Exempel zur Nachahmung vorzuschlagen.

Die wichtigste Verbesserung aber in der practischen Ausübung der Artillerie (denn von der theoretischen soll an seinem Ort gehandelt werden), besteht in der Manier, mit einer geringern Quantität Pulver zu schiessen, und das Stück dergestalt zu richten, daß die Kugel just auf das Parapet der Feinde und in ihre Werke hinein fährt. Denn da solchergestalt die Kugel unter einem kleinen Winkel zu Boden fällt, und mit einem geringen Grad der Geschwindigkeit nach der derselben eingedruckten Direction fort rollt, und daher, wenn das Stück in einer Linie mit der Batterie, welche unbrauchbar gemacht werden, oder mit der Fronte, welche bestrichen werden soll, gerichtet ist, so durchstreicht ein jeglicher Schuß der Länge nach die ganze Batterie, oder die ganze Fronte, und verursacht dadurch unendlich viel mehr Ungemach bey den Vertheidigern, und thut auch ihren Canonen viel mehr Schaden, als wenn dieselbe auf die gemeine Art gegen diese Werke geschossen würde. Diese Anordnung der Artillerie, welche in der That über die massen vortheilhaft ist, ist eine Erfindung des Marschalls VON VAUBAN,

*) Man sehe seine *Istruzione de Bombardieri*, gedruckt zu Carmagnola¹⁾ A. 1584, im 37sten Capitel nach, allwo er anrathet, die Breche an dem obern Theil des Walles anzufangen, und solche hernach abwärts fortzusetzen.

**) Man sehe nach: *Pratica manuale di Artigheria dal Mag. Signor LUISI COLLADO* Hispano, Bettico, Nebrisense, gedruckt zu Venedig A. 1586, im 20ten Capitel, wie er sagt:

Nelle fattioni del gran Turco — sempre si adoperano i pezzi — da tagliare le muraglie per di sotto di esse transversalmente, et di poi di alto in basso a perpendicolo, et applicandovi poi tutti a un tratto i basilischi, con che fanno cascar giù quella parte di muraglia che era già tagliata.

Das hier angeführte Buch ist in Italienischer Sprache geschrieben und gedruckt, obgleich der Verfasser ein Spanier gewesen: denn er diente als Ingenieur bey der Spanischen Armée in Italien, und er sagt in der Vorrede, daß er hernach geiznet gewesen, dasselbe wiederum spanisch heraus zu geben.²⁾ Welches, wie ich vermuthet, die letzte Edition ist, so vom BLONDEL³⁾ in seiner *Art de jeter les Bombes* angeführt wird.

1) Zum ersten Mal gedruckt in Venedig 1545. F. R. S.

2) Diese (vollständigere) spanische Ausgabe ist nach M. JÄHNIS l. c. p. 658 unter dem Titel: *Plática manual de Artilleria* 1592 in Mailand erschienen. F. R. S.

3) FR. BLONDEL (1617—1686), Direktor der Bauakademie in Paris. Seine *Art de jeter les bombes* erschien in Paris 1683. F. R. S.

und wird von ihm die Batterie à ricochet genennet*). Solche ist zuerst bey der Belagerung von Ath im Jahr 1692 angebracht worden**).

Nach dieser kurtzen Erzählung desjenigen, was in dem practischen Theil der Artillerie gethan worden, müssen wir anjetzo von den verschiedenen Theorien, welche von Zeit zu Zeit über die Bewegung der Kugeln zum Vorschein gekommen, einige Nachricht ertheilen, in welcher Untersuchung wir in der That sehr wenig Dinge, so einige Aufmerksamkeit verdienen, antreffen werden. Dem ungeachtet aber, da diese Materie mit der folgenden Abhandlung einiger massen verknüpft ist, so ist doch nöthig, hierüber dem Leser ein Genügen zu leisten.

Der erste Autor, welcher mit Fleiß von dem Flug der Canonen-Kugeln geschrieben, ist, so viel ich weiß, TARTALEA, ein berühmter Italianischer Mathematicus, welcher sich durch Auflösung der Cubischen Aequationen, so gemeiniglich dem CARDANO¹⁾ zugeschrieben wird, einen unsterblichen Ruhm erworben. Dieser Autor hat erstlich in seiner *Scientia nova*, gedruckt in Venedig A. 1537, und hernach auch in seinen *Quesiti et Inventioni diverse*, eben daselbst A. 1546 gedruckt, mit vielem Fleiß einige Betrachtungen über die Beschaffenheit dieser Bewegungen ausgeführt. Und ob ihm gleich der damalige unvollkommene Zustand der Mechanic sehr betrügliche Gründe um darauf zu bauen an die Hand gab, so war er doch nicht gänzlich in seinen Untersuchungen unglücklich; denn er kann mit Recht für den ersten gehalten werden, welcher gefunden, daß der weiteste Schuß unter einem Winkel von 45 Graden mit dem Horizont hervor gebracht wird. Er hat auch dargethan (gegen die gemeine Meynung der Schützen), daß nicht der geringste Theil des Weges, welchen eine geschossene Kugel in der Luft beschreibt, eine grade Linie sey, ungeachtet die Krümmung in einigen Fällen nicht merklich

*) Man besehe seinen Tractat *De l'Attaque et la Défense des places*.²⁾

**) Man besehe das Journal von seinen Belagerungen, welches zu Ende bey der letzten Ausgabe³⁾ der *Mémoires* des General GOUXON beygedruckt worden.

1) HIERONIMO CARDANO (1501—1576). Die erste Auflösung der kubischen Gleichungen verdankt man dem italienischen Mathematiker SCIPIONE DAL FERRO (1460?—1526), 1496—1526 Professor an der Universität Bologna. F. R. S.

2) Siehe die Anmerkung 4 p. 23. F. R. S.

3) Damit ist wohl die Ausgabe von 1730 gemeint, die im Haag und in Paris erschienen ist. Siehe auch die Anmerkung 3 p. 23. F. R. S.



ist; denn er hat dieselbe mit der Oberfläche des Meers in Vergleichung gezogen, welche, ob sie gleich in einem geringen Theil betrachtet, vollkommen flach scheint, dennoch ausser allem Zweifel gegen das Mittel-Punct der Erde gekrümmt ist. Er eignet sich auch selbst die Erfindung des Artillerie-Quadranten zu, und hat öfters auf Schrauben gesetzte Muthmassungen über den Ausgang einiger noch nicht probirten Methoden, so ihm vorgelegt worden, gegeben. Weil er aber in der Ausübung der Artillerie nicht wohl bewandert war, sondern seine Meynungen auf die blosse Theorie gründete, so ist er fast von allen folgenden Scribenten immer angegriffen worden, jedoch öfters ohne von ihnen genannt zu werden, wovon viele Exempel in den Werken des BUSCA, COLLADO*), UFANO¹⁾, SIMIENOWICZ²⁾ und andern angeführt werden könnten. Und als die Philosophie dieser Zeiten sich öfters in die hierüber entstandenen Fragen gemischt, so entstanden über diese Bewegung viele Streitigkeiten, absonderlich in Italien, welche bis auf die Zeiten des GALILEI fort dauerten, und allem Ansehen nach Anlaß zu seinen bekannten Gesprächen über die Bewegung³⁾ gegeben haben, welche das erste mahl im Jahr 1638 an das Licht traten. Innerhalb dieser Zeit, und ehe die Lehre des GALILEI festgesetzt worden, kamen verschiedene Theorien über die Bewegung der Stück-Kugeln, und manche Tabellen über die Weite der Schüsse, in Ansehung

*) COLLADO eugnet im 63. Capitel, daß TARTALEA der erste Erfinder des Artillerie Quadranten sey, und will, daß DANIEL SANTBECH oder REGIONOMANTANUS, (dann er confundiret dieselben) solchen schon viele Jahre vorher gehabt haben. Allein die Wahrheit zu bekennen, so ist des SANTBECHS Buch, woraus diese Muthmassung genommen (*Problematum Astronomicorum et Geometricorum sectiones septem*) erst A. 1561 herausgekommen, welches folglich lange nach TARTALEA geschehen ist. Zu diesem war auch dem SANTBECH die Methode, den Quadranten zu seinem vorgesetzten Zwecke einzurichten, ungeachtet er von den verschiedenen Elevationen der Stücke spricht, unbekannt.⁴⁾

1) *Tratado dela Artilleria y uso della placada por el capitan DIEGO UFANO en las Guerras de flandes*, Brusélas 1613. 3. Traktat p. 600. F. R. S.

2) *Artis magnae Artilleriae pars I.* . Autore CASIMIRO SIMIENOWICZ, Amstelodami 1650. F. R. S.

3) G. GALILEI (1564—1642), *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica ed ai movimenti locali*, Leida 1638; *Le opere di GALILEO GALILEI*, Edizione nazionale vol. VIII, Firenze 1898. F. R. S.

4) Der Quadrant wird schon im 15. Jahrh. im Feuerwerksbuch des ABRAHAM VON MEMMINGEN erwähnt. Einen Geschützquadranten, der ein einigermaßen genaues Visieren ermöglichte, erfand nach M. JÄHNS I. c. p. 410 GEORG VON PEURBACH (1423—1461), Professor an der Universität zu Wien, der Lehrer REGIONOMANTANUS (1436—1476), im Jahre 1450. F. R. S.

der verschiedenen Elevationen, zum Vorschein, welche aber über die massen unrichtig waren, und mit der wahren Bewegung dieser Körper keineswegs bestehen konnten; ungeachtet einige von diesen Arbeiten von solchen Leuten herkamen, welche den grösten Theil ihres Lebens in Ausübung der Artillerie zugebracht hatten. Dergleichen sind die Tabellen des UFANO, GALEUS, ULRICH und anderer, welche vom BLONDEL*) angeführt werden¹⁾; welchen noch verschiedene andere, deren bey diesem Autore keine Meldung geschieht, beygefügt werden könnten. Es finden sich in der That unter den alten Scribenten, welche über diese Materie geschrieben, und deren Anzahl sehr groß ist, gar wenige, welche sich nicht mit ihren Speculationen über den Unterschied zwischen der natürlichen, gewaltsamen und vermischten Bewegung, eingelassen, obgleich von denselben kaum zwey in Bestimmung dieser irrigen Begriffe überein kommen.²⁾

Was uns aber am meisten befremdet, ist, daß bey diesen Streitigkeiten sich so wenig Leute, welche doch dazu Gelegenheit gehabt, haben angelegen seyn lassen, diese verschiedenen Theorien durch die Erfahrung zu untersuchen. Wie nun dieses auch mag zugegangen seyn, so kann ich mich nicht

*) Es ist zu merken, daß die Meynung, welche BLONDEL in seiner *Art de jetter les Bombes* Cap. V. untersucht, ursprünglich nicht von RIVALTIUS, welchem er solche beymißt, herrühre, sondern von dem obgemeldeten SANTBECH, von welchem dieselbe der RIVALTIUS gestohlen. Man sehe SANTBECH Sect. 6.

1) BONDEL führt keinen ULRICH an, wohl aber einen DANIEL ELRICH, Stückhauptmann zu Frankfurt a. M., der das p. 34 zitierte Buch des SIMIENOWICZ 1676 in deutscher Übersetzung herausgab. F. R. S.

2) Nach UFANO ergeben bei konstanter Ladung zwei Abgangswinkel, deren arithmetisches Mittel 45° beträgt, dieselbe und 45° selbst die größte Schußweite. Die Flugbahn setzt sich aus drei Theilen zusammen; der erste Teil (motus violentus) ist geradlinig, der zweite (motus mixtus) unter dem Einfluß der Triebkraft des Pulvers und der Schwere gekrümmt, und der dritte (motus naturalis) lotrecht abwärts gerichtet. Nach BLONDEL I. c. Chap. VII p. 35—38 vertritt DAVID RIVALTUS DE FLEURANGE (RIVALTIUS) (1571—1616) in seinem Buche *Les éléments de l'artillerie*, Paris 1605, hinsichtlich der Form der Flugbahn die Anschauungen UFANOS, dagegen setzt er bei konstanter Ladung die Schußweite dem Cosinus des Abgangswinkels proportional. Das letztere tut auch DANIEL SANTBECH (von Nymwegen) in seinem vom Verfasser p. 34 angeführten, 1561 in Basel erschienenen Buche und zwar in der Propositio CXIII: Ex quo fundamento sit extractum artificium eiaculandi sphaeras e tormentis p. 210—212; überdies bewegt sich nach seiner Meinung das Geschö geradlinig, bis die Triebkraft der Ladung fast ganz erschöpft ist, weicht dann nur unerblich von der Anfangsrichtung ab und fällt hierauf senkrecht zu Boden. F. R. S.





mehr als 4 Autorum erinnern, welche die Weite der Schüsse nach verschiedenen Elevationen wirklich durch die Erfahrung bestimmt haben. Der erste von diesen ist COLLADO, welcher uns ein Verzeichnis der Weite der Schüsse eines dreypfundigen Falconets auf einen jeglichen Punct des Artillerie-Quadranten hinterlassen. Allein aus seinen Zahlen ist klar, daß bey diesem Stück nicht die gewöhnliche Ladung gebraucht worden*). Der nächstfolgende ist unser Landsmann BOURNE¹⁾, dessen Tractat im Jahr nach des COLLADO seinem gedruckt worden. Seine Elevationen waren nicht nach den Puncten des Artillerie-Quadranten, sondern nach den Graden genommen, und er bestimmt die Verhältniß der Schüsse nach verschiedenen Elevationen, ingleichen auch die Weite des Kern-Schusses**). Allein dieser Autor beschreibt nicht, mit was für einem Stücke er seine Versuche angestellt: es ist aber aus seinen Proportionen zu schliessen, daß dasselbe eines von den kleinsten müsse gewesen seyn. Es wäre zu wünschen, daß er diesen Umstand zugleich mit angeführt hätte: denn es wird im folgenden gezeigt werden, daß die Verhältnisse zwischen den verschiedenen Distanzen, auf welche ein Stück unter verschiedenen Elevationen trägt, nach der Geschwindigkeit, und der Grösse und Schwere der Kugel, sehr veränderlich ist. Die andern beyden, welche ich über diese Materie angetroffen, sind ELDRED und ANDERSON²⁾,

*) Aus diesen Versuchen wurde festgestellt, daß sich die Weite des Kern-Schusses auf 268 Schritte erstreckte. Bey der Elevation auf den ersten Punct, (welches den 12ten Theil des Quadranten, oder $7\frac{1}{2}$ Grad beträgt,) reichte der Schuß auf 594 Schritt; bey dem zweiten Punct auf 794 Schritt, bey dem dritten auf 954, bey dem vierten auf 1010, bey dem fünften auf 1040, und bey dem sechsten auf 1053 Schritt. Die Weite des Schusses bey dem 7ten Punct wird zwischen derjenigen vom dritten und vierten; bey dem 8ten Punct zwischen dem andern und dritten; bey dem 9ten zwischen dem ersten und andern; bey dem 10ten zwischen dem Kern-Schuß, und dem Schuß des ersten Puncts; bey dem elften fiel die Kugel nahe bey dem Stück wieder herab. Man besehe das 61te Capitel. Es ist auch zu merken, daß die hier gemeldeten Schritte keine geometrische, sondern gemeine gewesen, wie er im 42ten Capitel anzeigt.

**) Wenn die Weite des Kern-Schusses durch 1 ausgedrückt wird, so wird die Weite, so eine Elevation von 5 Graden hervor bringt, durch $2\frac{1}{2}$ ausgedrückt werden; bey einer Elevation von 10 Graden durch $3\frac{1}{2}$; bey 15 Graden durch $4\frac{1}{2}$; bey 20 Graden durch $4\frac{3}{4}$; und der weiteste Schuß, welcher bey der Elevation von 42° eintrifft, wird seyn $5\frac{1}{2}$. Nachdem aber der Wind den Schuß entweder befördert oder verhindert, so kann der weiteste Schuß vom 45sten Grad bis zum 36sten variiren. Man besehe seine *Art of Shooting in great Ordnance* im 7ten Capitel.

1) Siehe die zweite Anmerkung des Verfassers p. 30. F. R. S.

2) WILLIAM ELDRED lebte um 1646. ROBERT ANDERSON lebte in der zweiten Hälfte des siebenzehnten Jahrhunderts. F. R. S.

beyde Engelländer: von welchen der letztere seine Experimenta aus allzugrosser Liebe zu seiner irrigen Theorie sehr merklich verfälschet hat, wovon ich nachgehends Gelegenheit haben werde ausführlicher zu sprechen. ELDRED aber verdient ein weit besseres Lob.*). Seine Grundsätze sind einfältig genug, und ob dieselben gleich nicht nach aller Schärfe der Wahrheit gemäß sind, so kommen sie doch derselben unter gewissen Bedingungen ziemlich nahe. Er hat nur die Weite der Schüsse von unterschiedenen Arten Stücke bey kleinen Elevationen, welche alle unter 10 Grad sind, aufgezeichnet hinterlassen. Es befindet sich in seinem Buche eine sehr grosse Anzahl Experimente, welche mit besonderm Fleiße und grosser Behutsamkeit gemacht worden zu seyn scheinen: und er hat die Aufrichtigkeit gehabt, uns auch diejenigen nicht zu verschweigen, welche mit seiner Theorie nicht bestehen können. Ueberhaupt scheint er sich weit mehr Mühe gegeben, und eine viel grössere Kenntniß von diesem Werke, als seine Mit-Brüder in dem practischen Theil der Artillerie gehabt zu haben. Denn diese hingen insgesamt einer übelgegründeten Theorie allzu hartnäckig an, und hielten so fest über die angenommenen Gebräuche, daß sie auf die Erleuterung der Kunst durch eigene Experimente nicht dachten, und folglich nicht einmahl einsahen, daß dieselbe noch grosser Verbesserungen benöthiget wäre. Sonsten wäre es unmöglich gewesen, daß Sätze, welche so wenig mit der Erfahrung übereinstimmen, so lange Zeit hätten bestehen können, wovon die Lehre, welche nach des GALILEI Zeiten angenommen worden, ein merkwürdiges Exempel darlegt.

Die Gespräche des GALILEI über die Bewegung wurden, wie schon gemeldet, A. 1638 gedruckt, und hierin hat er die allgemeinen Gesetze, welche die Natur in Hervorbringung und Veränderung der Bewegung beobachtet, ausfindig gemacht. Denn er war der erste, welcher die Wirkungen der Schwerkraft auf die fallenden Körper beschrieben¹⁾; und aus diesen Grundsätzen hat er hergeleitet, daß die Linie, welche eine Canonen-Kugel in ihrem Flug beschreibt, eine Parabel seyn müsse, in so ferne dieselbe nicht durch den

*) Sein Buch führt den Titel: *The Gunners Glasce*, und die Experimente, worauf er sich gründet, sind meistens zu Dover Castle, allwo er viele Jahre Büchsenmeister gewesen, gemacht worden. Das früheste Datum von seinen Experimenten findet sich vom Jahr 1611, ungeachtet sein Buch erst A. 1646 herausgekommen.

1) G. GALILEI, *Discorsi* (siehe die Anmerkung 3 p. 34), Giornata quarta, p. 237-250; *Le Opere di GALILEO GALILEI*, Edizione nazionale, vol. VIII, p. 269-279. F. R. S.



Widerstand der Luft von dieser Bahn abgeleitet würde. Er hat auch Mittel vorgeschlagen, um die Veränderungen, so von diesem Widerstand entstehen, zu bestimmen: indem er eine Methode beschreibt, wodurch man die Wirkungen, welche die Luft in der Bewegung einer Canonen-Kugel in einer jeglichen Distanz von dem Stücke hervor bringt, bestimmen könnte.

Da nun solchergestalt GALILEUS gewiesen, daß alle geworfene Körper, in so ferne dieselben von der Luft nicht gehindert werden, eine Parabel beschreiben, so hätte man vermuthen sollen, daß diejenigen, welche nach ihm gekommen, sich alle Mühe gegeben haben würden, die Veränderungen, so aus dem Widerstand der Luft entstehen, zu untersuchen, oder zum wenigsten fest zu setzen, ob man in dieser Wissenschaft nöthig habe, auf diesen Umstand zu sehen oder nicht. Allein, an statt hierinne alle Behutsamkeit zu gebrauchen, so haben die nachfolgenden Scribenten ganz verwegen, und ohne die Erfahrung darüber zu Rathe zu ziehen, behauptet, daß der Widerstand der Luft keine merkliche Veränderung in dem Flug einer Stückkugel verursachen könne; und in diesem irrigen Wahn haben sie sich selbst zu bestärken gesucht durch die grosse Dünne, welche in Ansehung der übrigen dichten Körper an der Luft wahrgenommen wird. Da nun diese ungegründete Meynung immer beybehalten und beständig wiederholet worden, so hat man dieselbe so gar als einen Grund-Satz, welcher keinen fernerer Beweisethum bedürfte, angenommen, und durchgehends behauptet, daß die Bewegung dieser Körper ziemlich genau nach einer Parabel geschähe.

Denn in dem Jahr 1674 publicirte unser Landsmann ANDERSON einen Tractat, genannt: *The genuine use and effects of the Gun*¹⁾, worinne er nach den Grundsätzen des GALILEI zu Werke geht, und beständig behauptet, daß der Flug aller Canonen-Kugeln in einer Parabel geschehe: und bemühet sich zugleich allen Einwürfen, so dagegen gemacht werden könnten, zu begegnen.

Im Jahr 1683 gab Mr. BLONDEL *l'art de jeter les Bombes* zu Paris heraus, allwo gleichfalls die Lehre des GALILEI auf die Bewegung der Stückkugeln von allen Arten gezogen, und die Veränderungen, welche der Widerstand der Luft verursacht, ins besondere betrachtet worden: nach einer weitläufigen Untersuchung aber macht dieser Autor auch den Schluß, daß die Wirkungen der Luft so geringe seyn, daß dadurch die Richtigkeit seiner

1) Der Tractat erschien in London. F. R. S.

Schlüsse keinen merklichen Abbruch litte.^{*)} Gleichergestalt findet sich auch eben diese Materie in unsern Philosophical Transactions abgehandelt^{**)} durch Dr. HALLEY¹⁾, welcher in Erwägung des grossen Unterscheids, so sich zwischen der Schwebre der Stückkugeln und der Luft befindet, für sehr wahrscheinlich hält, daß der Gegenstand der Luft bey schweren Canonen-Kugeln kaum merklich seyn könne: ungeachtet er zugibt, daß die Wirkung derselben bey kleinen und leichten Körpern nicht aus der Acht gelassen werden könne.

Da also diese Meynung über den geringen und nicht merklichen Widerstand der Luft in Schwang gekommen; vom GALILEO aber erwiesen worden, daß alle geworfene Körper, wann der Widerstand der Luft gehoben würde, sich in einer Parabel bewegen müsten, so ist insgemein bey allen Schriftstellern der Artillerie als ein Grundsatz angenommen worden, daß der Weg, welchen eine Canonen-Kugel in der Luft beschreibt, nicht merklich von der Parabel abweiche. Man darf, um hiervon überführt zu werden, nur alle diejenigen Autores, welche seit 40 Jahren über diese Materie geschrieben, nachsehen.

Ob nun gleich diese Meynung denjenigen, welche sich nur mit Speculationen aufhalten, herrlich zu statten kommt: so hat doch schon ANDERSON durch eine grosse Menge angestellter Versuche gefunden, daß dieselbe ohne einige neue Einschränkungen mit der Wahrheit nicht bestehen könne. Denn ob gleich aus seinen Schriften nicht erhellet, daß er jemahls die Verhältniß der Schußweiten von Canonen oder Mußketen, wenn dieselben mit der gewöhnlichen Ladung loß geschossen werden, untersucht, so ist er doch durch die Experimenten, welche er nur mit kleinen Ladungen angestellt, wodurch die Kugeln mit einer weit kleinern Geschwindigkeit fortgetrieben werden, überführt worden, daß die gantze Bahn derselben nicht als eine Parabel angesehen werden könne, wie aus seinem Tractat, *To hit a Mark*, so A. 1690²⁾

^{*)} Man besche pag. 345 von der ersten Edition in Quarto³⁾, ingleichen auch pag. 355 und die folgenden.

^{**)} Man sehe in No. 216 pag. 68.

1) E. HALLEY (1656-1742). Die Fußnote des Verfassers bezieht sich auf die Abhandlung: *A proposition of general use in the art of gunnery; shewing the rule of laying a mortar to pass, in order to strike any object above or below the horizon.* By E. HALLEY. Philosophical Transactions (London) 19 (1695-1697), 1698 p. 68. F. R. S.

2) Der Tractat erschien in London. F. R. S.

3) Erschienen in Amsterdam 1699. F. R. S.



gedruckt ist, ersehen werden kann. An statt aber hieraus die wahren Schlüsse zu ziehen, und die Größe dieses so merklichen Widerstandes der Luft zu bestimmen, so hat er vielmehr aus einer allzugrossen Neigung zu seinen schon gefaßten Meynungen lieber eine neue Hypothesin geschmiedet, welche darinne bestand, daß eine jegliche Kugel im ersten Anfang ihrer Bewegung biß auf eine gewisse Distantz nach einer geraden Linie fortgehe, und bey dem Ende derselben erst anfangs in einer Parabel fortzulaufen. Er meynt auch, daß diese gerade Linie, welche er die Linie der Gewalt des Feuers nennt, bey allen verschiedenen Richtungen der Canonen gleich groß sey. Durch diese Hypothesin, ob dieselbe gleich auf keinerley Art bestätigt werden kann, war er doch im Stande, alle Abweichungen der Schüsse von der gemeinen Meynung zu erklären, so stark dieselben auch immer dagegen stritten, indem er seine gerade Linie nach Belieben annehmen konnte. Dem ungeachtet scheint es, daß diese neu ausgefundene Meynung mit den von ihm nachgehends angestellten Versuchen nicht weiter bestehen konnte. Denn er konnte es nimmer so weit bringen, daß er die Schußweiten von drey verschiedenen Elevationen mit dieser seiner Hypothesi hätte vergleichen können, ob ihm gleich solches bey zweyen glücklich gelungen. Da nun dergleichen merkliche Abweichungen von dem Widerstand der Luft bey Bomben oder Kugeln, welche nur durch eine geringe Ladung geschossen worden, herrührten, wie groß muß die Wirkung der Luft nicht alsdenn seyn, wenn man sich einer völligen Ladung bedienet? Denn da in diesem Fall die Kugel einen drey biß viermal grösseren Grad der Geschwindigkeit bekommt, als in dem vorigen, so muß die Resistenz der Luft, wie im folgenden gewiesen werden soll, bey nahe fünfzig mahl grösser, und also sehr merklich werden.

Daß die Resistenz der Luft, welche doch eine grosse Gewalt auf alle schnell bewegte Körper ausübet, von den practischen Artilleristen ganz und gar aus der Acht gelassen wird, solches ist nicht der einzige Anmerkenswürdige Umstand in dieser Untersuchung. Denn, nachdem des grossen NEWTONS *Principia Mathematica Philosophiae Naturalis* heraus gekommen¹⁾, so hätten allem Vermuthen nach alle Mathematici von dieser beträchtlichen Wirkung der Luft völlig überzeugt werden sollen, indem in diesem verewigten Werke die Gesetze und die wahre Grösse dieser Resistenz für langsame

1) I. NEWTON (1643—1727). Die *Philosophiae naturalis principia mathematica* (so lautet der Titel) erschienen 1687 in London. Eine dritte, noch von NEWTON selbst besorgte und als „*aucta et emendata*“ bezeichnete Ausgabe wurde ebendasselbst 1726 veröffentlicht. F. R. S.

Bewegungen bestimmt und durch viele Experimente bestätigt worden. Eben diese Gesetze, wenn dieselben auf sehr schnelle Bewegungen bezogen werden, geben zwar die Resistenz viel zu geringe an, als aus der wirklichen Erfahrung abgenommen werden kann, und NEWTON selbst hat schon diese Abweichung bemerkt^{*)}; allein eben hieraus erhellet, daß die Wirkung der Luft auf die Stückkugeln um so viel weniger aus der Acht gelassen werden könne. Dieser augenscheinlichen Probe von der Nothwendigkeit, die Luft bey der Bewegung der Stückkugeln mit in Betrachtung zu ziehen, ungeachtet aber habe ich bißher nur ein einziges Exempel angetroffen, worinne dergleichen Bewegungen nach den Grundsätzen des NEWTONS berechnet worden sind.^{**)}

Wenn wir nun alles zusammen nehmen, was über diese Materie beygebracht worden, so erhellet ganz deutlich, daß sich die heutigen Scribenten über die Artillerie sehr gröblich betrogen haben, wenn sie geglaubt, daß die Resistenz der Luft nicht verdiene, in Betrachtung gezogen zu werden, und daher behauptet haben, daß der Weg, welchen die Bomben und Stückkugeln in der Luft beschreiben, von einer wahren Parabel nicht merklich unterschieden sey. Hieraus folget also unstreitig, daß alle bißher gemachten Bestimmungen über den Flug der Stückkugeln, welchen ein sehr hoher Grad der Geschwindigkeit eingedrucket worden, von der Wahrheit sehr stark abweichen, und daß folglich die gegenwärtige Theorie der Artillerie in diesem sehr wichtigen Punct gänzlich unbrauchbar und falsch sey.

Um nun einiger massen diesen Unvollkommenheiten abzuhelfen, so haben wir uns im zweyten Capitel der folgenden Abhandlung bemühet, nicht allein dasjenige, was hier in Ansehung der Unrichtigkeit der parabolischen Bewegung ist angeführt worden, auf das gründlichste zu beweisen, sondern auch zugleich die wirkliche Grösse der Resistenz, welche eine Stückkugel in einem jeglichen Grad der Geschwindigkeit leidet, richtig zu bestimmen. Denn da aus den im ersten Capitel festgesetzten Gründen die Geschwindigkeit einer

*) *Phil. Nat. Princ. Math.* p. 351.

**) In *Comment. Acad. Petrop.* Tom. 2, p. 338, 339.¹⁾

1) Es handelt sich um die Abhandlung von D. BERNOULLI *De actione fluidorum in corpora solida et motu solidorum in fluidis*, *Comment. acad. sc. Petrop.* 2 (1727), 1729, p. 304, deren *Pars quarta* (p. 329—342) unter dem Titel *De motu corporum sursum proiectorum, ubi ad calculum revocantur experimenta ab Excellentiss. Dno GÖTTERO cum tormentis instituta*, den hier vorliegenden ballistischen Aufgaben gewidmet ist. F. R. S.

LEONHARDI EULERI Opera omnia II. 14. Ballistik



Kugel, mit welcher dieselbe aus dem Stück wirklich heraus fährt, leicht bestimmt werden kann: so wird die Beschreibung des Weges, den die Kugel in der Luft nimmt, in ein geometrisches Problem verwandelt, welches zwar in seiner gänzlichen Ausdehnung eine sehr verwirrte und mühsame Rechnung erfordert; allein in den Fällen, welche in der Praxi öfters vorkommen, können einige gewisse leichte Approximationen angebracht werden, welche genugsam hinreichend sind, die verschiedenen Schußweiten aus der Theorie ziemlich genau zu bestimmen.

Ob aber gleich diejenigen, welche die folgende Abhandlung mit Aufmerksamkeit durchlesen, keinen Zweifel über die Gewißheit von den daraus gezogenen Bestimmungen übrig behalten werden, so möchte man doch erwartet haben, daß man die Accuratesse dieser Gründe noch weit sicherer durch Experimente über die wirklichen Schußweiten von verschiedenen Stücken, und durch derselben Vergleichung mit den Rechnungen der Theorie hätte fest setzen können. Und in der That hatte ich einmahl den Vorsatz gefasset, ein Capitel über diese Materie beyzufügen, es haben mich aber zwey Ursachen hievon abgehalten. Die erste bestand in der grossen Schwierigkeit, sich von den wahren Distantzen, so weit ein Stück in verschiedenen Richtungen treibt, zu versichern, welche Schwierigkeit niemand so leicht, als wer wirklich Proben von dieser Art angestellt, einsehen wird. Die andere Ursache war eine gewisse Irregularität, welche sich bey diesen Distantzen einfand, und alle meine Bemühungen fruchtlos machte. Denn eben dasselbe Stück schiesset öfters unter einerley Ladung die Kugel auf sehr verschiedene Distantzen, dergestalt, daß selten zwey unter einerley Umständen gemachte Versuche mit einander übereinstimmen, wie ich ausführlicher in der 7ten Proposition des zweyten Capitels anmerken werde.

Ungeachtet aber dieser Schwierigkeiten, welche mich verhindert haben, dem folgenden Tractat solche Experimenta über die Weite der Schüsse beyzufügen, wodurch die Theorie der Resistenz mehr befestiget werden könnte: so habe ich mich doch entschlossen, diese Materie abzuhandeln, und ich schmeichle mir einen Weg gefunden zu haben, um den obgedachten Ungleichheiten vorzubeugen. Denn so lange diese Hindernisse nicht aus dem Wege gehoben werden, so ist klar, daß man sich aus allen Experimenten von dieser Art nicht viel Nutzen versprechen könne. Ich behalte mir aber den Ausgang meiner künftigen Versuche über diesen Artikel zu einem zweyten Theil dieser Abhandlung vor, worinne ich ausser diesen über den Flug der Stückkugeln angestellten Experimenten, und derselben Vergleichung mit den auf

geometrische Art bewiesenen Bestimmungen, mir vorgesetzt habe, noch viele andere Experimente anzuführen; welche, ob sie gleich von einer vermischten Natur sind, dennoch sowohl mit der Theorie, als mit der Praxi der Artillerie, in einer genauen Verbindung stehen. Diesem zweyten Theil werde ich auch verschiedene Nachrichten und practische Regeln beyfügen, welche aus den vorher festgesetzten Grundsätzen fließen, und verhoffentlich bey künftiger Ausübung der Artillerie von nicht geringem Nutzen seyn werden. Es liegt von diesem zweyten Theil schon eine ziemliche Partie bey mir wirklich fertig, nebst einem guten Vorrath, um dasselbe gänzlich zu vollenden. Diejenigen Experimenten aber, welche mir noch fehlen, erfordern lange Zeit, und eine bequeme Gelegenheit ins Werk zu richten.

Da die folgenden Blätter ausser der Bestimmung des Widerstands der Luft, auch zugleich eine Theorie von der Kraft und Wirkung des Pulvers in sich enthalten, so wird man von mir auch eine Erzählung von demjenigen, was andere Autores bißher davon geschrieben haben, erwarten. Allein, alles dasjenige, was mir bisher darüber vorgekommen, ist so unbestimmt und undeutlich, daß es öfters sehr schwer ist, die Meynung der Autoren nur zu verstehen. Die verständlichste Hypothesis hierüber, und welche auch scheint der Grund zu seyn von allem, was andere davon gesagt haben, ist diejenige, welche DE LA HIRE gegeben.

In der Historie der Französischen Academie A. 1702 hat Mr. DE LA HIRE¹⁾ supponirt, daß die Kraft des Pulvers von der vermehrten Elasticität der Luft herrühre, welche in demselben und zwischen den Körnern befindlich ist, und durch die Hitze des Feuers im Loßbrennen erregt werde. Wenn nun die Luft in den Körnern selbst sowohl als zwischen denselben vor der Abfeuerung in ihrem natürlichen Ausdehnungs-Stande befindlich wäre, so könnte keine grössere Kraft hervor kommen, als welche von der Flamme verursacht würde. Diese Ausdehnungs-Kraft ist aber aufs höchste fünfmal grösser, als diejenige, womit die Luft in ihrem natürlichen Zustande begabet ist, wie im folgenden mit mehrerm dargethan wird^{*)}, und folglich würde dieselbe nicht einmahl hinlänglich seyn, den zweyhundertsten Theil der Gewalt, welche das Pulver wirklich ausübet, hervor zu bringen.

^{*)} Man besche die Vte Prop. des ersten Capitels in der folgenden Abhandlung.

1) G. PH. DE LA HIRE (1677-1719), *Sur les effets du ressort de l'air dans la poudre à canon et dans le tonnerre. Histoire de l'acad. roy. des sciences* (1702), Paris 1704, p. 9.
F. R. S.



Inzwischen hat doch diese Erklärung zu verschiedenen Dissertationen und Abhandlungen bey einer benachbarten Nation Anlaß gegeben: und insbesondere sieht ein gewisser Autor¹⁾ seine Forderung sehr billig an, wann er supponirt, daß die Ausdehnungskraft der Luft, wenn dieselbe durch die Loßbrennung des Pulvers erhitzt wird, hundert mahl grösser sey, als in der Hitze des siedenden Wassers. Weil ich aber glaube, die Unmöglichkeit dieser Lehre, um die Gewalt des Pulvers zu erklären, genugsam erwiesen zu haben, so will ich die Leser mit einer weitläufigern Erzählung der Meynungen über diesen Punct nicht länger aufhalten: insonderheit weil ich mir mit der Hofnung schmeichle, daß die Theorie der Gewalt des Pulvers, welche in den folgenden Blättern festgesetzt wird, durch solche Experimente unwidersprechlich bekräftiget worden, daß eine förmliche Wiederlegung anderer Meynungen unnöthig seyn würde.

1) Gemeint ist wohl JOH. BERNOULLI. Siehe EULERS Anmerkungen p. 47. F. R. S.

ANMERKUNGEN DES UEBERSETZERS

Was unser Autor hier von dem Ursprung und der Erweiterung sowohl der Artillerie, als der Fortification, erzehlet, zeigt eine ungemeine Belesenheit und Kenntniß aller alten Autoren, welche von diesen Wissenschaften geschrieben haben, an. Diese Nachrichten, welche absonderlich die Praxin betreffen, scheinen auch so gründlich und der Wahrheit gemäß zu seyn, daß man darüber den geringsten Zweifel zu hegen keine Ursach findet. Indessen scheinen doch dem Verfasser verschiedene Bücher von der Theorie der Artillerie unbekannt gewesen zu seyn, worinnen schon eine weit gründlichere Nachricht von der Bewegung der Stück-Kugeln und der Gewalt des Pulvers gegeben wird, als er anführet: oder derselbe müßte solche mit allem Fleiß mit Stillschweigen übergangen haben, um die Wichtigkeit seiner eigenen Erfindungen desto mehr zu erheben. Denn aus demjenigen, was er anführet, sollte man fast schliessen, daß man vor ihm sowohl von der Bewegung der Stück-Kugeln, als von der Gewalt des Pulvers, sehr wenig zuverlässiges gewusst hätte, indem von denjenigen, welche darüber sehr schöne Entdeckungen gemacht haben, nicht die geringste Nachricht ertheilet wird, da derselbe doch in den übrigen Stücken alle Autores, welche davon etwas merkwürdiges herausgegeben, so sorgfältig anführet.

Was nun erstlich die Bewegung der Canonen-Kugeln in der Luft anlanget, so haben die Theoretici schon längst erkannt, daß die Linie, welche eine solche Kugel in der Luft beschreibt, sehr merklich von einer Parabel unterschieden sey. Von was für einer Natur aber diese krumme Linie sey, konnte wegen der grossen Schwierigkeit der Rechnungen, welche diese Untersuchung erfordert, nicht so leicht bestimmt werden. HUGENIUS¹⁾ hatte zwar schon bewiesen, daß wenn die Resistenz der Luft der Geschwindigkeit der

1) CHR. HUYGENS (1629—1695), *Traité de la Lumière avec un Discours de la Cause de la Pesanteur*, Leide 1690, p. 169; *Dissertatio de causa gravitatis*, CHR. HUGENII Opera reliqua, Amstelodami 1728, vol. I, p. 93. F. R. S.



darinne bewegten Körper proportional wäre, diese krumme Linie eine Art der logarithmica seyn müsse; NEWTON aber hat sehr deutlich dargethan, daß diese Resistenz der Luft nicht den Geschwindigkeiten selbst, sondern ihren Quadratis proportional sey, und hat sich alle Mühe gegeben, die Natur der krummen Linie, welche ein Körper, so einer solchen Resistenz ausgesetzt ist, beschreibet, ausfindig zu machen. Dem ungeachtet konnte derselbe doch nicht seinen Endzweck erreichen, sondern mußte sich mit Approximationen begnügen, wie aus den *Principiis Math. Phil. Natur.* genugsam erhellet.¹⁾ Diese Frage wurde auch A. 1718 dem berühmten Hrn. Professor JOH. BERNOULLI in Basel von dem Engländer KEILL²⁾ aufgegeben, als ein solcher Knoten, über dessen Auflösung sich die Engländer bisher umsonst bemühet hatten. Als nun gedachter Herr BERNOULLI sogleich dieses Problema aufgelöst³⁾, und zwar in einem viel weitern Sinn, als solches vorgelegt worden, so kam auch eine Solution in des Hrn. HERMANN'S *Phoronomia*⁴⁾ zu gleicher Zeit zum Vorschein, und der scharfsinnige Engländer TAYLOR⁵⁾ machte gleichfalls eine Solution bekannt.⁶⁾ Ob nun gleich der Hr. ROBINS gefunden, daß die Resistenz der Luft bey sehr schnellen Bewegungen grösser ist, als man geglaubet, so ist doch auch für diesen Fall die Auflösung in der Methode enthalten, daß man also dieselbe nicht als eine bisher unbekannt gewesene Sache ansehen kann; ungeachtet man gestehen muß, daß sich bisher noch kein Mathematicus sonderliche Mühe gegeben, dieselbe zum Vortheil der practischen Artillerie anzuwenden.

Daß aber die Resistenz der Luft auf schnelle Bewegungen, dergleichen die Stück-Kugeln haben, eine sehr merkliche Wirkung habe, hat der berühmte

1) I. NEWTON, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Editio tertia, Londini 1726, p. 259—264. F. R. S.

2) J. KEILL (1671—1721), Professor der Physik und hernach der Astronomie zu Oxford. F. R. S.

3) JOH. BERNOULLI, *Responsio ad nonneminis provocationem eiusque solutio quaestionis ipsi ab eodem propositae de inveniendi linea curva, quam describit projectile in medio resistente*, Acta eruditorum, Lipsiae 1719, p. 216; *Opera omnia*, Lausannae et Genevae 1742, t. II, p. 393—399. F. R. S.

4) JAC. HERMANN (1678—1733), *Phoronomia, sive de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum libri duo*, Amstelredami 1716. F. R. S.

5) B. TAYLOR (1685—1731), *Propositiones aliquot de Projectilium motu Parabolico*, Scriptae An. 1710, Philosophical Transactions (London) 31 (1721), 1723, p. 151. Dieser Aufsatz bezieht sich aber nur auf die Wurfbewegung im luftleeren Raum. F. R. S.

6) Siehe zu diesen Darlegungen auch EULERS *Mechanica*, t. I § 883; LEONHARDI EULERI *Opera omnia*, series II, vol. 1, p. 318. F. R. S.

Hr. Prof. DANIEL BERNOULLI im 2ten Tomo Comment. Acad. Petrop.¹⁾, welche Stelle so gar der Hr. ROBINS in einer andern Absicht anführet, auf das deutlichste aus vielen Experimenten erwiesen; indem er zum Exempel pag. 338 zeigt, daß eine Stück-Kugel, welche in der Luft nur auf eine Höhe von 7819 Schue gestiegen, in einen luftleeren Raum 58750 Schuh hoch hätte steigen müssen, von welcher merkwürdigen Anmerkung unser Autor nicht die geringste Meldung thut.

Eine gleiche Bewandniß hat es auch mit der Erklärung der Gewalt des Pulvers, wovon unser Autor keine andere anführet, als welche DE LA HIRE A. 1702 gegeben, und in der That keine tiefe Einsicht in die Natur-Wissenschaft zu erkennen giebt; dahero man auf die Gedanken gerathen sollte, als wenn niemand anders in diesem Stücke glücklicher gewesen wäre. Daß sich aber die Luft in dem Schieß-Pulver nicht in ihrem natürlichen Zustande, sondern sehr stark zusammen gedruckt befinde, hat schon der vorgemeldte Hr. JOH. BERNOULLI A. 1690 in seiner *Dissertatio de effervescentia et fermentatione*²⁾ sehr klar bewiesen. Denn derselbe hat aus einigen über die Loß-brennung des Pulvers angestellten Experimenten den richtigen Schluß gezogen, daß die in dem Pulver befindliche Luft zum wenigsten hundert mahl mehr zusammen gedruckt seyn müsse, als solche natürlicher Weise zu seyn pflegt. Es kan zwar seyn, daß diese Dissertation dem Hrn. ROBINS niemahlen zu Gesicht gekommen; allein es ist nicht wahrscheinlich, daß derselbe des PAPINI³⁾ Experiment, als welches in die Philosophical Transactions⁴⁾ eingerückt ist, nicht gesehen haben sollte, worinne gleichfalls gewiesen wird, daß in dem Salpeter würcklich eine sehr elastische flüßige Materie enthalten sey, von welcher die Gewalt des Pulvers herrühre; und daß in 6 granen Pulver zum wenigsten 1 gran pure Luft, welche so sehr zusammen gepreßt, enthalten sey. In den Supplementi al Giornale de letterati d'Italia Tom. I. n. 8 hat auch ein Gelehrter, Namens BRACHUS⁵⁾, Experimente über die Gewalt des Pulvers angestellt, und daraus geschlossen, daß die im Pulver enthaltene Luft 450 mahl dichter sey, als die natürliche.

1) Siehe die Anmerkung 1 p. 41. F. R. S.

2) JOH. BERNOULLI, *Opera omnia*, Lausannae et Genevae 1742, t. I, p. 7—40. F. R. S.

3) DENIS PAPIN (1647—1712), französischer Physiker und Erbauer des ersten Dampfschiffes (1707). F. R. S.

4) Philosophical Transactions (London) 10, 1675, p. 546—548. F. R. S.

5) JACOPO BRACHI, *Saggio sopra l'aria nel polve d'arcobugio e la sua compressione*, Suppl. al Giorn. de letter. d'Italia, Tom. I n. 8, Venezia 1723. F. R. S.



Der Hr. Prof. DANIEL BERNOULLI hat auch diese Materie in seinem unvergleichlichen Werk von der Hydrodynamic¹⁾, so A. 1738 zu Straßburg gedruckt ist, sehr ausführlich abgehandelt, in der 10ten Section, allwo er aus einigen Experimenten behauptet, daß die Elasticität der im Pulver enthaltenen Luft mehr als 10000 mahl grösser sey, als der natürlichen. Wenn also die Elasticität der Luft in eben der Proportion mit der Zusammendruckung zunähme, so müßte auch die Luft im Pulver 10000 mahl dichter, als die gewöhnliche Luft, womit wir umgeben sind, und folglich das Pulver mehr als 10000 mahl schwerer seyn, als die ordentliche Luft. Da nun das Wasser nur ungefähr 1000 mahl schwerer ist, als die Luft, die Schwere des Pulvers aber nicht viel vom Wasser verschieden ist, so sieht man wohl, daß diese Hypothesis unmöglich bestehen kann, wann auch gleich das Pulver nichts anders wäre, als eine zusammen gepreßte Luft. Dahero glaubet obgemeldter Autor, daß die Regel, kraft welcher die Elasticität der Luft ihrer Dichte proportional seyn soll, bey sehr starken Zusammendrückungen nicht mehr Platz habe, und daß vielleicht die natürliche Luft, wann dieselbe zum Exempel nur in einen tausend mahl kleinern Raum zusammen gedruckt wird, schon eine 10000 mahl grössere Elasticität erlange: welche Meynung mit der angenommenen Lehre von der Beschaffenheit der Luft sehr wohl bestehen kann. Da aber der Herr BERNOULLI diese Folgen aus der Resistenz der Luft hergeleitet, und dieselbe beständig den Quadraten der Geschwindigkeit proportional setzt; unser Autor aber die Resistenz bey sehr schnellen Bewegungen weit grösser befunden hat: so werden diese Folgen einer Correction nöthig haben, wodurch man vielleicht die Elasticität der im Pulver enthaltenen Luft nicht mehr so erstaunlich groß anzunehmen genöthiget seyn wird. Welcher Umstand in den folgenden Anmerkungen mit grösserm Fleiß untersucht werden soll.

1) Siehe die Anmerkung 1 p. 6. F. R. S.

ERSTES CAPITEL

VON DER GEWALT DES SCHIESS-PULVERS

ERSTER SATZ

Wenn Schieß-Pulver sowohl in der Luft, als in einem Luft-leeren Raum, angezündet wird, so wird durch die Entzündung eine beständige, flüssige und mit einer Ausdehnungskraft versehene Materie hervorgebracht.

Wenn man ein feuriges Eisen unter einen Recipienten setzt, die Luft vermittelst einer Luftpumpe rein auspumpet, und alsdenn einige Pulverkörner auf das glühende Eisen fallen lässt: so wird das Pulver Feuer fangen, und der Mercurius in dem damit befestigten Indice Mercuriali plötzlich herunter sinken. Gleich darauf wird derselbe zwar wiederum herauf steigen, seine vorige Höhe aber nimmer wiederum erreichen, sondern beständig um so viel tiefer stehen bleiben, je mehr man Pulver im Recipienten angezündet hat. Dieses ist ein sehr bekanntes Experiment, und findet sich nach allen Umständen beschrieben in den Philosophical Transactions No. 295 von Mr. HAUKEBEE, an welchem Ort er meldet, daß, nachdem er eine geringe Quantität Pulver auf diese Art angezündet, der Mercurius in dem Indice mercuriali, welcher vor der Loßbrennung $29\frac{1}{2}$ Zoll hoch gestanden, darauf biß auf $12\frac{3}{4}$ Zoll herunter gefallen.¹⁾ Dieses

1) Diese Beschreibung findet man in den beiden Abhandlungen von FRANCIS HAUKEBEE (gest. um 1713): VI. *An Experiment made at a meeting of the Royal Society Dec. 20. 1704 of firing gun-powder on a red hot iron in vacuo Boyleano.* VII. *An account of an experiment made Decemb. the 26th 1704. To try the quality of air, produced from gun powder, fir'd in vacuo Boyleano.* Philosophical Transactions (London) 24 (1704/1705), 1706, p. 1806-1807. F. R. S.



Experiment beweiset also unstreitig, daß durch die Loßbrennung des Pulvers in dem Recipienten eine subtile elastische Materie hervorgebracht worden, durch deren Ausdehnungskraft das Quecksilber so tief herabgedrückt worden, und daß folglich unser Satz, in Ansehung des Luft-leeren Raums, der Wahrheit gemäß ist. Daß aber diese hervorgebrachte flüssige Materie auch fort-daurend gewesen, erhellet aus demjenigen, was Mr. HAUKEBEE an eben dem Ort noch beyfüget, daß ungeachtet das Quecksilber nach der Hand wiederum gestiegen, dasselbe doch den folgenden Tag nicht höher als $22\frac{1}{2}$ Zoll gestanden, und auch nachgehends diese Höhe unverändert behalten habe. Daß hernach diese flüssige Materie elastisch, oder mit einer Ausdehnungs-Kraft versehen gewesen, beweiset der niedrige Stand des Indicis mercurialis zur Gnüge; indem dieselbe durch ihre natürliche Schwere allein keine merkliche Wirkung hätte hervor bringen können. Dieses erhellet auch daraus, daß sich diese Materie durch den gantzen Recipienten ausgebreitet, welches ohne die Elasticität nicht hätte geschehen können; und geht dieses Experiment gleicher Weise von statten, der Recipient mag groß oder klein seyn. Inzwischen ist aber der Fall des Mercurii um so viel geringer, je grösser der Recipient genommen wird, wann man nemlich einerley Quantität Pulver behält: woraus folget, daß diese flüssige Materie, je weiter sich dieselbe ausdehnen kan, eine um so viel kleinere Elasticität behalte, und folglich mit der Luft in diesem Stück überein komme.

Eben diese flüssige und elastische Materie wird hervorgebracht, wenn das Pulver in der Luft angezündet wird.*) Denn, wann man eine kleine Quantität Pulver in den obern Theil einer Glasröhre legt, das untere Theil der Röhre aber ins Wasser taucht, so tief, daß nur ein geringer Theil derselben worinne das Pulver befindlich, ausser dem Wasser zu stehen komme, und alsdann die Röhre an dem obern Ende fest zuschliesset, daß dadurch alle Communication mit der äussern Luft gehoben wird, hernach aber das Pulver mittelst eines Brennglases in der Röhre anzündet: so wird das Wasser plötzlich wie das Quecksilber bey dem vorigen Experiment zurück treten, und darinne beständig tiefer stehen bleiben, als vor der Entzündung des Pulvers. Dieser Unterschied wird auch um so viel grösser seyn, je mehr

*) Man besche HAUKEBEE'S *Phys. Mechan. Exper.*¹⁾ pag. 81.

1) FR. HAUKEBEE, *Physico-mechanical experiments on various subjects touching light and electricity*, London 1709. F. R. S.

Pulver angezündet wird, und je enger die Röhre ist. Hieraus wird also auch der andere Fall unsers Satzes ausser Zweifel gesetzt, daß die Loßbrennung des Pulvers auch in der Luft eine fort-daurende elastische flüssige Materie hervor bringe.

ZUSATZ

Man hat schon seit der Zeit des berühmten BOYLE¹⁾ wahrgenommen, daß viele Materien durch die Gährung, und andere chymische Operationen, ein fluidum elasticum, welches in vielen Stücken der natürlichen Luft sehr ähnlich kommt, hervorbringen. Man hat auch gleicher Weise befunden, daß andere Vermischungen in verschiedenen Umständen einen Theil der umliegenden Luft in sich schlucken und gleichsam verzehren. Insonderheit aber hat man beobachtet, daß alle verbrennliche Körper, und alle schweflichte Dämpfe, einen grossen Theil der Luft zerstören, und solche entweder in sich verschlingen, oder zum wenigsten ihrer Elasticität berauben. Diese Hervorbringung und Verzehrung der Luft in chymischen Processen ist neulich sehr gründlich und glücklich von dem Hrn. HALES in seiner *Vegetable Statics*²⁾ untersucht worden. Aus diesen Gründen folget nun, daß in dem letztern Experiment der schweflichte Rauch, welcher bey Entzündung des Pulvers entsteht, etwas von der in der Röhre zurück gelassenen Luft verzehren müsse. Dahero ist nöthig, daß man bey diesem Experiment so wenig Luft in der Röhre zurück lasse, als möglich ist, damit die Richtigkeit des Experiments durch die verschluckte Luft, wann dieselbe der hervorgebrachten elastischen Materie beynahe gleich kame, nicht unterbrochen werde.

Hierzu kommt noch ein anderer Umstand, weswegen es rathsam ist, in dem letztern Experiment sehr wenig Luft in der Röhre zu lassen. Dieser ist die Wirkung des Feuers, als wodurch die Elasticität der zurückgebliebenen Luft sehr starck vermehret wird; welcher folglich nebst der neu hervorgebrachten elastischen Materie die Röhre nicht widerstehen, sondern zerspringen würde.

1) ROBERT BOYLE (1627—1691). F. R. S.

2) STEPHEN HALES (1677—1761), *Vegetable Statics*, London 1727. F. R. S.



ANMERKUNG

Die erstere Ursache, welche unser Autor anführet, weswegen man so wenig Luft als möglich, oben in der Röhre lassen solle, ist schwer einzusehen. Denn da vor der Entzündung der Raum in der Röhre über dem Wasser theils mit Luft, theils mit der Materie des Pulvers, erfüllt gewesen, so muß sich nach der Entzündung daselbst noch die vorige Luft, nebst dem dadurch hervorgebrachten Fluido elastico weniger der von dem Dampf verzehrten Luft befinden. Folglich wird der Ueberschuß des Raums im letztern Fall dieses Fluidum elasticum, weniger der verzehrten Luft, und auch noch weniger dem Raum, welchen vorher das Pulver eingenommen, enthalten. Dahero dieser Ueberschuß, worauf die Sichtbarkeit des Experiments beruht, einerley seyn mußte, obgleich anfanglich viel oder wenig Luft in der Röhre gelassen worden. Unter diesen Umständen würde also die angeführte Ursache ungültig seyn; oder man müßte behaupten, daß die Dämpfe um so viel weniger Luft verzehren, je weniger zurück gelassen würde: in welchem Falle diese Ursache noch einiger massen bestehen könnte. Man könnte aber gleichwohl noch dagegen einwenden, ob die Dämpfe nicht in Ermangelung genugsamer Luft die elastische flüßige Materie, so aus der Loßbrennung des Pulvers entstanden, selbst angreifen, und davon einen Theil verzehren würden? angesehen diese Materie mit der Luft eine so sehr grosse Aehnlichkeit hat; und in diesem Fall mußte das Experiment eben so ungewiß bleiben, als wenn man viel Luft in der Röhre gelassen hätte. Weil aber dieser Umstand den gegenwärtigen Beweis nicht entkräftet, so ist unnöthig sich dabey länger aufzuhalten. Wollte man aber die wirkliche Quantität der aus dem Pulver entstandenen elastischen Materie auf diese Art bestimmen, so würde die gemeldete Verzehung der Luft nicht sonderlich hinderlich fallen, wenn man nur so gleich die Wirkung im Wasser bemerkte, indem vermuthlich dieselbe Verzehung nicht in einem Augenblick vor sich gehet, sondern einige Zeit erfordert.

ZWEYTER SATZ

Enthaltend eine ausführlichere Erklärung der Umstände, welche bey der Loßbrennung des Pulvers, sowohl in der Luft, als in einem Luft-leeren Raum, bey den beyden vorhergemeldten Experimenten beobachtet werden.

Wenn eine genugsame Quantität Pulver unter einem Recipienten, woraus die Luft völlig gepumpt worden, vermittelst eines glühenden Eisens angezündet wird, so fällt der Index mercurialis augenblicklich, steigt aber auch so gleich wiederum hinauf, und bleibet, nach einigen wenigen Oscillationen, deren keine ausser der ersten sehr merklich ist, auf einer Höhe, so weit geringer ist, als vor der Loßbrennung, dem Ansehen nach still stehen: und dieses ist auch der Punct, worauf wir in unsern Experimenten hauptsächlich gesehen. Wenn aber gleich das Quecksilber diesen scheinbaren Ruhe-Punct erreicht, so fährt dasselbe dennoch noch eine geraume Zeit fort zu steigen, obgleich so langsam, daß man keinen Unterschied so bald merken kann. Unter dessen geschieht dieses unvermerkliche Steigen je länger je langsamer, und hört auch endlich völlig auf, dergestalt, daß dasselbe bey einem Punct, so niedriger ist, als wo es vor der Entzündung des Pulvers gestanden, gänzlich fest stehen bleibt.

Fast eben diese Umstände ereignen sich, wenn Pulver, wie im zweyten Experiment beschrieben worden, in einer Röhre, ohne vorher die Luft ausgezogen zu haben, angezündet wird.

Alle diese Begebenheiten rühren nun von den verschiedenen Veränderungen her, welche in dem aus der Entzündung des Pulvers entstandenen Fluido elastico vorgehen. Der erste plötzliche Fall des Quecksilbers wird verursacht von der Gewalt dieser flüßigen Materie, so lange die Flamme dauret, als wodurch die Ausdehnungs-Kraft derselben noch vielmehr vermehret wird. So bald aber die Flamme und zugleich die heftige Erhitzung dieser Materie aufhöret, so wird auch die Elasticität derselben wiederum vermindert: welches, da es in sehr kurzer Zeit geschieht, so steigt auch das Quecksilber sehr bald nach dem ersten Fall wiederum herauf, welches Steigen so lange dauret, biß die elastische Materie mit dem Recipienten einerley Grad der Wärme erreicheret; und alsdenn scheint der Mercurius still zu stehen. Daß aber dieselbe noch nachgehends unvermerkt höher kommt, rühret theils von der darauf folgenden allmählichen Abkühlung des Recipienten, als welcher durch die Entzündung



des Pulvers auch einiger massen erhitzt worden, her, theils aber insonderheit von der Verzehrung eines Theils der Luft, so durch die schweflichten Dämpfe, wie oben angemerkt worden, geschieht, wodurch folglich die Drückung derselben auf den Mercurium vermindert wird.

ZUSATZ

In den folgenden Propositionen wird unwidersprechlich dargethan werden, daß die Gewalt des Schießpulvers nichts anders sey, als die Ausdehnungskraft dieser flüssigen Materie, welche durch die Entzündung des Pulvers in den angeführten Experimenten gezeuget worden. Wir werden auch über dieses zeigen, daß diese flüssige Materie in ihren Wirkungen einerley Gesetze mit andern elastischen Materien, und insonderheit mit der Luft, beobachtet. Dergestalt, daß was auch diese Gewalt immer für besondere Eigenschaften haben mag, die Wirkung doch einerley seyn würde, wenn man an statt derselben eine gleiche Quantität Luft setzen sollte: wofern nemlich diese Luft in eben denselben Raum eingeschlossen, und auf eben den Grad erhitzt würde, welchen jene flüssige Materie bey der Entzündung des Pulvers erhält. Hr. HALEs hat auch so gar befunden, daß diejenigen elastischen Fluida, welche durch aller Gattung Chymische Processe erzeugt werden, mit der Luft einerley Schwere haben, und dieses hat er insonderheit an derjenigen, welche aus dem Weinstein entsteht, sehr deutlich gewiesen. Er hat auch ferner gefunden, daß diese elastischen flüssigen Materien von der Wärme ausgedehnet, von der Kälte aber zusammen gezogen werden, und daß dieselben mit der Luft einerley Kraft erfordern, um in einen kleinern Raum zusammen gedrückt zu werden, daß auch über dieses dieselben, wenn sie von den schweflichten Dämpfen gereinigt werden, welches geschieht, wenn man dieselben durch das Wasser gehen läßt, nicht nur viele Monathe, sondern auch Jahre in einerley Zustand verbleiben, ohne einen merklichen Theil ihrer Elasticität zu verlieren. Wegen dieser und noch anderer Umstände hat er also nicht gezwweifelt, alle diese auf solche Art erzeugten elastischen Fluida für eine wirkliche und natürliche Luft zu halten. Wenn nun diese Meynung bey allen statt findet, so muß dieselbe insonderheit bey derjenigen, welche aus dem Pulver entspringet, gelten; massen dieselbe einig und allein aus dem Salpeter herkommt, indem weder der Schwefel noch die Kohlen solche in sich enthalten. Es ist aber bekannt, daß der Salpeter nichts anders ist, als eine mit Luft vermengte salzichte Erde. Denn eben dasselbe Stück Erde, wenn solches der

Luft auf eine vortheilhafte Art ausgesetzt wird, kann beständig immer neuen Salpeter hervor bringen. Ob aber gleich diese Meynung, daß die durch Entzündung des Pulvers erzeugte subtile elastische Materie nichts anders als eine natürliche Luft ist, der Wahrheit vollkommen gemäß scheint, so ist doch zu unserm Vorhaben einerley, ob dieselbe wahr oder falsch ist. Denn es ist uns genug, daß wir wissen, daß eine solche elastische Materie vorhanden ist, von welcher die Wirkungen des Pulvers ihren Ursprung haben. Dieselbe mag nun Luft sein, oder nicht, so behalten unsere Schlüsse doch eben dieselbe Kraft; indem dieselben auf die Eigenschaften, welche die Experimenten klarlich ausweisen, und nicht auf blosser Speculationen über die Natur derselben gegründet sind.

ANMERKUNG

Man kann sich also das Pulver als eine solche Materie vorstellen, welche eine über die massen stark zusammen gedrückte Luft in ihren Theilgen eingeschlossen hält, und dabey so beschaffen ist, daß diese Behältnisse durch die Entzündung plötzlich geöffnet, und die eingeschlossene Luft in Freyheit gesetzt wird, sich auszudehnen. Denn auf solche Art müssen eben diejenigen Wirkungen entstehen, welche bey den oben angeführten Experimenten wahrgenommen worden: so bald nemlich diese eingeschlossene und sehr stark zusammengepreßte Luft durch die plötzliche Entzündung von ihren Banden befreyet wird, so erhält dieselbe durch die grosse Hitze des Feuers einen starken Zuwachs ihrer Ausdehnungskraft, und treibet folglich im ersten Experiment das Quecksilber, im andern aber das Wasser viel weiter zurück, als die blosser Ausdehnungskraft zu verrichten vermögend wäre; da aber diese grosse Erhitzung gleichsam nur einen Augenblick dauret, so läßt auch diese grosse Elasticität so gleich wiederum nach, und verursacht also, daß das Quecksilber und Wasser gleich nach dem ersten Fall wiederum in die Höhe steigt. Weil aber hierauf noch einige Zeit das Aufsteigen sehr langsam fort-dauret, und die Ursache davon sowohl in der Verzehrung der Luft, welche von den schweflichten Dämpfen des Pulvers verursacht wird, als in der allmählichen Abkühlung des Recipienten verborgen liegt, so siehet man, daß diese Verzehrung sehr langsam vor sich gehe, und also die hierüber angestellten Experimenten nicht unrichtig mache, wie schon bey dem ersten Satz angemerkt worden. Da also nicht nur eben dieselbe Wirkung erfolgt, wenn



man annimmt, daß in dem Pulver eine sehr heftig zusammen gepreßte Luft befindlich ist, sondern auch die aus dessen Entzündung wirklich hervorgebrachte subtile elastische Materie alle übrige Eigenschaften der Luft vollkommen besitzt, so hat man um so viel weniger Ursache zu zweifeln, daß dieselbe nicht in der That Luft seyn sollte: da aus der Erfahrung genugsam bekannt, daß die Luft ein aus allen elastischen Ausdünstungen der irdischen Körper vermischtes Wesen sey, dahero man jederzeit eine jegliche flüßige Materie, welche mit der Luft einerley Schwere und einerley Elasticität hat, ohne zu fehlen für eine wahrhafte Luft halten kan. Man kan hieraus auch eine besondere Art von Veränderung abnehmen, welche in der Luft beständig vorgeht. Denn da durch die Gährung, wie bey der Loßbrennung des Pulvers geschieht, die in den Körpern eingeschlossene zusammen gepreßte Luft hervorbricht, und sich mit der offenen Luft vereinigt, so giebt es wiederum solche Körper, welche die Luft in sich schlucken, und in ihre Poros zusammen zu drucken vermögend sind, worinne dieselbe so lange bleibt, biß sie Gelegenheit findet, wiederum heraus zu brechen. Und auf eben diese Art kann man begreifen, wie der Salpeter und andere Körper, so eine solche zusammen gepreßte Luft in ihren Poris eingeschlossen halten, nach und nach erzeuget werden.

DRITTER SATZ

Die Elasticität oder Ausdehnungs-Kraft der aus dem Pulver erzeugten flüssigen Materie ist, wann die übrigen Umstände einerley sind, ihrer Dichte oder Zusammenpressung proportional.

Dieses folgt hieraus, daß wenn man unter eben demselben Recipienten zweymahl so viel Pulver anzündet, der Mercurius in der gläsernen Röhre auch zweymahl so tief herab sinkt. Da aber aus einer doppelten Quantität Pulver zweymahl so viel von dieser elastischen Flüssigkeit erzeugt wird, so muß dieselbe in dem von Luft gereinigten Recipienten zweymahl so dichte seyn. Weil nun ihre Elasticität durch den Fall des Mercurii angezeigt wird, so ist hieraus klar, daß mit einer doppelten Dichte auch eine doppelte Elasticität verknüpft ist. Wenn auch gleiche Portionen Pulver in verschiedenen Recipienten von ungleicher Grösse angezündet werden, auf eben die Art, wie oben beschrieben worden, so wird der Fall des Mercurii accurat um so

viel grösser seyn, je kleiner der Recipient gewesen. Je kleiner aber der im Recipienten befindliche Raum ist, je dichter muß die aus dem Pulver erzeugte Materie seyn; und also ist auch in diesem Fall die Elasticität der Dichte proportional.

Weil man aber in den gewöhnlichen Experimenten von dieser Art genöthigt ist, sehr wenig Pulver zu gebrauchen, und es dahero nicht möglich ist, die wahre Proportion zwischen der Dichte, und der damit verknüpften Ausdehnungs-Kraft, auf das genaueste zu bemerken: so nahm ich einen ziemlich grossen Recipienten, welcher ungefähr 520 Cubische Zoll hielt, und ließ auf ein darunter gesetztes glühendes Eisen, auf einmahl ein Drachma Pulver, nachdem die Luft völlig ausgepumpt worden, fallen; worauf das Quecksilber in dem Indice mercuriali accurat 2 Zoll tief fiel. Hernach glüete ich das Eisen zum zweyten mahl, und ließ, nachdem die Luft wieder wie vorher ausgezogen worden, 2 Drachmas Pulver darauf fallen, wodurch der Mercurius um $3\frac{3}{4}$ Zoll herab sank. Es fiel aber etwas wenig vom Pulver neben das Eisen, welches, weil der Boden des Recipienten etwas feucht war, nicht Feuer fassete; und dieses scheint die wahre Ursache zu seyn, warum das Quecksilber im letztern Fall nicht accurat zweymahl tiefer fiel, als im erstern. Wenn also im letztern Fall alles Pulver entzündet worden wäre, so würde der Mercurius um einen viertel Zoll tiefer, das ist, in allem auf 4 Zoll gefallen seyn, woraus wiederum erhellet, daß die Elasticität dieser aus dem Pulver erzeugten Materie ihrer Dichte proportional sey.

ANMERKUNG

Aus diesen Experimenten erhellet ziemlich klar, daß wenn die aus dem Pulver erzeugte elastische Materie in einem zwey mahl, oder drey mahl, oder vier mahl kleinern Raum eingeschlossen wird, ihre Elasticität auch 2, 3 oder 4 mahl grösser werde. Denn ungeachtet man noch zweifeln könnte, ob sich diese Proposition in der That so verhalte, oder ob dieselbe nur beynahe statt finde, inmaßen durch diese Experimente eine geringe Abweichung von dieser Regel nicht beobachtet werden könnte, so hat man doch diese Proposition durch eine andere Art Versuche in der Luft richtig befunden. Da nun diese subtile Materie von der Luft nicht unterschieden ist, so hat man auch keine Ursache, an der Wahrheit dieser Proposition zu zweifeln. Dieses verstehet



sich aber nur, wenn der Unterschied zwischen den verschiedenen Zusammendrückungen, deren Elasticität man untersuchen will, nicht allzugroß ist. Denn ob man gleich versichert seyn kann, daß wenn die gewöhnliche Luft in einen zehen mahl kleinern Raum gebracht wird, ihre Elasticität auch ziemlich genau zehen mahl grösser werde, so folget daraus doch noch nicht, daß eben diese Proposition auch bey den stärksten Zusammendrückungen unverändert bleibe, indem es gar wohl möglich wäre, daß zum Exempel eine hundert mahl dichtere Luft etwas mehr oder weniger, als hundert mahl elastischer wäre. Und dahero wird hierdurch die oben angeführte Muthmassung des Hrn. BRNOULLI, welcher glaubt, daß eine 1000 mahl dichtere Luft vielleicht eine 10000 mahl grössere Elasticität haben könne, noch keineswegs bestritten. Weil sich nun in dem Pulver eine so sehr zusammen gepreßte Luft befindet, deren Dichte die Dichte der natürlichen Luft etliche 100 mahl übertrifft, so bleibet noch sehr zweifelhaft, ob die Elasticität derselben accurat eben so vielmahl grösser sey, als der natürlichen. Dahero kann man nicht sagen, daß dieser Satz des Autoris ohne Einschränkung mit der Wahrheit übereinstimme: sondern, wenn der angeführte Beweis gelten soll, so müste man den Satz dergestalt einschräncken, daß die Elasticität der Dichte der Luft nur alsdenn proportional sey, wenn sich in der verschiedenen Dichte kein allzugrosser Unterschied befindet.

VIERTER SATZ

Die Elasticität und Menge dieser subtilen Materie, welche aus einer gegebenen Quantität Pulver gezeuget wird, genau zu bestimmen.

Weil die verschiedenen Arten von Pulver auch verschiedene Quantitäten von dieser subtilen Materie, nach dem Unterschied ihrer Güte, hervorbringen, so ist nöthig, ehe sich etwas in diesem Stück bestimmen läßt, daß man sich von der Art desjenigen Pulvers, welches man bey der Untersuchung brauchen will, versichere. Ich habe zu diesem Ende diejenige Sorte erwählt, welche zum Gebrauch der Regierung bereitet zu werden pflegt; als wobey, kraft eines Contracts, beständig einerley Proportion der Materialien beybehalten werden muß. Diese Art ist also zu Anstellung der Versuche weit bequemer, als die andern Arten, welche nach eines jeden Gutdünken gemacht werden.

Nachdem also die Art des Pulvers, welches zu diesen Experimenten gebraucht werden soll, festgesetzt worden, so müssen wir noch diese nachfolgende zwey Grundsätze, welche in dem Zusatz des zweyten Satzes erinnert worden, voraus setzen. Erstlich, daß die Elasticität dieser subtilen Materie durch die Hitze vermehret, durch die Kälte aber vermindert werde, nach eben den Gesetzen, welche man bey der Luft wahrnimmt. Zweytens, daß die Dichte dieser Materie, und folglich auch ihre Schwere, einerley sey mit einer gleichen Quantität Luft, welche eben den Grad der Elasticität und Wärme besitzt.

Aus dem in dem vorigen Satz angeführten Experiment erhellet also, daß ein Drachma oder $\frac{1}{16}$ Untz Avoir du poise, oder 27 Gran Troy Gewicht Pulver das Quecksilber um zwey Zoll fallen macht, da solches vorher beynahe 30 Zoll hoch gestanden. Wenn man also 15 mahl mehr Pulver, nemlich 410 Gran Troy Gewicht genommen hätte, so würde das Quecksilber gänzlich hinab gefallen, und also die im Recipienten befindliche subtile Materie mit dem Druck der natürlichen Luft im Gleichgewicht gestanden seyn, folglich mit der Luft, in der wir leben, einerley Elasticität gehabt haben. Der Raum des Recipienten hielt in seiner Ausmessung 520 cubische Zoll, woraus folget, daß 410 Gran Pulver durch ihre Entzündung 520 cubische Zoll einer subtilen Materie hervorbringen, welche mit der ordentlichen Luft einerley Grad der Elasticität haben. Folglich wird eine ganze Untze Pulver ungefehr 575¹⁾ cubische Zoll von einer solchen subtilen Materie erzeugen.

Um aber von der Dichte dieser subtilen Materie urtheilen zu können, so ist zu merken, daß ein Theil der jetzt gefundenen Elasticität von der Hitze des im Recipienten befindlichen glühenden Eisens verursacht worden. Weilen nun die gemeine Wärme des Recipienten merklich kleiner gewesen, als des siedenden Wassers, welcher Grad der Wärme die Elasticität der Luft ungefehr um den dritten Theil zu vermehren pflegt: so habe ich aus allen Umständen geschlossen, daß der aus diesem Grund entstandene Zuwachs der Elasticität den fünften Theil möchte beygetragen haben. Wenn also der Recipient mit der ausseren Luft einerley Grad der Wärme gehabt hätte, so würde das Quecksilber, an statt 2 Zoll, nur um $1\frac{3}{5}$ Zoll haben fallen müssen. Man muß daher auch die obgefundenen 575 Zoll um den fünften Theil vermindern, welches noch 460 cubische Zoll gibt. Eine solche Quantität von

1) Das englische Original enthält diese Zahl auch. Die Rechnung ergibt jedoch 554 $\frac{3}{4}$.

F. R. S.



dieser subtilen elastischen Materie, welche mit der Luft einerley Grad der Elasticität und Dichte hat, ist derowegen in einer Unze Pulver enthalten, und wird daraus durch die Entzündung hervorgebracht. Nun aber wägen 460 Cubische Zoll gemeine Luft ungefähr 131 Gran, und da eine Unze, dergleichen ich gebraucht habe, 437 Gran halt, so trägt diese im Pulver befindliche subtile Materie am Gewicht den $\frac{131}{437}$ Theil, oder beynahe $\frac{3}{10}$ des ganzen Gewichts des Pulvers aus.

Wenn man die Quantität dieser subtilen Materie, in Ansehung des Raums, welchen das Pulver einnimmt, zu wissen verlangt, so ist zu merken, daß 1 Unze und 1 Drachm. oder 17 Drachm. Avoir du poise Pulver, wenn dasselbe wohl zusammen gedrückt wird, 2 Cubische Zoll ausfüllen. Nach obiger Rechnung aber müssen 17 Drachm. und also 2 Cubische Zoll Pulver $488\frac{3}{4}$ cubische Zoll einer solchen subtilen Materie, welche der Luft gleich ist, in sich enthalten. Dahero ist in einem cubischen Zoll Pulver so viel von dieser Materie eingeschlossen, welche, wenn sie sich so weit ausdehnet, biß sie mit der natürlichen Luft einerley Dichte und Elasticität erhält, einen Raum von 244 cubischen Zollen ausfüllen wird.

Um aber diese Bestimmung noch mehr zu bekräftigen, so habe ich zu verschiedenen mahlen eine Drachmam Pulver in einem Luft-leeren Recipienten, welcher 470 cubische Zoll hielt, mittelst eines Brennglases verbrennet. Diese Versuche waren etwas mühsamer, als die vorigen, in welchen das Pulver durch Hülfe eines glühenden Eisens angezündet worden. Denn es dauret bißweilen sehr lange, ehe das Pulver Feuer fangen will, in welcher Zeit bißweilen Luft in den Recipienten hineindringen, und die folgende Ausmessung unrichtig machen kan. Ueber dieses blieb auch gemeinlich wohl der vierte Theil des Pulvers unentzündet, und wurde im Recipienten herum zerstreuet. Um also hierinne eine Gewißheit zu erlangen, so sammelte ich die unverbrennten Pulverkörner zusammen, wog dieselben, und vermehrte den geschehenen Fall des Quecksilbers nach dieser Proportion, damit derselbe sich bey einem jeglichen Experiment auf eine gantze Drachmam Pulver schickte. Solchergestalt fand ich bey dem ersten Experiment $2\frac{1}{10}$; bey dem andern $1\frac{8}{10}$; bey dem dritten $2\frac{1}{10}$ und bey dem vierten $1\frac{85}{100}$ Zoll. Hiervon nahm ich ein Mittel, und schloß, daß der von einer Drachma Pulver verursachte Fall des Quecksilbers seyn müßte $1\frac{96}{100}$ Zoll, für den Recipienten, welcher 470 cubische Zoll hielt. Hieraus folget, daß eine Drachma Pulver in dem vorher gebrauchten Recipienten von 520 cubischen Zollen das Quecksilber nur $1\frac{77}{100}$ Zoll

würde haben fallen machen. Was nun in diesen Experimenten wegen der im Recipienten entstandenen Hitze muß abgezogen werden, ist sehr geringe. Denn nachdem ich ein klein Thermometer unter den Recipienten gesetzt, so fand ich, daß die Hitze nicht grösser war, als die gewöhnliche Sommer-Wärme, welche die Luft gemeinlich um den zwölften Theil mehr ausdehnet. Wenn man nun $1\frac{77}{100}$ um den zwölften Theil vermindert, so kommen $1\frac{62}{100}$ Zoll heraus, welches sehr wenig von $1\frac{3}{5}$ oder $1\frac{60}{100}$ Zoll, die vorher gefunden worden, unterschieden ist. Dahero der vorhergemachte Schluß gultig bleibt, daß sich die in einer jeglichen Quantität Pulver enthaltene subtile Materie, wenn dieselbe sich so weit ausdehnet, biß sie mit der natürlichen Luft einerley Dichte erhält, einen 244 mahl grössern Raum einnimmt, als das Pulver, woraus dieselbe entstanden.

Diese Verhältniß stimmt auch sehr wohl mit dem Experiment überein, welches HAUKEBEE in seinem *Phys. Mech. Experiments* p. 81 anführet¹⁾. Denn er fand, daß ein Gran Pulver durch die Entzündung einen cubischen Zoll von der elastischen und der Luft ähnlichen Materie hervor bringe. Wenn man aber die Verhältniß des Raums, welchen das Pulver einnimmt, zu dem Raum, welchen die daraus erzeugte subtile Materie, nachdem dieselbe mit der natürlichen Luft einerley Dichte erreicht, erfüllet, zu wissen verlangt, so wird dieselbe von HAUKEBEE angegeben, wie 1 zu 232; welche Abweichung von der unsrigen so geringe ist, daß dieselbe bloß allein von dem Unterschied des Pulvers mag hergekommen seyn. Hieraus können wir auch den Schluß ziehen, daß die äussere Luft in der Erzeugung dieser subtilen Materie aus dem Pulver keine Veränderung verursache. Denn wann wir des HAUKEBEE'S Versuche mit unsern eigenen vergleichen, so erhellet, daß aus dem Pulver eben so viel dergleichen subtile Materie in der Luft, als in einem Luft-leeren Raum, hervor gebracht worden.

Wenn also diese aus dem Pulver erzeugte subtile Materie sich nicht ausdehnen könnte, sondern in eben dem Raum, welchen vorher das Pulver eingenommen, eingeschlossen bliebe, so würde dieselbe 244 mahl dichter seyn, und folglich auch eine 244 mahl grössere Elasticität haben, als die natürliche Luft, wenn dieselbe nemlich mit der Luft auch einerley Grad der Wärme haben sollte. Allein, da dieselbe durch die Entzündung sehr erhitzt wird, so muß auch in diesem Zustande ihre Elasticität noch weit grösser seyn.

1) Siehe die Anmerkung 1 p. 50. F. R. S.



Hieraus folget also unstreitig, daß, wenn eine Quantität Pulver in einem verschlossenen Raum, welcher damit völlig angefüllt wird, entzündet werde, die Seiten dieses Raums im ersten Augenblick mit einer Gewalt gedrückt werden müssen, welche weit mehr, als 244 mahl grösser ist, als der Druck der natürlichen Luft, wegen des grossen Grads der Erhitzung, worinne sich diese Materie gleich nach der Entzündung befindet. Wie groß aber die Vermehrung der von dieser Hitze entstandenen Elasticität eigentlich sey, soll in dem folgenden Satze untersucht werden.

ANMERKUNG

Es kan hier erstlich wegen des Gewichts, welches der Autor bey seinen Versuchen gebraucht, ein Zweifel entstehen. Denn er thut von zweyerley Arten, welche in Engelland gebräuchlich sind, Meldung, nemlich des Troy Gewichts, und des Avoir du poise Gewichts. Das erstere wird zu Abwägung des Goldes, Silbers, und anderer kostbaren Waaren, gebraucht: davon pflegt ein Pfund in 12 Untzen eingetheilt zu werden, deren eine sich zur Pariser Untze verhält wie 480 zu $472\frac{1}{2}$; und hält folglich eine solche Untze $585\frac{1}{2}$ Pariser Gran. Das Avoir du poise Gewicht wird bey groben Waaren gebraucht, und ein Pfund davon in 16 Untzen eingetheilt, eine Untze aber weiter nach des EISENSCHMID¹⁾ Tractat *De Ponderibus et mensuris veterum* in 8 Drachmas, und 24 Scrupel: und hält eine solche Untze 534 Pariser Gran. In den hier angeführten Experimenten nennet aber Hr. ROBINS den sechszehnten Theil einer Untze eine Drachmam, daß also nach ihm eine Drachma nur halb so groß, als nach dem EISENSCHMID wäre. Wir können aber hierinne, wegen der in andern Stücken hervorleuchtenden Accuratesse keinen Irrthum vermuthen; und da die Eintheilung und Benennung der Gewichte willkürlich ist, auch alle in Engelland übliche Arten uns vielleicht nicht bekannt sind, so können wir dasjenige, was unser Autor von Drachmis sagt, gar wohl von halben Drachmis verstehen. Wenn aber die Experimenten ihre Richtigkeit haben, wie wir daran nicht zweifeln wollen, so braucht die Sache weiter auch keiner besondern Art von Maß oder Gewicht. Denn wann wir uns einen Raum von einem cubischen Schuh vorstellen, welcher völlig mit demjenigen

1) J. C. EISENSCHMID (1656—1712), *De ponderibus et mensuris veterum*, Argentorati 1708, p. 14. F. R. S.

Pulver, so unser Autor Gouvernements-Pulver nennet, angefüllt ist, so ist darinne so viel von der hier beschriebenen elastischen subtilen Materie enthalten, welche, biß sie mit der natürlichen Luft einerley Dichte erhält, einen Raum von 244 cubischen Schuhen einzunehmen vermögend ist. Und da diese Materie, so lange sie sich in dem Pulver so sehr zusammen gepreßt befindet, einen Theil des Gewichts derselben ausmacht, so beträgt, wie wir gesehen, dieser Theil $\frac{3}{10}$ des Gewichts. Dahero sind je in 10 Pfund Pulver 3 Pfund zusammen gepreßte Luft enthalten.

Ferner ist hier zu merken, daß ob gleich die aus dem Pulver in einem verschlossenen Raum erzeugte Luft 244 mahl dichter ist, als die natürliche Luft, dennoch aus dem vorigen noch nicht folgt, daß die Elasticität derselben auch 244 mahl grösser sey, als der natürlichen: indem wie schon gemeldet, aus den darüber angestellten Experimenten nicht mehr folgt, als daß diese Proportion statt finde, wann die Luft nicht allzu stark zusammen gepreßt wird. Es könnte also diesem ungeachtet gar wohl seyn, daß eine 244 mahl dichtere Luft eine mehr als 300 mahl stärkere Ausdehnungs-Kraft besässe; welcher Zweifel durch andere Experimente ausgemacht werden muß. Im übrigen, da auch die Dichte der natürlichen Luft in den verschiedenen Jahreszeiten ziemlich veränderlich ist, so hätte auch bey einem jeglichen Experiment der Grad der Wärme bemerkt werden können. Weil man aber zu einer so vollkommenen Erkenntniß der Gewalt des Pulvers nicht gelangen kan, daß man nöthig hätte auf solche Kleinigkeiten Acht zu haben, so ist diese Unterlassung wohl zu entschuldigen.

FÜNFTER SATZ

Den Zuwachs der Elasticität der Luft zu bestimmen, wann dieselbe auf den Grad des glühenden Eisens erhitzt wird.

Um dieses zu bestimmen, nahm ich ein Stück von einem Musketen-Lauf, ungefehr 6 Zoll lang, und ließ dasselbe an einem Ende völlig zuschliessen, das andere Ende aber spitzig ausziehen, daß die Oefnung im lichten nicht mehr als $\frac{1}{8}$ Zoll austrug. Diese Röhre ließ ich bey einem Schmidt ganz roth glühend machen, und tauchte dieselbe mit dem offenen Ende abwärts gekehret in ein Gefäß voll Wasser, so lange, biß sie völlig abgekühlet war.



Hierauf nahm ich dieselbe mit aller Behutsamkeit wiederum aus dem Wasser, und wog das Wasser, welches in während der Abkühlung hinein getreten war, auf das genaueste. In drey verschiedenen nach einander angestellten Versuchen betrug das Gewicht dieses Wassers 610, 595 und 600 Gran: die ganze Röhre aber hielt 796 Gran Wasser. Dahero in diesen Experimenten noch so viel Luft in der Röhre geblieben, als 186, 201 und 196 Gran Wasser einnehmen, und dieses war auch ohne Zweifel alle Luft, welche in der Röhre, so lang dieselbe glühte, befindlich war. Folglich verhält sich die Elasticität der Luft, wenn dieselbe auf den äussersten Grad des rotglühenden Eisens erhitzt wird, zur Elasticität eben derselben Luft, wenn sie mit der natürlichen Luft einerley Grad der Wärme angenommen, wie der gantze Inhalt der Röhre 796 zu dem vor der abgekühlten Luft eingenommenen Theil, der in den drey angestellten Versuchen war 186, 201 und 196; und wenn wir dazwischen ein Mittel nehmen, wie 796 zu $194\frac{1}{3}$, oder bey nahe, wie 4 zu 1.

Die Hitze, welche der Röhre bey diesen Versuchen gegeben wurde, war derjenige Grad, welchen die Schmiede die weisse Hitze zu nennen pflegen. Uebrigens muß man hierbey verhüten, daß bey dem Ablöschen der Röhre keine wässerigte Dünste hinein dringen, und die darinne noch befindliche Luft heraus treiben, wodurch das ganze Experiment unrichtig gemacht würde. Zu diesem Ende ließ ich einen eisernen Drath machen, welcher in die Oefnung der Röhre genau paßte, und damit verstopfte ich jederzeit die Röhre, ehe ich sie aus dem Feuer nahm, und ließ auch denselben so lang darinne, biß die Abkühlung im Wasser geschehen war. Hierauf zog ich erst unter dem Wasser diesen Drath heraus, damit das Wasser herein gehen, und den von Luft entledigten Raum anfüllen konnte.

ANMERKUNG

Da die Luft, welche die Röhre, so lange sie glühend war, gänzlich erfüllte, nach der Abkühlung nur noch den vierdten Theil einnahm, so folget hieraus unstreitig, daß wenn die Luft in einem verschlossenen Raum biß auf den Grad des glühenden Eisens erhitzt wird, ihre Elasticität vier mahl so groß seyn werde, als vorher, und daß dieselbe also mit der natürlichen Luft nicht eher im Gleichgewichte seyn könne, als biß sie sich in einen 4 mahl grösseren Raum ausgebreitet. Ob nun gleich dieses bey der natürlichen Luft seine völlige Richtigkeit haben mag, so hat man doch noch grosse Ursache

zu zweifeln, ob eine etliche hundert mahl dichtere Luft, dergleichen im Pulver eingeschlossen ist, gleichfalls eine 4 mahl grössere Elasticität bekomme, wenn dieselbe auf eben den Grad erhitzt wird. Da es also noch ungewiß scheint, ob eine Luft, welche etliche hundert mahl dichter ist, als die natürliche, mit derselben aber einerley Grad der Wärme hat, auch accurat eben so vielmahl mehr elastisch sey, so scheint noch viel mehr ungewiß zu seyn, ob die Elasticität einer so dichten Luft, wenn dieselbe auf den Grad des glühenden Eisens erhitzt wird, just 4 mahl grösser werde, weil man diese Vermehrung bey der gewöhnlichen Luft wahrgenommen: weswegen bey den folgenden Untersuchungen nöthig seyn wird, wohl auf diese Umstände Achtung zu geben, damit nicht alles als gewiß und bewiesen angenommen werde, woran man noch wichtige Ursachen zu zweifeln haben kan.

SECHSTER SATZ

Zu bestimmen, um wie viel die Elasticität der subtilen Materie, welche aus dem Pulver erzeugt wird, noch durch die Hitze, womit die Entzündung begleitet wird, vermehrt werde.

Weil diese subtile elastische Materie mit der Luft eine solche Aehnlichkeit hat, daß beydes Elasticität und Dichte durch die Wärme und Kalte auf eine gleiche Art verändert werden; wann wir setzen, daß bey Entzündung des Pulvers eine so grosse Hitze entsteht, welche derjenigen, so an dem glühenden Eisen verspuhret wird, gleich kommt: so muß die Elasticität der aus dem Pulver erzeugten subtilen Materie im ersten Augenblicke der Entzündung viel grösser seyn, als nachgehends, wann dieselbe schon mit der äusseren Luft auf einerley Grad der Wärme gekommen, und das in der Proportion wie 796 zu $194\frac{1}{3}$ oder bey nahe wie 4 zu 1, das ist, im ersten Augenblicke mußte die Elasticität dieser subtilen Materie wegen der Hitze 4 mahl grösser seyn, als sie in Ansehung ihrer blossen Dichte seyn würde.

Daß aber die Hitze, welche bey Entzündung einer merklichen Menge Pulvers entsteht, nicht geringer ist, als eines glühenden Eisens, solches ist klar aus dem Ansehen der Flamme, und aus der Natur der Materien, woraus das Pulver besteht. Denn dieses Feuer ist ohne Zweifel eben so kräftig als



gemeines Feuer; und da bekannt ist, daß ein jegliches Feuer hinreichend ist, Eisen zum Glühen zu bringen, so kan auch dem Feuer selbst ein gleicher Grad der Hitze nicht abgesprochen werden.

Wann wir also annehmen, daß die Flamme, welche bey Entzündung des Pulvers entsteht, keine geringere Hitze als glühendes Eisen bey sich führe, und daß die Elasticität der aus dem Pulver entstandenen subtilen Materie davon nach der Verhältniß wie $194\frac{1}{3}$ zu 796 vermehret werde, wie in dem vorigen Satz gefunden worden: so folget hieraus, daß, da diese Materie, so lange sie in eben dem Raum eingeschlossen bleibt, 244 mahl dichter ist, als die gemeinere Luft, ihre Elasticität nicht nur 244 mahl, sondern wegen der Erhitzung $\frac{2388}{583}$ mahl 244 mahl, das ist $999\frac{1}{3}$ mahl grösser seyn müsse, als die Elasticität der gemeinen Luft. Welche Vermehrung aus vorher angeführten Gründen genugsam erhellet.

Hieraus kan also die wahre Grösse der Gewalt des Pulvers im ersten Augenblick der Entzündung angezeigt werden. Denn, da diese subtile Materie, welche daraus erzeugt wird, eine elastische Kraft hat, so $999\frac{1}{3}$ oder nach einer vollen Zahl 1000 mahl grösser ist, als der gemeinen Luft, die gemeine Luft aber auf eine gegebene Fläche einen Druck ausübet, welcher dem Gewicht der Athmosphäre gleich ist, als mit welcher die Elasticität im Gleichgewicht steht: so muß die Gewalt des entzündeten Pulvers im ersten Augenblick, ehe sich dieselbe ausdehnet, 1000 mahl grösser seyn, als der Druck der Athmosphäre; und folglich muß diese Gewalt, welche auf eine Fläche von einem Quadrat-Zoll ausgeübet wird, über 6 Tonnen am Gewicht betragen. Diese Gewalt aber nimmt gleich ab, so bald sich diese elastische Materie mehr ausdehnet, und ihre Erhitzung vermindert wird, wie in den vorigen Sätzen gezeigt worden.

ZUSATZ

Ob wir hier gleich angenommen haben, daß die Hitze des Pulvers, wann dasselbe in einer ziemlichen Menge angezündet wird, der Hitze des Eisens, wann dasselbe glühend roth gemacht wird, oder dem Anfang der weissen Hitze gleich komme, welche Bestimmung noch im folgenden durch manche Experimente bekräftiget werden wird: so ist doch kein Zweifel, daß das Feuer, welches bey der Entzündung entstehet, gleich allen andern Feuern nicht etwas variiren sollte, je nachdem sich dabey mehr oder weniger verbrennliche Materie befindet; und es ist leicht abzunehmen, daß, nach der Quantität

des Pulvers, welche zugleich angezündet wird, die Flamme alle verschiedene Grade der Hitze, nemlich von demjenigen, welcher das Eisen glühend roth macht, biß zu demjenigen, welcher die Metallen in Glas zu verwandeln vermögend ist, haben könne. Allein da die zu diesem letztern Ende erforderete Menge Pulver so groß ist, daß der Fall, da so viel Pulver auf einmahl angezündet werden sollte, im Kriegswesen niemahls vorkommt, so werden wir durch unsere folgende Experimente finden, daß wir uns nicht weit von der Wahrheit entfernen, wenn wir annehmen, daß die Hitze, welche bey den gewöhnlichen Quantitäten Pulver, so zugleich angezündet zu werden pflegen, entstehet, beynahe einerley sey mit der grössten Hitze, welche das roth glühende Eisen haben kann, wann wir nur in unsern Untersuchungen diesen Grad der Hitze, bey grösseren Quantitäten Pulver etwas vermehren, bey kleinern aber etwas vermindern.

ANMERKUNG

Vielleicht werden sich einige wundern, daß eine jede Flamme einen eben so grossen Grad der Hitze in sich haben soll, als glühendes Eisen, angesehen man die Hand ohne Schaden geschwind durch das Feuer ziehen, kein glühendes Eisen aber ohne Gefahr anrühren kann. Es ist aber hierbey zu merken, daß ungeachtet zwey Körper einerley Grad der Wärme haben, uns dennoch derjenige, welcher dichter ist, dem Gefühl nach viel wärmer vorkomme, als der dünnere. Eine gleiche Bewandniß hat es auch mit der Kälte. Denn es ist jedermann bekannt, daß uns im Winter das Wasser, oder ein Eisen, welches lange in der Kälte gelegen, viel kälter vorkomme, als die Luft, obgleich nach Anzeige des Thermometers bey allen einerley Grad der Kälte befindlich ist. Die Ursache hiervon ist auch leicht zu begreifen. Denn, wenn wir einen Körper anrühren, dessen Grad der Wärme oder Kälte merklich von dem Grad unsers Gliedes unterschieden ist: so ist unsere Empfindung um so viel stärker, je mehr Theilchen des Körpers uns berühren, indem ein jegliches Theilchen eine Aenderung in unserm Gliede verursacht. Weil nun ein dichter Körper in eben demselben Raum mehr Theilchen enthält, so wird auch die Empfindung, so aus dessen Berührung in uns entsteht, viel stärker, und dahero kommt uns ein kaltes Eisen viel kälter vor, als Wasser oder Luft, ob sich gleich in beyden einerley Grad der Kälte befindet. Hieraus wird man nun leicht verstehen, warum uns ein glühendes Eisen heisser scheine,



als das Feuer. Wenn man aber ferner bedenket, daß das Eisen seine ganze Hitze von dem Feuer erhalten, so muß man auch zugeben, daß eben derselbe Grad der Hitze im Feuer stecke, uns aber nur deßwegen nicht so heftig scheine, weil die Flamme ein sehr rarer oder dünner Körper ist. Ob aber gleich die Flamme einen so hohen Grad der Hitze in sich hat, so wird doch einige Zeit erfordert, ehe sie solche einem Körper mittheilen kann, und zwar um so viel mehr, je grösser und je dichter der Körper ist, den man ins Feuer legt. Da nun die oben gemeldte elastische Materie sehr dünne ist, so ist leicht zu erachten, daß dieselbe gleichsam in einem Augenblick eben den Grad der Hitze annehmen müsse, welchen die Flamme hat: daß dieser Grad aber sehr heftig seyn müsse, läßt sich daraus abnehmen, daß eine Canone, wenn aus derselben etliche mahl hintereinander geschossen worden, einen solchen Grad der Hitze bekommt, daß man genöthiget ist, dieselbe mit Wasser abzukühlen. Da nun bey einem jeden Schuß die Flamme, von welcher diese Wärme entsteht, nur einen Augenblick dauret, so sieht man wohl, daß diese Hitze sehr groß seyn müsse, um einem Stück in so kurzer Zeit einen so merklichen Grad der Wärme mittheilen zu können. Im übrigen sind in der hier befindlichen Bestimmung zwey Sätze, unter dem Schein, als wenn dieselben schon bewiesen wären, angenommen worden, an welchen man gleichwohl noch grosse Ursache zu zweifeln haben kann, wie schon vorher angemerkt worden. Erstlich ist nemlich noch ungewiß, ob eine so sehr zusammen gepreßte Luft, welche 244 mahl dichter ist als die natürliche, auch accurat 244 mahl mehr elastisch sey. Hernach ist auch noch nicht ausgemacht, ob eine so dichte Luft von der Hitze eines glühenden Eisens gleichfalls eine 4 mahl grössere Elasticität erhalte, weil solches bey der natürlichen, und auch nicht allzusehr zusammen gepreßten Luft, wahrgenommen worden. Es wird also rathsam seyn, diese Sätze nur so lange als richtig anzunehmen, biß aus der Vergleichung der folgenden Experimenten mit der hierauf gegründeten Theorie erhellen wird, ob dieselben mit der Wahrheit bestehen können oder nicht. Es wird also darauf ankommen, ob man vermittelst dieser Sätze im Stande seyn wird, alle aus der Erfahrung erkannte Wirkungen des Pulvers zu erklären, wenn man diese beyden Sätze als gewiß annimmt, oder ob dieselben entweder eine allzugrosse oder allzukleine Wirkung anzeigen werden. Nach des Hrn. Prof. DANIEL BERNOULLI Meynung müßte diese vom Autore bestimmte Kraft des Pulvers viel zu klein seyn, diejenigen Wirkungen, welche uns die Erfahrung vorlegt, hervorzubringen; wir haben aber schon bemerkt, daß derselbe die Resistenz der Luft in seinen Berechnungen

nicht so groß gesetzt, als der Autor dieselbe zu seyn behauptet, dahero man noch einige Hoffnung haben kann, daß die obgedachten beyden Sätze dem ungeachtet der Wahrheit noch gemäß seyn könnten. Dieses soll also in den folgenden Anmerkungen mit mehrerem Fleiß untersucht werden.

SIEBENTER SATZ

Wenn die Länge und Weite eines Stückes, nebst der Schwere der Kugel und der Ladung des Pulvers, bekannt sind, die Geschwindigkeit zu finden, mit welcher die Kugel aus dem Stücke herausgetrieben wird; es wird aber auch die Elasticität des Pulvers im ersten Augenblicke der Entzündung für bekannt angenommen.

Um diese Frage aufzulösen, werden wir uns der beyden folgenden Grundsätze bedienen.

I. Daß die Wirkung des Pulvers auf die Kugel aufhöre, so bald die Kugel aus dem Stück heraus getrieben worden.

II. Daß alles Pulver der Ladung entzündet und in eine elastische Materie verwandelt werde, ehe die Kugel merklich von ihrer ersten Stelle verrückt worden.

Wir werden diese beyden Articul im beygefügten Zusatz ausführlich beweisen: inzwischen aber dieselben als gewiß annehmen, aus welchen die nachfolgende Auflösung hergeleitet wird.

Es sey AB (Fig. 1, p. 70) die Axe der Canone, A der Grund und B die Oeffnung des hohlen Cylinders oder der Seele, CD der Diameter derselben, und $CDEG$ der Theil, welcher mit der Ladung des Pulvers angefüllt worden. Ferner setze man, daß die Kugel mit ihrem hintern Theil auf dem Pulver in EG aufliege, so wird der Druck, welchen die Kugel nach der Entzündung empfangt, auf einen Circul geschehen, dessen Diameter dem Diameter der Kugel gleich ist. Dahero die Kraft, womit die Kugel in der Direction FB fortgestossen wird, aus ihrem Diameter leicht bestimmt wird. Nun ziehe man die Linie FH perpendicular auf FB , und AJ derselben parallel, und beschreibe durch das Punct H eine Hyperbel $KHNQ$ zwischen den Asymptoten AJ und AB . Wenn man sich nun die Kraft, mit welcher die Kugel in F fortgetrieben wird, durch die Linie FH vorstellt, so wird die Linie MN die Kraft ausdrücken, womit die Kugel, wenn sie biß in M fortgerückt, nach



der Direction MB gestossen wird. Denn wenn sich die aus dem Pulver erzeugte elastische Materie biß in M ausdehnet, so wird sich ihre Elasticität zu derjenigen, welche sie anfänglich, da sie noch im Raum AF eingeschlossen war, verhalten, wie die Linie AF zu AM , das ist wie MN zu FH , wie aus

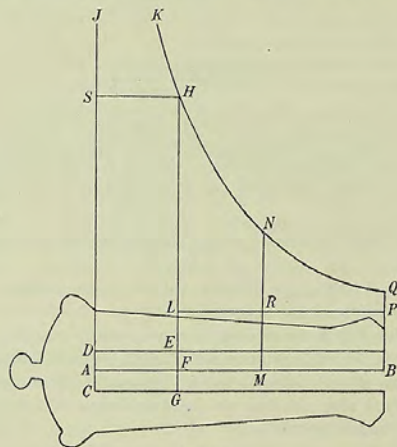


Fig. 1.

der Natur der Hyperbel bekannt ist. Diese Linien zeigen zwar eigentlich die Verhältniß der Dichte der subtilen Materie; wir haben aber im zweyten Satz dargethan, daß die Elasticität mit der Dichte einerley Proportion halte. Daher wann FH die Gewalt, welche die Kugel in F fortreibt, andeutet, so wird MN die Gewalt, welche auf die Kugel in M würket, anzeigen.

Da wir nun die Gewalt in F bekannt setzen, und die Schwere der Kugel gleichfalls gegeben ist, so ist auch die Verhältniß der Kraft, womit die Kugel an einem jeglichen Ort in dem Stück fortgestossen wird, zu ihrem Gewicht bekannt. Man nehme also $FH:FL$ wie die fortstossende Gewalt in F zum Gewicht der Kugel, und ziehe die Linie LP parallel mit FB , und alsdenn wird sich in einem jeglichen Punct M die Applycate der Hyperbel

MN zum Theil MR verhalten, wie die an diesem Ort befindliche Kraft zum Gewicht der Kugel. Folglich wird kraft der 39ten Prop. Lib. I. NEWT. *Princ. Math. Phil. Nat.* die hyperbolische Area $FHQB$ das Quadrat der Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel von der Gewalt des Pulvers aus der Canone geschossen wird, vorstellen, die rechtlinichte Area aber $FLPB$ wird auf gleiche Weise das Quadrat der Geschwindigkeit ausdrücken, mit welcher die Kugel ausgetrieben werden würde, wenn die fortreibende Gewalt allenthalben der Schwere der Kugel gleich wäre; und also da diese beyden Figuren bekannt sind, so wird auch die Verhältniß zwischen diesen Geschwindigkeiten bekannt seyn. Die letztere Geschwindigkeit aber, welche die Kugel in ihrer Bewegung durch die Linie FB bekommen würde, wenn dieselbe beständig von einer ihrer Schwere gleichen Gewalt fortgestossen würde, ist eben diejenige, welche die Kugel, wenn sie aus einer Höhe, so der Linie FB gleich ist, frey herunter fallen sollte, bekommen würde. Da nun diese Geschwindigkeit bekannt ist, so wird dieselbe zu derjenigen Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel von der Gewalt des Pulvers wirklich aus der Canone getrieben wird, sich verhalten, wie die Radix quadrata aus dem Rectangulo $FLPB$ zur Quadrat-Wurzel aus der Hyperbolischen Figur $FHQB$, aus welcher Proportion folglich diese gesuchte Geschwindigkeit leicht bestimmt werden kann.

Um diese Auflösung durch ein Exempel zu erläutern, so laßt uns die Länge des hohlen Cylinders AB von 45 Zollen annehmen, der Diameter DC , oder vielmehr der Diameter der Kugel $\frac{3}{4}$ Zoll, und die mit Pulver angefüllte Länge AF sey $2\frac{5}{8}$ Zoll. Hieraus wollen wir nun die Geschwindigkeit, womit eine bleyerne Kugel unter den angeführten Bedingungen aus dem Lauf AB heraus getrieben wird, suchen.

Aus dem vorigen Satz ist erstlich klar, daß die Kraft des Pulvers im ersten Augenblick der Entzündung, welche auf die Kugel würket, 1000 mahl grösser ist, als der Druck der ganzen Athmosphäre. Der mittlere Druck der Athmosphäre aber gleichet dem Gewicht einer Wasser-Säule, welche 33 Schuh hoch ist. Da sich nun die Schwere des Bleyes zur Schwere des Wassers verhält, wie 11,345 zu 1, so muß der Druck der Athmosphäre dem Gewicht eines bleyern Cylinders, so 34,9 Zoll lang ist, gleich kommen. Diese Zahl mit 1000 multipliciret, giebt einen Zylinder, so 34900 Zoll hoch, dessen Gewicht folglich der Kraft des Pulvers im ersten Augenblick nach der Entzündung gleich ist. Die bleyerne Kugel hält aber $\frac{3}{4}$ Zoll im Diameter, und ist folg-



lich einem Cylinder gleich, dessen Höhe auf eben der Basi seyn wird $\frac{1}{2}$ Zoll. Dahero ist die erste Kraft des Pulvers auf die Kugel 2 mahl 34900, das ist, 69800 mahl größer, als das Gewicht der Kugel. Wann wir also $FL = 1$ setzen, so wird $FH = 69800$. Ferner ist $FB:FA = 45 - 2\frac{5}{8} : 2\frac{5}{8}$ das ist wie 339 zu 21, und also das Rectangulum $FLPB$ zum Rectangulo $AFHS$ wie 339 zu 21 $\times$ 69800, das ist, wie 1 zu 4324. Aus der bekannten Eigenschaft aber der Hyperbel, kraft welcher die Spatia der Hyperbel durch die Logarithmos ausgedruckt werden können, folget, daß das Rectangulum $AFHS$ sich zur Area $FHQB$ verhalte, wie die Decimal-Fraction 0,43429 zum Logarithmo des Bruchs $\frac{AB}{AF} = \frac{360}{21}$. Der Logarithmus hiervon aber ist $= 1,2340579^1$, dahero sich das Rectangulum $FLPB$ zur hyperbolischen Area $FHQB$ verhalten wird, wie 0,43429 zu $4324 \times 1,2340579$, das ist, wie 1 zu 12263, und folglich werden die Quadrat-Wurzeln daraus seyn, wie 1 zu 110,7, und diese Verhältniß wird seyn zwischen der Geschwindigkeit, welche die Kugel, wenn sie aus einer Höhe von FB oder von $42\frac{3}{8}$ Zollen frey herunter fiel, bekommen würde, und der Geschwindigkeit, mit welcher dieselbe wirklich aus dem Lauf AB vom Pulver heraus getrieben wird. Wenn aber ein schwehrrer Körper $42\frac{3}{8}$ Zoll hoch herunter fällt, so erlangt er eine solche Geschwindigkeit, womit er in Stand gesetzt wird, in einer Secunde 15,07 Schuh weit zu laufen; dahero ist die bleyerne Kugel, von welcher hier die Rede ist, indem sie bey B heraus getrieben wird, im Stand in einer Secunde $15,07 \times 110,7$, das ist, 1668 Schue zurück zu legen. So groß ist demnach die Bewegung, welche der bleyernen Kugel von dem Pulver nach dem Grundsatz der hier festgesetzten Theorie eingedruckt wird.

Auf gleiche Weise kan auch die Rechnung für einen jeglichen andern Fall angestellt werden. Wenn zum Exempel nicht der gantze Raum AF , welcher zwischen dem Boden des Stücks und der Kugel befindlich ist, mit Pulver angefüllet, sondern nur ein Theil desselben, die Kugel aber gleichwohl anfänglich in F gesetzt würde, so müßte man die Linie HF , und folglich auch den Platz $FHQB$ um eben so viel kleiner annehmen, als der ganze Raum AF grösser ist, als der Theil desselben, welcher mit Pulver angefüllet worden. Sollte das Calibre des Stücks, oder der Diameter der Kugel, grösser oder kleiner seyn, die Linien AB und AF aber die vorige Länge behalten.

1) Richtiger ist $\log \frac{360}{21} = 1,2340832$, welchen Wert denn auch EULER in seiner Ersten Anmerkung, p. 80, für $\log \frac{120}{7}$ genommen hat. F. R. S.

so würde so wohl die Quantität des Pulvers, als die Superficies der Kugel, auf welche das Pulver wücket, nach dem Quadrat des Diameters grösser oder kleiner werden. Weswegen die Linie FH , welche der absoluten Gewalt des Pulvers durch die Schwehre der Kugel dividirt proportional ist, um so viel grösser oder kleiner angenommen werden muß, so viel mahl der Diameter der Kugel kleiner oder grösser ist. Wenn die Länge AF , welche sich zwischen dem Boden des Stücks und der Kugel befindet, grösser oder kleiner wird, so wird auch das Rectangulum in der Hyperbola $AFHS$, und zugleich die Area, so zwischen zwey Applicatis, welche eben dieselbe Verhältniß unter sich haben, in eben der Proportion grösser oder kleiner. Aus allem diesem folget also, daß die Area $FHQB$, welche das Quadrat der Geschwindigkeit, so der Kugel eingedruckt wird, vorstellt, proportional seyn wird, directe dem Logarithmo des Bruchs $\frac{AB}{AF}$ (wo AB die Länge des gantzen Laufs, AF aber die Länge des hinter der Kugel befindlichen Theils andeutet), über dieses auch directe dem Theil des Raums AF , so mit Pulver angefüllt ist, und der Länge des Raums AF selbst, reciproce aber dem Diameter der Kugel. Da wir nun die Geschwindigkeit einer gegebenen Kugel, so aus einem gegebenen Lauf von einer gegebenen Quantität Pulver, welche hinter der Kugel einen gegebenen Raum einnimmt, ausgeschossen wird, bestimmt haben: so kann durch diese Verhältnisse in einem jeglichen andern Fall die Geschwindigkeit, womit die Kugel heraus geschossen wird, leicht bestimmt werden. Hierbey ist zu merken, daß wir in dem hier angebrachten Exempel den Diameter der Kugel $\frac{3}{4}$ Zoll angenommen haben, dahero der Diameter der Mündung etwas grösser, und die Quantität des Pulvers, welches den Raum $DEGC$ ausfüllet, exact 12 Drachmas seyn wird, den geringen Vorschlag von Hanf mit eingeschlossen.

ZUSATZ

In dieser Auflösung haben wir die zwey folgenden Sätze als richtig angenommen.

1. Daß die Gewalt des Pulvers auf die Kugel aufhöre, so bald dieselbe aus dem Stücke gefahren.
2. Daß alles Pulver von der Ladung sich entzündet, ehe die Kugel merklich von ihrer Stelle verrückt worden.

Diese beyden Sätze liegt uns also hier ob, mit mehrerem zu beweisen.



Der erste wird verhoffentlich klar genug scheinen, wenn man betrachtet, wie plötzlich sich die Flamme auf allen Seiten, kraft ihrer Elasticität, ausbreitet, wenn sie einmahl in die offene Luft heraus gedrungen. Als denn wird also ihre Kraft sogleich dergestalt zerstreuet, daß die Kugel von derselben nicht mehr merklich fortgetrieben werden kan.

Der zweyte Satz scheint in der That nicht so ausgemacht zu seyn, indem derselbe von den meisten, welche davon geschrieben, bestritten wird. Dem ungeachtet aber ist derselbe nicht weniger gewiß. Zum Beweis hiervon könnte vielleicht genug seyn, wenn man nur bedenkt, wie groß die Zusammen-drückung der Flamme gleich anfanglich seyn muß. Wenn man nun auf diesen Umstand Acht giebt, und zugleich erwegt, wie leicht die Flamme zwischen den Pulverkörnern durchdringen kann, so wird man leicht erachten, daß kein einiges Korn nur die geringste Zeit unentzündet bleiben kann, da ein jedes mit einer so heftigen Flamme umgeben ist. Damit aber dieser so wichtige Punkt nicht auf blossen Vernunft-Schlüssen beruhe, so habe ich darüber folgende Experimente angestellt. Denn ich schloß, daß, wenn sich das Pulver nicht zugleich, sondern nach und nach entzündete, ein schwerer Körper, welcher vor das Pulver gesetzt würde, als 2 oder 3 Kugeln statt einer, auch eine grössere Kraft vom Pulver ausstehen müßte, indem dazu mehr Zeit, ehe derselbe durch die ganze Länge des Stücks fortgetrieben wird, erfordert würde, und sich folglich in dieser längern Zeit mehr Pulver entzünden könnte. Daß aber 2 oder 3 Kugeln, welche zugleich geladen werden, keiner grössern Gewalt ausgesetzt sind, als nur eine, solches habe ich aus der Erfahrung befunden. Denn nachdem ich mit eben der Ladung eine, zwey, und drey Kugeln nach einander geschossen, so habe ich durch eine Methode, welche nachgehends beschrieben wird, gefunden, daß ihre Geschwindigkeiten beynahe umgekehrt wie die Quadrat-Wurzeln aus ihren Gewichtern waren. Denn da eine willkührliche Ladung eine Kugel mit einer Geschwindigkeit von 1700 Schuh in einer Secunde heraus trieb, so theilte eben dieselbe Ladung zwey zusammen geladenen Kugeln eine Geschwindigkeit von 1250 bis 1300 Fuß in einer Secunde, und drey Kugeln eine Geschwindigkeit von 1050 bis 1110 Schuh in einer Secunde mit. Woraus erhellet, daß die Kraft des Pulvers einerley Gewalt ausübet, es mag ein schwererer oder ein leichterer Körper davor gesetzt werden. Denn, alle Mathematici stimmen hierinn mit einander überein, daß, wenn zwey Körper von verschiedener Schwere, von einerley Kraft, durch einen gleichen Raum fortgestossen werden, ihre Geschwindigkeiten umgekehrt oder reciproce seyn müssen, wie die Quadrat-Wurzeln aus ihrem Gewicht. Nach dieser Regel hätten zwar die 2 und 3 Kugeln

nur eine Geschwindigkeit von 1200 und 980 Schuh in einer Secunde bekommen sollen; allein ich glaube dennoch nicht, daß daran die allmähliche Entzündung des Pulvers Schuld gewesen, sondern solches kam ohne Zweifel daher, daß die Flamme zwischen der ersten Kugel und den Seiten des Stücks hervorbrach, und insbesondere auf die zweyte Kugel wirkte, und derselben den beobachteten Zuwachs der Geschwindigkeit mittheilte.

Dieser Unterscheid war auch in vielen andern Experimenten nicht einmahl zu merken, und die Geschwindigkeiten schienen accurat den Quadrat-Wurzeln aus der Schwere der fortgestossenen Körper reciproce proportional zu seyn. Wo aber dieser Unterscheid am grösten gewesen, da hat er nimmer über ein Achtel des gantzen ausgetragen. Wenn aber die gemeine Meynung wahr wäre, daß sich anfanglich nur ein kleiner Theil des Pulvers entzündete, das übrige aber erst hernach, wenn die Kugel schon fortgerückt, und daß auch ein beträchtlicher Theil Pulver so gar unentzündet bleibe: so hätte die Geschwindigkeit, welche drey Kugeln bekommen, gar viel grösser seyn müssen, als wir gefunden haben, indem sich 3 auf einander geladene Kugeln beynahe zwey mahl länger im Lauf aufhalten, als nur eine, daher nach der gemeinen Meynung in dieser doppelten Zeit eine viel grössere Portion Pulver hätte entzündet, und folglich eine viel grössere Gewalt hervorgebracht werden müssen, als bey einer einzeln Kugel, welches doch allen Experimenten entgegen laufft.

Die Wahrheit dieses Satzes aber wird noch fester erwiesen werden, wenn im folgenden erhellen wird, daß die hierauf gegründeten Regeln die wahren Grade der Geschwindigkeit anzeigen, die Kugel mag aus einem langen, oder aus einem kurzen Rohr geschossen werden, welche Uebereinstimmung nicht Platz finden könnte, wenn sich das Pulver nicht auf einmahl entzündete.

Was ferner die Pulverkörner anlangt, welche öfters unentzündet aus der Canone gestossen werden sollen; und welche man als die stärkste Probe anzuführen pflegt, daß sich das Pulver nicht auf einmahl entzünde, so hat meines Erachtens DIEGO UFANO, ein in der Artillerie sehr erfahrener Mann, schon die wahre Ursache davon gegeben, welche darinne besteht, daß öfters etwas Pulver im vordern Theil der Canone liegen bleibt, welches mit dem Ladestock nicht hinter die Kugel gestossen, und folglich unentzündet wiederum heraus geschmissen wird.*) Dieses kann auch sowohl in kleinen Gewehren, als in

*) Man besehe seine Dialog. 20.¹⁾

1) Siehe die Anmerkung 1 p. 34. F. R. S.



Canonen, schwerlich vermieden werden, insonderheit wenn schon etliche Schüsse daraus geschehen sind. Unterdessen will ich doch nicht läugnen, daß sich nicht bisweilen auch im besten Pulver einige Körner finden sollten, welche dem übrigen Wesen des Pulvers so ungleich sind, daß dieselben, ungeachtet sie rings herum mit Feuer umgeben sind, dennoch nicht Feuer fangen, und also unentzündet aus der Canone heraus getrieben werden; dergleichen ich selbst mehrmahlen wahrgenommen. Dem sey aber wie ihm wolle, so kann doch die Wahrheit dieses Satzes deswegen nicht gänzlich in Zweifel gezogen werden.

Nachdem also hier gezeigt worden, wie man die Geschwindigkeit, welche einer Kugel von der Gewalt des Pulvers eingedrückt wird, aus den hier fest gesetzten Grund-Sätzen berechnen soll: so werde ich im folgenden darthun, daß die würclichen Geschwindigkeiten, welche Kugeln von verschiedener Grösse, so aus verschiedenen Stücken mit verschiedenen Quantitäten Pulver geschossen werden, erhalten, mit unsern Berechnungen völlig überein kommen, und daß folglich alles dasjenige, so bisher von der Gewalt des Pulvers vorgebracht worden, die Wirkung dieser erstaunlichen Kraft ungezweifelt bestätige.

Damit man aber diese Geschwindigkeit einer Kugel, welche aus einem Gewehr geschossen wird, mit derjenigen, welche die Rechnung giebt, vergleichen könne, so ist es unumgänglich nöthig, die würcliche Geschwindigkeit, womit eine Kugel aus einer Canone, oder einem andern Gewehr heraus getrieben wird, durch ein Experiment ausmessen zu können, welches gleichwohl auf keine bisher bekannte Art bewerkstelliget werden kann. Die Mittel, deren sich andere bisher zu diesem Ende bedienet haben, waren, daß man entweder die Zeit, in welcher die Kugel durch eine gegebene Distantz geht, wohl beobachten, oder die Weite des Schusses unter einer gegebenen Elevation bemerken, und hieraus nach den gewöhnlichen Gesetzen, welche sich auf die Parabolische Bewegung gründen, die Geschwindigkeit ausrechnen soll. Die erstere Methode ist aber dieser unüberwindlichen Schwierigkeit unterworfen, daß die Bewegung der Kugeln gemeinlich so schnell, und also die Zeit so kurz ist, daß der geringste Fehler, so in Ausmessung der Zeit begangen wird, in der Geschwindigkeit einen sehr grossen Fehler von 200 bis 600 Schuh in einer Sekunde verursachen kann. Die andere Methode ist gänzlich unrichtig und falsch, wegen der Resistenz der Luft, (welcher auch noch die erste unterworfen ist), die so groß seyn kann, daß man öfters nicht einmahl den zehnten Theil der wahren Geschwindigkeit der Kugel auf diese Art heraus bringt.

Um nun diesen Schwierigkeiten zu begegnen, so habe ich eine neue Manier erfunden, die wahre Geschwindigkeit einer jeglichen Kugel durch ein Experiment ausfindig zu machen, und dieses auf einen solchen Grad der Gewißheit, (welcher nach Belieben noch mehr vermehret werden kann,) daß bey einer Kugel, welche 1700 Schuh in einer Secunde läuft, der Fehler nimmer den fünfhundertsten Theil austrägt; welches ohne eine besondere Sorgfalt in Verfertigung der dazu erfordernten Machine geschehen kan. Die Beschreibung und der Gebrauch dieses Instrumentes wird uns also die Materie zum folgenden Satz darreichen.

ERSTE ANMERKUNG

Der Autor hat die Geschwindigkeit, womit eine Kugel aus einem Stück heraus getrieben wird, allhier auf eine geometrische Art bestimmt, damit auch solche Leute, welche in der Algebr nicht bewandert sind, dieselbe verstehen können: für diejenigen aber, welche die algebraischen Formeln zu gebrauchen wissen, wird ohne Zweifel auch eine solche Solution deutlicher seyn. Um also sowohl diesen ein Genügen zu leisten, als den Grund zu andern Untersuchungen zu legen, so wollen wir hier eben dieses Problema algebraisch solviren.

1. Es sey also die ganze Länge¹⁾ des Stückes $AB = a$.
 2. Die Länge des Raums $AF = b$, welchen wir entweder ganz oder nur zum Theil mit Pulver angefüllt setzen.
 3. Der Diameter der Kugel sey $= c$.
 4. Sey die Materie, woraus die Kugel besteht, n mahl dichter oder schwerer, als das Wasser.
 5. Sey die Elasticität des Pulvers im Raum AF im ersten Augenblicke nach der Entzündung m mahl grösser, als die Elasticität der Luft.
- Wenn also der ganze Raum AF mit Pulver angefüllt ist, so wird nach dem Autore seyn $m = 1000$; ist aber nur ein Theil desselben mit Pulver angefüllt, so muß der Werth von m auch um so viel kleiner angenommen werden.

Lasst uns nun setzen, die Kugel sey schon biß in M fortgetrieben worden, und nennen den Weg $FM = x$. Ferner sey die Geschwindigkeit der

1) Siehe die Figur 1 p. 70. F. R. 8.



Kugel in M gleich derjenigen, welche ein Körper, so aus einer Höhe $= v$ frey herunter fällt, erhält. Denn wenn diese Höhe v bekannt ist, so ist auch leicht die wahre Geschwindigkeit der Kugel anzuzeigen. Man drucke nemlich diese Höhe v in tausendsten Theilen eines Rheinländischen Schuhs aus, und suche aus der Zahl dieser Theile die Quadrat-Wurzel, solche multiplicire man mit 250, so weiset das Product, wie viel solche tausendste Theile eines Schuhs von der Kugel in einer Secunde zurück gelegt werden würden, wann dieselbe einerley Geschwindigkeit behalten sollte.¹⁾

Weil sich nun der Druck des Pulvers in M zu dem in F verhalten wird, wie AF zu AM , das ist wie b zu $b+x$, so wird der Druck in M sich zum Druck der Atmosphäre verhalten, wie $\frac{mb}{b+x}$ zu 1. Wenn wir nun annehmen, daß der Druck der Atmosphäre einer Wasser-Säule, so 32 Schuh hoch, gleiche, so ist es eben so viel, als wenn die Kugel von dem Gewicht einer Wasser-Säule, so $\frac{32mb}{b+x}$ Schuh hoch ist, fortgetrieben würde. Wann aber die Kugel selbst von Wasser wäre, so würde sie einem gleich dicken Cylinder, dessen Höhe $= \frac{2}{3}c$, gleichen, folglich da dieselbe n mahl schwächer als Wasser gesetzt wird, so wird ihr Gewicht einer Wasser-Säule, welcher Höhe $= \frac{2}{3}nc$, gleich seyn. Dahero wird sich die fortreibende Gewalt zum Gewicht der Kugel verhalten, wie $\frac{32mb}{b+x}$ zu $\frac{2}{3}nc$ oder wie $\frac{48mb}{nc(b+x)}$ zu 1. Aus den Grundsätzen der Mechanic wird man also diese Äquation ziehen:

$$dv = \frac{48mb}{nc(b+x)} dx,$$

deren Integrale seyn wird

$$v = \frac{48mb}{nc} l \frac{b+x}{b},$$

wo $l \frac{b+x}{b}$ den Logarithmum hyperbolicum von dem Bruch $\frac{b+x}{b}$ andeutet. Es entstehen aber die Logarithmi hyperbolici aus den gemeinen, welche man in den Tabulis findet, wenn man diese entweder durch 2,302585 multiplicirt, oder durch 0,43429448 dividirt. Lasst uns nun $x = FB$, und also $b+x = AB = a$ setzen, so finden wir die Höhe, aus welcher ein fallender Körper eben die-

1) Die Beschleunigung der Schwere wird dabei zu 31,25 rheinländischen Schuhen pro Sekunde angenommen. F. R. S.

jenige Geschwindigkeit bekommt, mit welcher die Kugel zum Stück hinaus getrieben wird, nemlich

$$v = \frac{48mb}{nc} l \frac{a}{b},$$

welche in Schuhen ausgedrückt wird. Will man aber sich der in den gewöhnlichen Tabulis befindlichen Logarithmorum bedienen, so muß man dieselben erst mit 2,302585 multipliciren; wenn also $l \frac{a}{b}$ den gemeinen Logarithmum von $\frac{a}{b}$ andeuten soll, so wird

$$v = \frac{110,524,08mb}{nc} l \frac{a}{b}$$

Schuh, folglich in tausendsten Theilen eines Rheinländischen Schuhs

$$v = \frac{110524,08mb}{nc} l \frac{a}{b},$$

dahero wird die Kugel eine solche Geschwindigkeit erhalten, womit sie in einer Secunde einen Weg von $250 \sqrt{\frac{110524,08mb}{nc} l \frac{a}{b}}$ tausendsten Theilen eines Schuhs, oder von $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{110524,08mb}{nc} l \frac{a}{b}}$ Schuhen, das ist von $\sqrt{\frac{6907 \frac{1}{2}mb}{nc} l \frac{a}{b}}$ Rheinländischen Schuhen durchlauffen kann.

Hier ist nun $m = 1000$, wenn der ganze hintere Raum $AF = b$ mit Pulver angefüllt ist; sollte aber nur ein Theil desselben, dessen Länge wir $= f$ setzen wollen, mit Pulver angefüllt seyn, so wird $m = \frac{1000f}{b}$, folglich wird die Bewegung der Kugel in einer Sekunde $\sqrt{\frac{6907 \frac{1}{2}f}{nc} l \frac{a}{b}}$ Schuh aus-tragen.

Also ist das Quadrat der Geschwindigkeit, womit die Kugel zum Stück herausgetrieben wird, directe wie der Logarithmus der Zahl $\frac{a}{b}$ oder $\frac{AB}{AF}$, und die Länge des Raums, so mit Pulver angefüllt ist, f , umgekehrt aber wie der Diameter der Kugel c , und ihre Dichte n : bey welcher Proportion sich der Autor etwas versehen, indem er zuletzt noch die Länge des Raums hinter der Kugel $AF = b$ hinzusetzt.

Last uns nun hieraus für das vom Autore angeführte Exempel die Geschwindigkeit der Kugel ausrechnen.



Es wird also seyn:

$$\begin{aligned} a &= 45 \text{ Zoll,} \\ f-b &= 2\frac{5}{8} \text{ Zoll,} \\ c &= \frac{3}{4} \text{ Zoll,} \\ n &= 11,345, \end{aligned}$$

weil die Kugel von Bley ist, also

$$\frac{a}{b} = \frac{120}{7}, \quad l \frac{a}{b} = 1,2340832, \quad \frac{f}{c} = \frac{7}{2} \quad \text{und} \quad \frac{f}{nc} = \frac{7}{22,69},$$

dahero seyn wird

$$l \frac{f}{nc} = 9,4892635.$$

Wenn wir also die obige Formel durch Logarithmos ausrechnen, so kommt

$$\begin{aligned} l 1,2340832 &= 0,0913445^1) \\ l \frac{7}{22,69} &= 9,4892635 \\ l 6907750 &= 6,8393366 \\ 6,4199446^2) \\ 3,2099723^3), \end{aligned}$$

davon die Helfte giebt

welches der Logarithmus ist von 1622⁴⁾. Weswegen die Kugel mit ihrer Geschwindigkeit in einer Secunde einen Weg von 1622⁴⁾ Rheinländischen Schuhen durchläuft: welche Zahl von des Autoris Ausrechnung nur deswegen unterschieden ist, weil wir hier Rheinländische Schuhe brauchen, da der Autor nach Englischen rechnet; und weil wir die Atmosphäre einer Wasser-Säule, so 32 Schuh hoch, gleich gesetzt haben, da der Autor 33 angenommen.

1) Im Original 0,0913447. 2) Im Original 6,4199448. 3) Im Original 3,2099724.
4) Im Original 1625. Berichtigt von F. R. S.

ZWEYTE ANMERKUNG

Es sind bey dieser Auflösung verschiedene Umstände aus der Acht gelassen worden, welche, ob sie gleich meistens sehr geringe sind und wenig austragen, dennoch alle die vorher bestimmte Geschwindigkeit der Kugel vermindern, und also insgesamt nicht wohl übergangen werden können. Man kann auch sogleich sehen, daß die gefundene Formel, wodurch die Geschwindigkeit der Kugel ausgedruckt worden, nach aller Schärfe mit der Wahrheit nicht bestehen kann; denn aus derselben müßte folgen, daß je länger das Rohr oder die Länge $AB = a$ wäre, die Kugel desto geschwinder heraus getrieben werden sollte, welches doch mit der Erfahrung streitet: indem bekannt ist, daß eine allzulange Canone die Kugel nicht so weit treibt, als eine kürzere. Derowegen wird nöthig seyn, diese aus der Acht gelassenen Umstände in einige Betrachtung zu ziehen, und zu untersuchen, wie viel durch dieselben die vorher bestimmte Geschwindigkeit der Kugel vermindert wird.

Erstlich ist nun der Gegendruck der äussern Luft nicht mit in die Rechnung gebracht worden. Denn, so lange sich die Kugel in der Höhlung FB befindet, so wird dieselbe von der äussern Luft zurück gestossen. Diese Kraft ist gleich einer Wasser-Säule, deren Höhe 32 Schuh beträgt, wie wir angenommen. Da nun die Kugel einer Wasser-Säule gleicht, deren Länge $= \frac{2}{3}nc$, so wird die zurückstossende Kraft sich zum Gewicht der Kugel verhalten, wie 32 zu $\frac{2}{3}nc$, das ist, wie $\frac{48}{nc}$ zu 1; und also wird hieraus diese Äquation entspringen

$$dv = \frac{48mb}{nc(b+x)} dx - \frac{48dx}{nc}$$

und ferner

$$v = \frac{48mb}{nc} \left(\frac{b+x}{b} - \frac{48x}{nc} \right)$$

Setzt man nun $x = BF = a - b$, damit die Geschwindigkeit, womit die Kugel aus dem Stück herausgetrieben wird, heraus komme, so wird

$$v = \frac{48mb}{nc} \left(\frac{a}{b} - \frac{48(a-b)}{nc} \right)$$

Schuh.

1) Im Original $v = \frac{48mb}{nc(b+x)} dx - \frac{48x}{nc}$. Berichtigt von F. R. S.



Zweytens ist auch nicht auf die Resistenz der Luft gesehen worden, welche zwar in dem kurzen Raum FB nicht viel austragen kan, ob dieselbe gleich wegen der schnellen Bewegung nicht geringe ist. Um aber dieselbe doch in die Rechnung zu bringen, so ist zu merken, daß, wenn die Kugel vorne ganz platt wäre, dieselbe gleich seyn würde dem Druck einer Luft-Säule, deren Höhe $= v$, und folglich einer Wasser-Säule, deren Höhe $= \frac{v}{864}$, wenn wir das Wasser 864 mal schwehrr annehmen, als die Luft. Die Ründung der Kugel aber macht, daß diese Resistenz nur halb so groß wird, und dahero einer Wasser-Säule gleicht, deren Höhe $= \frac{v}{1728}$. Diese Resistenz wird sich also zur Schwere der Kugel verhalten, wie $\frac{v}{1728}$ zu $\frac{2}{3}nc$, oder wie $\frac{v}{1152nc}$ zu 1. Folglich wird man diese Äquation bekommen

$$dv = \frac{48mbdx}{nc(b+x)} - \frac{48dx}{nc} - \frac{vdx}{1152nc}$$

oder

$$dv + \frac{vdx}{1152nc} = \frac{48mbdx}{nc(b+x)} - \frac{48dx}{nc}$$

Um davon das Integrale zu finden, so setze man e für die Zahl, deren Logarithmus hyperbolicus gleich ist 1, oder $e = 2,718281828$, und multiplicire die gefundene Differentialäquation mit $e^{\frac{x}{b+x}}$, oder man setze der Kürze halber $1152nc = g$, und multiplicire mit $e^{\frac{x}{b+x}}$, so bekommt man

$$e^{\frac{x}{b+x}} \left(dv + \frac{vdx}{g} \right) = \frac{48mb e^{\frac{x}{b+x}} dx}{nc(b+x)} - \frac{48 e^{\frac{x}{b+x}} dx}{nc},$$

wovon das Integrale ist

$$e^{\frac{x}{b+x}} v = \frac{48mb}{nc} \int \frac{e^{\frac{x}{b+x}} dx}{b+x} - \frac{48g}{nc} (e^{\frac{x}{b+x}} - 1)$$

oder

$$v = \frac{48mb}{nc} e^{-\frac{x}{b+x}} \int \frac{e^{\frac{x}{b+x}} dx}{b+x} - \frac{48g}{nc} (1 - e^{-\frac{x}{b+x}}).$$

Weil nun der Bruch $\frac{x}{g}$ sehr klein ist, so ist bey nahe

$$e^{\frac{x}{g}} = 1 + \frac{x}{g} + \frac{xx}{2gg}$$

und

$$e^{-\frac{x}{g}} = 1 - \frac{x}{g} + \frac{xx}{2gg},$$

dahero

$$\int \frac{e^{\frac{x}{b+x}} dx}{b+x} = \int \frac{dx}{b+x} + \int \frac{xdx}{g(b+x)} + \int \frac{xxdx}{2gg(b+x)} \\ = l \frac{b+x}{b} + \frac{x}{g} - \frac{b}{g} l \frac{b+x}{b} + \frac{xx}{4gg} - \frac{bx}{2gg} + \frac{bb}{2gg} l \frac{b+x}{b},$$

folglich wird

$$v = \frac{48mb}{nc} \left(\left(1 - \frac{b+x}{g} + \frac{(b+x)^2}{2gg} \right) l \frac{b+x}{b} + \frac{x}{g} - \frac{bx}{2gg} - \frac{3xx}{4gg} \right) - \frac{48x}{nc} \left(1 - \frac{x}{2g} \right).$$

Laßt uns nun setzen $x = a - b$, damit die Geschwindigkeit, womit die Kugel aus dem Stück geschossen wird, heraus komme, so wird

$$v = \frac{48mb}{nc} \left(1 - \frac{a}{g} + \frac{aa}{2gg} \right) l \frac{a}{b} + \frac{48mb(a-b)}{ncg} \left(1 - \frac{3a-b}{4g} \right) \\ - \frac{48(a-b)}{nc} \left(1 - \frac{a-b}{2g} \right)$$

oder wenn man die allzukleinen Terminos, welche nichts merkliches austragen, aussen läßt, so wird

$$v = \frac{48mb}{nc} \left(1 - \frac{a}{g} \right) l \frac{a}{b} + \frac{48mb(a-b)}{ncg} - \frac{48(a-b)}{nc}$$

Schuh.

Hieraus können wir nun berechnen, wie viel die sowohl von dem Gegendruck, als der Resistenz der Luft herrührende Verminderung der Geschwindigkeit austrage in dem obigen Exempel; da ist

$$a = 45, \quad b = 2\frac{5}{8}, \quad c = \frac{3}{4}, \quad n = 11,345, \quad nc = 8,509, \quad m = 1000,$$

$$g = 1152nc = 9802,37, \quad 48mb = 126000 \quad \text{und} \quad \frac{48mb}{nc} = 14808.$$

Der gemeine Logarithmus von $\frac{a}{b}$ ist 1,2340832, welcher mit 2,302585 multiplicirt werden muß, um den hyperbolischen Logarithmum $l \frac{a}{b}$ zu bekommen, welcher seyn wird = 2,8415816. Hieraus folget



$$\frac{48mb}{nc} l \frac{a}{b} = 42078,1$$

$$\frac{48mb}{nc} \frac{a}{g} l \frac{a}{b} = 193,1$$

$$41885,0$$

$$\frac{48mb(a-b)}{ncg} = 64,014^1)$$

$$\frac{48(a-b)}{nc} = 239,04$$

also

$$v = 41710^2)$$

Schuh. Diese Schuh verwandle man in tausendste Theile, so kommen 41710000³⁾, woraus Radix quadrata gibt 6458⁴⁾, davon der 4te Theil 1615⁵⁾ weist, wie viel Schuh die Kugel mit ihrer Geschwindigkeit in einer Secunde läuft. Da wir nun vorher 1622⁶⁾ Schuh gefunden, so ist klar, daß diese zwey Umstände nur 7 Schuh austragen. Dahero dieselben von dem Autore ohne Fehler wohl haben negligirt werden können.

DRITTE ANMERKUNG

Ausser dem Druck und der Resistenz der Luft giebt es noch zwey andere Ursachen, welche die Geschwindigkeit der Kugel verringern, wenn wir auch mit dem Autore annehmen, daß sich alles Pulver im Stücke auf einmahl entzündet: wogegen gleichwohl noch verschiedene Einwürfe zu machen sind, welche hernach vorgebracht werden sollen. Diese zwey neuen Ursachen scheinen auch einen weit grössern Einfluss auf die Bewegung der Kugel zu haben, dahero dieselben um so viel weniger übergangen werden können. Die erstere bestehet in der Friction, kraft welcher sich die Kugel an der innern Wand des Laufs reibet, und dadurch einen Abgang in der Bewegung leidet. In den kleinern Schießgewehren, als Mußketen und gezogenen Röhren, in welche die Kugeln mit grosser Gewalt hinein gestossen werden müssen, ist diese Friction ohne

1) Im Original 0,035.

2) Im Original 41646.

3) Im Original 41646000.

4) Im Original 6453. 5) Im Original 1618. 6) Im Original 1625. Berichtigt von F. R. S.

Zweifel sehr groß. Sollte dieselbe der Schwere der Kugel gleich seyn, so müßte man die vorhergefundene Höhe v um $BF = a - b$ vermindern, welches aber in Ansehung des sehr grossen Werths des v nichts austragen würde: ja wenn auch die Friction 100 mahl grösser wäre, als die Schwere der Kugel, so würde man noch die 100 $(a - b)$ in Ansehung des v ohne merklichen Fehler negligiren können. Bey Canonen würde also die Friction noch viel weniger austragen müssen, weil die Kugeln nicht mit Gewalt hinein gestossen werden, sondern noch zwischen den innern Wänden und der Kugel ein Spiel-Raum bleibt, dahero die Friction nicht einmahl der Schwere der Kugel gleich seyn kann. Es ist aber dem ungeachtet zu vermuthen, daß entweder die Friction, oder eine andere ähnliche Ursache in den Stücken der Bewegung der Kugel weit stärker entgegen stehen. Denn da die Kugel, so bald sie aus dem Stück heraus getrieben worden, noch alle Hindernisse ihrer Bewegung, nur allein die Friction ausgenommen, antrifft, welchen dieselbe noch in der Canone ausgesetzt gewesen, so könnte eine allzugrosse Länge der Canone der Bewegung der Kugel nicht hinderlich seyn, wie doch die Erfahrung bezeugen soll, wenn die Kugel nicht in der Canone einen Widerstand anträffe, so ausser derselben verschwindet. Dieser mag nun von der Friction, oder von einer andern Ursache, herrühren, so müßte dieselbe doch ziemlich beträchtlich seyn, wenn dadurch in einer allzulangen Canone die fortreibende Gewalt des Pulvers überwogen werden sollte. Hiervon laßt sich nun, ehe genugsame Experimente über die vortheilhafteste Länge der Canonen mit allem Fleiß angestellt worden, nichts bestimmen. Allem Ansehen nach wird aber die Länge der Canonen vielmehr durch die Menage, als aus diesem Grunde, bestimmt. Und wenn man fragt, warum die Stücke nicht länger gemacht werden, als der Gebrauch mit sich bringt, so scheint wohl hiervon nicht dieses die Ursache zu seyn, damit die Kugel eine desto geschwindere Bewegung erhalte: sondern vielmehr, weil der Vortheil, den man dadurch an der Geschwindigkeit wirklich erhält, die grössern Unkosten, und die grösseren Unbequemlichkeiten, welche die längern Canonen erfordern, bey weitem nicht ersetzt. Denn lasst uns setzen, daß im oben ausgeführten Exempel die Länge des Laufs, welche 45 Zoll gewesen, auf 50 Zoll vermehret werde, so würde $\frac{a}{b} = \frac{50}{2,625}$ an statt $\frac{45}{2,625}$ und folglich $l \frac{a}{b} = 1,2798407$ anstatt $1,2340832$. Also würde, ohne auf einen Widerstand zu sehen, das Quadrat der Geschwindigkeit um $\frac{37}{1000}$ und die Geschwindigkeit selbst um $\frac{18}{1000}$ das ist um ihren $\frac{1}{55}$ Theil vermehret werden. In vielen Fällen würde es also der Mühe nicht lohnen um dieser geringen Vermehrung willen, den obigen Lauf um 5 Zoll länger zu machen. Um dieser Ursache



willen werden wir uns also von der Wahrheit nicht merklich entfernen, wenn wir absonderlich bey Canonen die Friction gar nicht in Betrachtung ziehen.

Die andere Ursache, von welcher hier Meldung gethan werden soll, hat einen weit grösseren Einfluß auf die Bewegung der Kugel. Weil, indem die Kugel durch den Lauf der Canone fortgetrieben wird, nicht nur durch das Zündloch, sondern auch zwischen der Kugel und der inneren Wand der Canone, die elastische Luft beständig herausbläset: so wird die Elasticität derselben in der Canone immer kleiner, als dieselbe hier in der Auflösung angesetzt worden. Denn, da dieselbe wegen der grossen Elasticität mit einer weit grösseren Geschwindigkeit, als die Kugel selbst immer haben kan, durch die gedachten Oeffnungen herausfährt, so ist dieser Verlust der fortreibenden Kraft ziemlich beträchtlich, und muß nothwendig verursachen, daß die Kugel eine kleinere Geschwindigkeit erhält, als die obige Rechnung ausweist. Um die Wirkung dieser Verminderung zu bestimmen, muß man die Geschwindigkeit wissen, mit welcher die in der Canone zusammen gedruckte Luft so wohl durch das Zündloch, als neben der Kugel, herausfährt, welche Untersuchung wir im folgenden vorzunehmen Gelegenheit haben werden. Wir können inzwischen aus einem Exempel, so der Herr Prof. DANIEL BERNOULLI in seiner *Hydrodynamic* p. 241 berechnet, so viel anführen, daß, da derselbe, um die wirkliche Geschwindigkeit der Kugel herauszubringen, ohne auf diesen Abgang der fortreibenden Kraft zu sehen, genöthiget worden, die erste Elasticität der im Pulver eingeschlossenen Luft 6004 mahl grösser anzusetzen, als den Druck der Atmosphäre, er in eben dem Fall, nachdem er diesen erwehnten Abgang in Betrachtung gezogen, die anfängliche Elasticität 10000 mahl grösser hat annehmen müssen. Ungeachtet nun dieses aus solchen Principiis hergeleitet worden, welche der Herr ROBINS nicht zugibt, so kan man doch daraus so viel ersehen, daß dieser Umstand eine merkliche Veränderung in der obigen Bestimmung der Geschwindigkeit verursachen müsse. Dahero, wenn in den folgenden Experimentis die wirkliche Geschwindigkeit mit der ausgerechneten übereinstimmt, so ist dieses ein unbetrüglisches Zeichen, daß die fortreibende Kraft viel grösser gewesen, als in der Rechnung angenommen worden, und daß folglich die erste Elasticität der aus der Entzündung des Pulvers erzeugten Luft weit mehr, als tausend mal grösser sey, als die Elasticität der natürlichen Luft.

VIERTE ANMERKUNG

Dieses sind aber doch noch nicht alle Ursachen, weswegen die durch die Rechnung gefundene Geschwindigkeit der Kugel verringert werden muß; wir können zu den schon allbereit erzehlten vieren noch drey neue hinzufügen. Erstlich, wenn sich die elastische Materie schon wirklich ausdehnet, so müssen sich alle Theile derselben vorwärts bewegen, und das um so viel geschwinder, je weiter dieselben von dem Boden *A* entfernt sind. Denn die vordersten Theile, welche die Kugel berühren, haben mit derselben einerley Geschwindigkeit, diejenigen aber, so dem Boden näher sind, eine kleinere. Da nun die Bewegung der vordersten immer schneller wird, so muß auch die Bewegung der übrigen nach Proportion immer geschwinder werden. Ein jeglicher Theil aber dieser elastischen Materie wird von der hintern Luft vorwärts, von der vordern aber rückwärts gestossen, dahero nothwendig der Druck der hintern stärker seyn muß, als der vordern, sonst würde die Geschwindigkeit dieses Theils nicht zunehmen. Hieraus folget also, daß die Elasticität der hinter der Kugel befindlichen Luft, nicht allenthalben gleich groß sey, sondern daß dieselbe bey dem Boden in *A* grösser seyn müsse, als an der Kugel, und dahero wird die Kugel mit einer kleineren Kraft fortgestossen, als in der Rechnung angenommen worden: da man gesetzt, daß die Luft hinter der Kugel allenthalben eine gleiche Ausdehnungs-Kraft habe. Dieser Unterscheid muß um so viel grösser seyn, je dichter die Luft hinter der Kugel ist. Weil aber doch die Dichte derselben sehr geringe ist, so wollen wir gerne zugeben, daß daher keine merkliche Verringerung in der Geschwindigkeit der Kugel entstehen könne.

Aus eben diesem Grunde wird auch die zweyte Ursache, welche wir anzuführen haben, eben so wenig merklich seyn. Man hat in der Rechnung angenommen, daß die ganze Kraft des Pulvers allein auf die Forttreibung der Kugel angewandt werde: weil aber auch die Theilchen des Pulvers, und der daraus erzeugten Luft, selbst in Bewegung gesetzt werden müssen, so wird dazu ein geringer Theil der Kraft erfordert, welcher folglich von derjenigen, so auf die Kugel würket, abgezogen werden muß, aus welchem Grunde also die Bewegung der Kugel wiederum vermindert wird. Diese Ursache entspringet zwar mit der vorher gemeldten aus einer Quelle, nemlich aus der Inertia oder Materialität der Luft, und wenn man die vorige in die Rechnung bringen kan, so wird auch diese darein eingeschlossen. Inzwischen kan man



sich doch von ihrer Wirkung einen deutlichere Begriff machen, wenn man sich dieselbe auf diese zweifache Art, wie hier geschehen, vorstellt. Es ist aber ein Glück, daß die aus diesem Grunde entspringende Wirkung nicht merklich ist; denn es würde schwer und vielleicht unmöglich seyn, dieselbe aus den bekannten Grundsätzen der Mechanic genau zu bestimmen. Man geräth dabey in solche verwirrte Differential-Äquationen, daß man nicht Mittel sieht, dieselben aufzulösen, oder daraus etwas zuverlässiges zu schliessen.

Die dritte Ursache ist eben der zweyte Grundsatz, welchen der Autor als richtig annimmt, und völlig erwiesen zu haben glaubet: daß sich nemlich alles Pulver im ersten Augenblick zugleich entzündet. Man findet aber sehr viel Ursachen, das Gegentheil zu behaupten, und die Beweisthümer des Autoris selbst sind so beschaffen, daß man daraus an der Richtigkeit zu zweifeln Anlaß nehmen kan. Der Autor führet den ersten Grund her aus der grossen Hitze, und der Geschwindigkeit der Flamme, womit dieselbe zwischen den Pulverkörnern durchfährt. Aber dieses ist eben die Frage, ob gleich im ersten Augenblick so viel Pulver entzündet werde, daß die Flamme zwischen allen Körnern durchstreichen könne. Hernach, da diese Communication durch die Bewegung geschieht, so muß nothwendig dazu eine Zeit erfordert werden, und kömt also hier nur die Frage vor, in wie langer Zeit sich vom ersten Anfang der Entzündung an alles Pulver entzündet. Niemand wird läugnen, daß dieses nicht in sehr kurzer Zeit geschehe: allein die Kugel fährt auch so geschwind zur Canone heraus, daß die geringste Zeit hier schon sehr beträchtlich ist. Gemeinlich wird die Kugel in einem hundertsten Theil einer Secunde aus dem Lauf hinausgetrieben. Wenn also nur $\frac{1}{100}$ Secunde zur völligen Entzündung des Pulvers erfordert würde, welches doch gewiß eine sehr kurze Zeit ist, so würde die Kugel schon die Mündung der Canone erreicht haben, indem sich das letzte Pulver entzündete; folglich würde dadurch die fortreibende Gewalt des Pulvers gar merklich verringert werden. Sollte nach des Hrn. ROBINS Sinn die gänzliche Entzündung in noch kürzerer Zeit, als in $\frac{1}{200}$ Secunde, oder gar in $\frac{1}{1000}$ Secunde vor sich gehen, welches doch kaum, insonderheit bey grossen Ladungen, glaublich scheint, so müste doch noch der Effect davon merklich seyn. So leicht auch das Pulver Feuer fängt, so wird doch dazu einige Zeit erfordert, und das bey einer Art des Pulvers mehr, als bey der andern. Deswegen ist auch nach des Autoris eigenem Bericht das gekörnte Pulver dem Meel-Pulver vorgezogen worden, weil jenes sich geschwin- der entzündet, als dieses. Da nun das Meel-Pulver einige Zeit erfordert, ehe

die an einem Orte geschehene Entzündung sich allenthalben mittheilet, so kann der Vortheil des gekörnten in nichts anders bestehen, als daß zur gänzlichen Entzündung eine viel kürzere Zeit hinlänglich sey. So kurz aber auch diese Zeit angesetzt wird, so ist dieselbe doch immer vermögend, eine merkliche Aenderung in der fortreibenden Kraft zu verursachen. Wir haben hier oben nur $\frac{1}{100}$ Secunde angenommen für die Zeit, in welcher die Kugel aus dem Stack getrieben wird. Allein diese Zeit ist noch zu lang nach den Experimenten, wodurch Herr ROBINS selbst die wirkliche Geschwindigkeit, womit eine Kugel aus einem Schieß-Gewehr getrieben wird, bestimmt hat. Er findet, daß diese Geschwindigkeit in einer Secunde einen Weg von 1500 bis 2000 Schuh durchlauffen könne. Weil nun diese Geschwindigkeit der Kugel im Lauf des Gewehrs eingedruckt worden, welcher ungefähr $3\frac{1}{2}$ Schuh lang gewesen, so müste die Kugel, wenn sie im ersten Augenblick diese ganze Geschwindigkeit erhalten hätte, nur $\frac{31}{1500}$ oder $\frac{31}{2000}$ Secunde, das ist nach einem Mittel $\frac{1}{200}$ Secunde im Lauf zugebracht haben. Sollte aber der Kugel diese Geschwindigkeit nach einer gleichförmig vermehrten Bewegung, dergleichen in den fallenden Körpern wahrgenommen wird, mitgetheilet worden seyn, so würde dieselbe zweymahl so lang, das ist $\frac{1}{200}$ Secunden im Lauf verweilet haben. Da nun die fortreibende Kraft anfänglich viel stärker ist, und nach und nach abnimmt, so muß die wahre Zeit kürzer seyn, als $\frac{1}{200}$, länger aber als $\frac{1}{500}$, und also ungefähr $\frac{1}{375}$ Secunde austragen, welche Zeit so kurz ist, daß, so geschwind man sich auch die gänzliche Entzündung des Pulvers vorstellt, dieselbe doch nicht viel geschwinder, als in einer $\frac{1}{375}$ Secunde geschehen kann, weswegen dieser Umstand um so viel weniger aus der Acht gelassen werden kann.

Was der Autor ferner sagt, daß die Pulver-Körner, welche öfters aus den Canonen noch unentzündet herausgetrieben werden, dem Setz-Kolben ausweichen, und nicht hinter die Kugel zu liegen gekommen, ungeachtet solches seine völlige Richtigkeit haben mag, beweiset doch noch keineswegs, daß die gänzliche Entzündung in einem Augenblicke vor sich gehe, und ganz und gar keine Zeit erfordere. Dann gesetzt auch, daß sich alles Pulver entzündete, ehe die Kugel zur Mündung heraus fährt, und also die ganzen Körner, so öfters vor der Canone gefunden werden, nicht hinter der Kugel gewesen wären: so folget doch noch keinesweges, daß die Zeit der gänzlichen Entzündung in Ansehung derjenigen, so die Kugel durch die Canone getrieben wird, vor nichts zu achten sey. Ueber dieses kann es auch seyn, daß eine gute Partie Pulver



noch ausser der Mündung Feuer fängt, und also nichts zur Fortreibung der Kugel beyträgt, ungeachtet diese Körner nicht unentzündet herunter fallen. Denn da das Feuer noch ausser der Mündung heftig genug ist, so kann auch alsdenn noch ein Theil des Pulvers, welches wegen der allzukurzen Zeit in dem Lauf unentzündet geblieben, von der Flamme verzehrt werden. Ferner gesteht der Autor selbst, daß er öfters im Pulver einige Körner wahrgenommen, welche einige Zeit die Gewalt der Flamme ausgehalten, ehe sie sich entzündet haben. Da er nun diese Zeit hat wahrnehmen können, so muß dieselbe merklich, und also gewiß länger, als $\frac{1}{100}$ Secunde gewesen seyn. Wenn es also solche Körner giebt, welche die Gewalt der Flamme länger, als $\frac{1}{100}$ Secunde aushalten können, so muß es noch vielmehr dergleichen geben, welche zu ihrer Entzündung nur $\frac{1}{300}$ Secunde erfordern. Dahero auch dieser Beweissthum, welchen der Autor zu Behauptung seines Satzes anführet, vielmehr das Gegenheil bestätigt.

Die stärkste Probe des Autoris aber besteht darinn, daß die Ausrechnungen, welche aus diesem Satz hergeleitet werden, mit der Erfahrung vollkommen übereinstimmen. Wir haben aber schon dargethan, wie viel Umstände in dieser Ausrechnung nicht sind in Betrachtung gezogen worden, davon doch einige keine geringe Aenderung verursachen; und daß dahero die Übereinstimmung der Rechnung mit der Erfahrung zu diesem Ende nicht ohne grosse Behutsamkeit angeführet werden kann. Weil der Autor auf den Abgang der fortreibenden Kraft, welche durch das Zündloch und neben der Kugel geschieht, nicht gesehen, und sich folglich aus diesem Grunde schon ein Unterscheid zwischen der Theorie und der Experientz aussern mußte, so könnte es vielleicht wohl seyn, daß die allmähliche Entzündung des Pulvers diesen Unterscheid wieder zernichtete. Denn da die Kraft des Pulvers nicht allein wegen der erfolgten Ausdehnung abnimmt, worauf doch in der Rechnung allein gesehen worden, sondern auch wegen des Verlusts, welchen die eingeschlossene elastische Luft durch das Zündloch und den Spiel-Raum leidet, so müste die Verminderung der Kraft grösser seyn, als in der Theorie angenommen worden. Wenn sich nun das Pulver allmählig entzündet, so erhält dadurch die fortreibende Kraft einen beständigen Zuwachs, wodurch der vorige Abgang ersetzt wird; dergestalt, daß auf diese Art wiederum eben dieselbe Proportion im Abnehmen der Kraft stattfinden kann, welche in der Theorie angenommen worden. Auf diese Art könnte also diese Theorie, aller angeführten Umstände ungeachtet, mit der Experientz wiederum vereinigt werden, wenn man nur die

Kraft des im ersten Augenblick entzündeten Pulvers um so viel grösser ansetzt. Denn, wenn nur ein Theil des Pulvers, so im ersten Anfang Feuer fängt, stark genug ist, eben die Wirkung hervor zu bringen, welche nach der Theorie von der ganzen Ladung herkommen sollte, so muß auch die elastische Kraft desselben Theils eben so groß seyn, als die, welche dem ganzen zugeschrieben worden. Wenn also die elastische Kraft der natürlichen Luft durch 1 angedeutet wird, so muß die elastische Kraft der aus der Entzündung des Pulvers erzeugten Luft so vielmahl grösser sein als 1000, so vielmahl der im ersten Anfang entzündete Theil des Pulvers kleiner ist als die ganze Ladung. Unter dieser Bedingung kann also die Theorie des Autoris mit der Experientz bestehen, wann der Zuwachs der fortreibenden Gewalt, so dieselbe durch die allmähliche Entzündung des Pulvers erhält, dem Abgang, welcher wegen des Zündlochs und Spielraums entsteht, immer beynahe gleich kommt, welche Ersetzung vielleicht bey der Art des Pulvers, so der Autor gebraucht, ungefehr mag eingetroffen haben. Hiedurch aber leidet der erste Punkt des Verfassers, wodurch er die elastische Kraft des Pulvers bestimmt, und 1000 mahl grösser als den Druck der Atmosphär angesetzt hat, einen grossen Stoß, indem dieselbe Kraft in diesem Fall, wann die Rechnungen mit der Experientz übereintreffen, viel grösser seyn muß. Wenn sich also der Autor um seinen Satz, daß sich alles Pulver in einem Augenblick zugleich entzündet, auf die Übereinstimmung der hierauf gegründeten Rechnung mit der Experientz beruft, so ist so ferne, daß dadurch seine Meynung bekräftiget werde, daß dadurch vielmehr dieselbe umgestossen wird.

Damit wir aber dieser angeführten Experientz nicht allein blosser Gründe und Vernunft-Schlüsse entgegen setzen, so wollen wir auch Erfahrungen beyfugen, wodurch augenscheinlich erhellet, daß die gänzliche Entzündung des Pulvers nicht in einem Augenblick vor sich gehe. Ich beruffe mich hierbey auf viele Experimente, welche der sel. General GÜNTHER zu St. Petersburg A. 1727¹⁾ in Beyseyn verschiedener Mitglieder der dasigen Academie, unter welchen ich mich auch befunden, hat anstellen lassen. Unter andern wurde dazu ein Stück, dessen Seele $7\frac{7}{10}$ Englische Schuh lang war, gebraucht, und aus demselben mit verschiedenen Ladungen Vertical-Schüsse gethan. Man bemerkte jedes mahl die Zeit nach einem Pendulo, innerhalb welcher die Kugel nach dem Schuß wieder herunter fiel: und aus derselben hat der Herr BERNOULLI die

1) Im Original 1728. Berichtigt von F. R. S.



Geschwindigkeit berechnet, mit welcher die Kugel aus dem Stück getrieben worden.¹⁾ Ungeachtet nun derselbe hierzu die NEWTONIANISCHE Theorie von der Resistenz der Luft gebraucht, so hindert doch solches zum gegenwärtigen Vorhaben nichts. Er hat also gefunden, daß die Kugel in einem Luftleeren Raum, nachdem man 1, 4 und 8 Loth Pulver geladen, hatte 541, 13694, 58750 Schuh hoch steigen müssen. Hierauf wurde von dieser Canone ein Stück abgeseigt, dessen Länge $1\frac{7}{10}$ Schuh, und folglich die Seele der Canone noch accurat 6 Schuh lang war. Nach dieser Verkürzung wurden wiederum mit den vorigen Ladungen von 1, 4 und 8 Loth Pulver Vertical-Schüsse gethan, und da fand sich, daß die Kugel in einem Luftleeren Raum nur auf 274, 2404 und 6604 Schuh hoch gestiegen seyn würde. Bey der Ladung von 8 Lothen würde also die Kugel aus der ganzen Canone beynahe 9 mahl höher gestiegen seyn, als aus der abgekürzten: dahero die Geschwindigkeit, womit die Kugel im ersten Fall ausgetrieben worden, ungefähr dreymahl grösser gewesen als im letztern. Nach des Hrn. ROBINS Theorie aber hätte dieser Unterschied kaum zu merken seyn müssen. Hieraus ist also klar, daß vor der Abkürzung der Canone sich noch eine gute und so gar die grösste Portion Pulver erst alsdann müsse entzündet haben, als die Kugel den letzten Schuh in der Seele der Canone durchlaufen. Eben dieser Schluß folgt auch aus den kleinern Ladungen, jedoch ist der Unterschied so groß nicht, und eben hieraus erhellet, daß, je grösser die Ladung ist, je mehr Zeit erfordert werde, ehe sich alles Pulver entzünde: welcher Umstand an sich selbst begreiflich genug ist.

Die gezogenen Röhre, welche wie bekannt viel weiter schiessen, als ungezogene, reichen uns auch eine sehr wichtige Probe dar, daß sich das Pulver nicht auf einmahl entzünde. Denn, sollte alles Pulver auf einmahl in Brand gerathen, so müßte nothwendig ein gezogenes Rohr bey weitem nicht so weit schiessen als ein ungezogenes. Man betrachte nur den grossen Widerstand, welchen eine Kugel in einem gezogenen Rohr zu überwinden hat, ohne darauf zu sehen, daß zugleich der Kugel eine Bewegung um die Axe mitgetheilt wird, wozu auch eine Kraft erfordert wird, so wird man hieran nicht den geringsten Zweifel hegen können. Dennoch aber wird die Kugel aus einem gezogenen Rohr ungeachtet dieses grossen Widerstandes mit einer grössern Geschwindigkeit heraus geschossen, als aus einem gemeinen, wenn die abrigen

1) Die Resultate dieser Versuche findet man in der im Oktober 1727 der Petersburger Akademie übergebenen Abhandlung D. BERNOULLI, auf die in der Anmerkung 1 p. 41 verwiesen worden ist, sowie in dessen *Hydrodynamica* p. 236 u. 237. F. R. S.

Umstände einerley sind. Es muß also in einem gezogenen Rohr nothwendig eine weit grössere Kraft vorhanden seyn, als in einem gemeinen, welche nicht nur den grossen Widerstand zu überwinden, sondern auch noch dazu der Kugel eine schnellere Bewegung mitzutheilen hinlänglich ist. Die Gewalt aber rührt einig und allein vom Pulver her, und in beyden Fällen ist die Ladung einerley: dahero keine andere Ursache übrig bleibt, als daß sich in dem gezogenen Rohr die ganze Ladung oder zum wenigsten der grösste Theil derselben entzünde, da in dem gemeinen Rohr nur ein geringer Theil Feuer fängt, ehe die Kugel heraus getrieben wird. Dieses letzte Argument scheint noch der Sache den grössten Nachdruck zu geben, und sogar nicht nur zu beweisen, daß sich das Pulver nicht auf einmahl entzünde, sondern auch, daß sich gemeinlich nur eine sehr kleine Portion des Pulvers entzünde, ehe die Kugel aus der Canone heraus getrieben wird. Aus diesen Ursachen wird die oben erwähnte Meynung des Hrn. Prof. DAN. BERNOULLI je länger je wahrscheinlicher, daß die aus dem Pulver erzeugte Elastische Materie im ersten Moment eine Ausdehnungs-Kraft habe, welche beynahe 10000 mahl grösser ist, als der Druck der Atmosphäre, ungeachtet unser Autor dieselbe nur 1000 mahl grösser angibt.

ACHTER SATZ

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich eine Kugel in einer jeglichen Distanz von dem Stück beweget, durch die Erfahrung zu bestimmen.

Die leichteste Art, um dieses zu bewerkstelligen, geschieht mittelst des Instruments, welches beygehende Figur (Fig. 2, p. 94) vorstellt, allwo *ABCD* ein mit drey Füßen versehenes Gestell andeutet, damit solches allenthalben auf der Erde festgestellt werden könne; dergleichen Maschinen zu Abwägung und Aufhebung schwerer Lasten gebraucht zu werden pflegen. An zweyen von diesen Stützen *B* und *C* sind starke Aarme *R* und *S* befestiget, auf welchen das Pendulum *EFGHIK* mittelst des Querbalkens *EF* ruhet; welcher auf den Aermen *R* und *S* dergestalt auflieget, daß sich der Körper *GHIK* um denselben frey bewegen, und gleich einem Pendulo oscilliren kan. Der Körper dieses Penduli ist von Eisen gemacht, und hat unten eine ziemliche Breite, welche in der 2ten Figur nicht zum Vorschein kommt,

insbesondere aber in der 3ten Figur vorgestellt wird, als *A*. Auf diese breite eiserne Platte *A* wird ein starkes und dickes hölzernes Brett *GHIK* (Fig. 2) durch Hälfte einiger Schrauben befestiget. Gleich unter diesem Pendulo befindet sich wiederum ein Querbalken *OP*, so an den beyden Stützen *B* und *C*, welche das Pendulum tragen, fest gemacht ist. An diesem Balken ist ein Instrument *MNV* befestiget, so mit zwey stählernen Ränden, welche nach der Linie *VN* aufeinander passen, wie die Reißfedern gemacht zu werden pflegen, versehen ist. Diese zwey Rände können nach Belieben durch Hälfte der Schraube *Z* mehr oder weniger

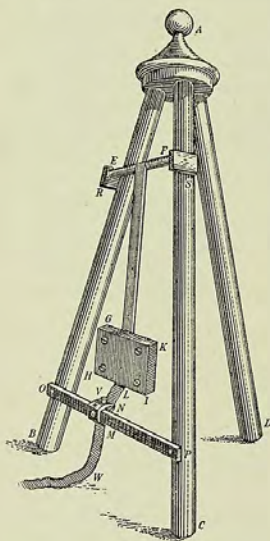


Fig. 2.

zusammen gedruckt werden. Ferner ist am Ende des Penduli unten ein schmales Band *LN* angeheftet, welches zwischen denselben stählernen Ränden durchgezogen wird, und durch eine Oeffnung am untern Theil des beschriebenen Instruments frey herabhängt.

Nachdem nun diese Maschine beschriebener massen zugerüstet worden, so untersuche man sowohl das Gewicht des ganzen Penduli, als sein Centrum gravitatis, nebst dem Centro oscillationis desselben, damit die Entfernung dieser zweyen Punkte von der Axe *EF*, um welche das Pendulum beweglich

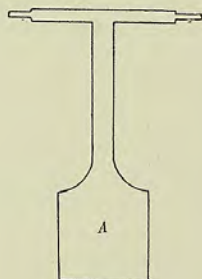


Fig. 3.

ist, bekannt werde. Hieraus wird man ferner bestimmen können, wie eine grosse Bewegung diesem Pendulo mitgetheilet werden muß, wenn auf dasselbe eine Kugel, deren Gewicht bekannt ist, mit einer gegebenen Geschwindigkeit in einem gegebenen Punkt aufstößt. Dahero, wenn das Pendulum vor dem Stoß still gestanden, so wird man anzeigen können, was vor einen grossen Schwung das Pendulum von einem solchen Stoß bekommen, und wie weit dasselbe von seinem Ruhestand gebracht werden müsse. Wenn also hinwiederum diese Entfernung des Penduli von seinem Ruhestand bekannt ist, welche von dem Anstoß einer Kugel, deren Schwehre bekannt, in einem gegebenen Punkt verursacht worden, so läßt sich daraus die Geschwindigkeit, womit die Kugel darauf gestossen, bestimmen.

Derowegen, wenn eine Kugel von einer bekannten Schwehre gegen das Pendulum anstößt, und die Grösse des Schwungs, welchen das Pendulum durch diesen Stoß empfängt, genau beobachtet wird, so kan man daraus die Geschwindigkeit, welche die Kugel bey dem Stoß gehabt, anzeigen.

Die Grösse des Schwungs aber, welcher in dem Pendulo von dem Stoß verursacht wird, kan sehr genau durch Hälfte des Bandes *LN* gemessen werden. Man darf zu diesem Ende nur die beyden stählernen Schärpen *VN*, zwischen welchen das Band durchgeht, vermittelt der Schraube *Z* dergestalt spannen, daß das Band zwar frey und leicht, jedoch nicht ohne einen geringen Widerstand durchgezogen werden könne. Ehe nun das Pendulum in Bewegung gebracht wird, so ziehe man das Band so stark an, daß dasselbe zwischen dem Pendulo und *VN* gespannt, dennoch aber das Pendulum selbst dadurch nicht aus seinem Ruhestand gebracht werde; und stecke bey *VN* eine Stecknadel darein. Alsdenn lasse man eine Kugel an das Pendulum stossen, welches dadurch zurückgetrieben und einen Theil des Bandes bey *VN* durchziehen wird, aus welchem durchgezogenen Theil, dessen Länge von der Stecknadel an gemessen wird, man sofort den Bogen, welchen das Pendulum im ersten Schwung beschrieben, ausmessen kan.

Die Rechnung aber, wodurch die Geschwindigkeit der Kugel aus der beobachteten Ausweichung des Penduli nach dem Stoß bestimmt wird, erfordert eine weitere Erklärung. Zu diesem Ende wollen wir nach demjenigen Pendulo, dessen wir uns bey unsern Experimenten bedienet haben, die Rechnung anstellen, welche dienen wird, um alle andere Fälle berechnen zu können.

Das Gewicht dieses ganzen Penduli, Eisen und Holz alles zusammen genommen, war 56 Pf. 3 Unzen. Sein Centrum gravitatis war von der Axe *EF* entfernt 52 Zoll, und dieses Pendulum machte 200 kleine Schwingungen in



einer Zeit von 253 Secunden, woraus folgt, daß das Centrum oscillationis von der Axe EF entfernt gewesen $62\frac{2}{3}$ Zoll. Ferner war das Centrum des hölzernen Brets $GHIK$ von eben derselben Axe 66 Zoll entfernt.

Nun sage man: wie sich verhält 66×66 zu $62\frac{2}{3} \times 52$, so verhält sich das Gewicht des Penduli 56 Pf. 3 Unzen zu 42 Pf. $\frac{1}{2}$ Unzen. Aus der Mechanic ist aber bekannt, daß wenn das Pendulum im Centro des hölzernen Brets $GHIK$ gestossen wird, der Stoß eben den Widerstand finde, als wenn das jetzt gefundene Gewicht von 42 Pf. $\frac{1}{2}$ Unzen in diesem Punkt concentrirt, der übrige Theil des Penduli aber gänzlich zernichtet wäre. Wenn wir nun setzen, daß das Gewicht der Kugel, welche auf dieses Pendulum stossen soll, $\frac{1}{12}$ Pf. oder $\frac{1}{600}$ des gefundenen Gewicht von 42 Pf. $\frac{1}{2}$ Unzen sey, so wird nach den Gesetzen der Bewegung, welche bey dem Stoß zweyer Körper, so nicht von einander zurückprellen, beobachtet werden, die Geschwindigkeit nach dem Stoß $\frac{1}{600}$ der Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel angestossen, austragen. Wenn man also die Geschwindigkeit des Punkts am Pendulo, wo die Kugel angestossen, weiß, so darf man dieselbe nur mit 505 multipliciren, um die Geschwindigkeit der Kugel vor dem Stoß zu bekommen.

Die Geschwindigkeit aber des Anstoß-Punkts nach dem Stoß läßt sich leicht aus der Sehne des Bogens, wodurch derselbe getrieben worden, bestimmen. Denn es ist ein bekannter Satz, daß alle hangende Körper durch ihre schwingende Bewegung, zu eben derjenigen Höhe gelangen, zu welcher sie kommen würden, wenn sie aus ihrem untersten Punkt mit eben der Geschwindigkeit, so dieser Punkt hatte, gerade aufwärts geworfen würden. Derowegen, wenn man den Sinum versum¹⁾ dieses aufsteigenden Bogens weiß, welcher aus der Sehne und dem Radio leicht gefunden wird, so ist dieser Sinus versus selbst die perpendicular Höhe, auf welche ein Körper, so mit der Geschwindigkeit des gestossenen Punkts aufwärts geworfen wird, gelangt: wie groß folglich die Geschwindigkeit sey, ist aus der Lehre von den fallenden Körpern leicht auszurechnen.

Es war zum Exempel die Sehne des Bogens, durch welchen das Pendulum nach dem Stoß gestiegen, und welche auf dem Band gemessen worden, öfters $17\frac{1}{4}$ Zoll lang. Die Distanz des untersten Endes L , wo das Band befestigt ist, von der Axe EF war $71\frac{1}{8}$ Zoll. Daher nach der Regul Detri zu den Zahlen $71\frac{1}{8} : 66 = 17\frac{1}{4}$ die vierte Proportional gesucht werden muß, welche

1) Sinus versus α ist $1 - \cos. \alpha$. F. R. S.

16 ist, und die Länge der Sehne des Bogens, welchen das Centrum des Brets $GHIK$ beschrieben, anzeigt. Hierauf findet man den Sinum versum des Bogens, dessen Sehne ist 16 Zoll, und der Radius 66 Zoll, gleich 1,93939. Die Geschwindigkeit, mit welcher ein Körper zu dieser Höhe zu steigen vermögend ist, oder welches einerley, welche ein Körper, so aus der Höhe von 1,93939 Zoll herunterfällt, erlangt, beträgt $3\frac{1}{4}$ Schuh in einer Secunde.

Um nun hieraus die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher die Kugel auf das Centrum des Holzes gestossen, als das Pendulum in seinem daher verursachten Schwung das Band um $17\frac{1}{4}$ Zoll durch das obbeschriebene Instrument NV weiter durchgezogen, so hat man nichts mehr nöthig, als die gefundene Zahl von $3\frac{1}{4}$ Schuh mit 505 zu multipliciren. Denn das Product 1641 deutet an, wie viel Schuh die Kugel mit ihrer Geschwindigkeit, welche sie bey dem Stoß gehabt, in einer Secunde nach einer gleichförmigen Bewegung durchlaufen würde. Denn wir haben gefunden, daß das Punct des Brets, wo die Kugel angestossen, eine Geschwindigkeit habe von $3\frac{1}{4}$ Schuh in einer Secunde; wir haben aber auch vorher erwiesen, daß die Geschwindigkeit der Kugel 505 mahl grösser sein müsse. Wenn also eine Kugel, so $\frac{1}{12}$ Pfund wiegt, auf das Mittelpunct des hölzernen Brets $GHIK$ geschossen wird, und dadurch das Band um $17\frac{1}{4}$ Zoll fortgezogen wird, so beträgt die Geschwindigkeit der Kugel 1641 Schuh in einer Secunde. Da nun die Länge des Bands, welches durch das Instrument bey NV durchgezogen wird, ohne Fehler die Sehne des Bogens, welchen das unterste Ende des Penduli beschreibt, giebt, indem das Band dergestalt angemacht ist, daß der Unterscheid nicht merklich seyn kann; diese Sehnen aber, wie bekannt, mit den Geschwindigkeiten, welche dem Pendulo durch den Stoß mitgetheilt werden, einerley Verhältniß haben, so ist klar, daß die Theile des Bandes, so bey verschiedenen Stößen in NV durchgezogen werden, den Geschwindigkeiten der aufstossenden Kugel proportional sind. Dahero verhält sich auch die Länge von $17\frac{1}{4}$ Zoll zur Länge des in einem gegebenen Fall durchgezogenen Bandes, wie 1641 Schuh zur Anzahl der Schuhen, welche die Kugel im gegebenen Fall mit ihrer Geschwindigkeit in einer Secunde durchzulaufen vermögend ist.

Hieraus ersieht man also überhaupt, wie durch Hälfte dieses Instruments die Geschwindigkeit einer jeglichen Kugel erkannt werden kann. Damit aber diejenigen, welche Lust haben, dergleichen Experimente selbst anzustellen, um so viel weniger Schwierigkeiten antreffen mögen, so will ich hier noch einige



Handgriffe beifügen, welche man dabey so wohl zu besserem Fortgang der Experimenten, als zur eigenen Sicherheit in Acht zu nehmen hat.

Ich muß also für das erste, damit man das hölzerne Bret *GHIK* nicht als ein unnöthiges Stück der Maschine ansehe, anzeigen, daß wenn eine mit voller Ladung geschossene Kugel unmittelbar gerade gegen das Eisen anstossen sollte, so würde die Kugel durch den Schlag zersplittern, und diese Splitter mit solcher Heftigkeit zurück springen, daß sie in das umstehende Holzwerk hinein fahren würden. Der damit verknüpften Gefahr nicht zu gedenken, so würde auch das Pendulum die Geschwindigkeit der Kugel, wegen des Rückprellens, worauf die Rechnung nicht gerichtet ist, nicht richtig zu erkennen geben.

Das Gewicht des ganzen Penduli, und die Dicke des Brets, muß auch einiger massen nach der Grösse der Kugeln, welche gebraucht werden, eingerichtet seyn. Das Pendulum, so hier beschrieben worden, kann zu allen Kugeln, welche unter drey biß vier Unzen wägen, sicher beybehalten werden, wenn nur für die schwersten die Dicke des Brets 7 bis 8 Zoll angenommen wird. Das Büchene Holz ist zu diesem Ende das tüchtigste.

Es ist auch gefährlich, auf der Seite des Penduli zu stehen, wenn das Bret nicht so dicke ist, daß die Kugel, ehe sie auf das Eisen kommt, den grösten Theil ihrer Kraft verliert. Denn, wenn dieselbe mit einer noch grossen Gewalt auf das Eisen stößt, so dringen die Splitter von dem Bley, welche durch das Holz nicht zurück springen können, zwischen dem Holz und Eisen durch, und fliegen noch ziemlich weit herum.

Weil man kein ander Mittel hat, das Holz auf dem Eisen zu befestigen, als durch Schrauben, davon die Köpfe auf dem Bret hervorstehen, so kann es geschehen, daß bißweilen eine Kugel auf eine solche Schraube zu treffen kommt, in welchem Fall die Splitter davon allenthalben herum geschmissen werden.

Wenn ferner in diesen Experimenten so wenig Pulver gebraucht wird, daß die davon der Kugel mitgetheilte Geschwindigkeit nicht über 400 bis 500 Schuh in einer Secunde austrägt, so bleibt die Kugel im Holz nicht stecken, sondern springt zurück, und das, wenn das Holz sehr hart ist, mit einer sehr grossen Geschwindigkeit. Ich habe diese rückprellende Geschwindigkeit niemahls mit Fleiß untersucht; ich habe aber öfters gesehen, daß die Kugel von den umliegenden Körpern, worauf sie gefahren, ist versehret worden.

Um nun diese Gefahr zu vermeiden, wobey in Philosophischen Untersuchungen keine Ehre erlangt werden kann, so ist am sichersten, den Lauf, womit man schiessen will, auf ein starkes und schwehres Gestell zu befestigen, und denselben mit einer nicht allzugewand brennenden Zünd-Röhre abzufeuern. Der Lauf muß nach der ganzen Länge wohl befestiget werden; es kann auch kein Mußketen-Lauf, so nach den gewöhnlichen Dimensionen geschmiedet worden, diese hier erzählten Experimente, ohne zu bersten, lange aushalten, wie ich zu meinem Schaden mehrmahlen erfahren. Der Lauf, worauf ich mich am meisten habe verlassen können, und welchen ich zu diesem Ende ausdrücklich habe verfertigen lassen, ist bey nahe oben so stark als unten, und seine Dicke ist fast allenthalben dem Diameter seiner Höhlung gleich.

Man muß auch das Pulver zu diesen Experimenten auf das genaueste abwägen, und wohl acht haben, daß nichts davon im Laden vor der Kugel zurück bleibe; dahero ein solcher Lauf eben, wie eine Canone, geladet werden muß. Der Vorschlag wird am füglichsten von Hanf genommen und muß allemahl gleich schwer seyn; immer aber so geringe, als nur möglich ist, um das Pulver in seinen gehörigen Platz einzuschränken. Wenn auch ein Raum zwischen der Kugel und dem Pulver ledig gelassen werden soll, so muß die Länge desselben sorgfältig abgemessen werden; indem darauf die Geschwindigkeit der Kugel, und die Stärke des Schusses, sehr viel beruhet; ungeachtet sonsten weder die Kugel noch die Ladung verändert wird. Man muß auch den Lauf zum wenigsten so weit von dem Pendulo entfernen, daß die Gewalt der Flamme darauf nicht wirken kann, welches bey einem gemeinen Lauf, so mit $\frac{1}{2}$ Untze Pulver geladen wird, geschieht, wenn diese Entfernung nur über 16 biß 18 Schuh ist. Bey stärkeren Ladungen aber reicht die Gewalt der Flamme weiter, und habe ich gefunden, daß sich dieselbe über 25 Schuh weit erstreckt hat. Deswegen habe ich immer diese Distanz von 18 bis 25 Fuß erwehlet. Was ausser diesem noch mehr hierbey zu beobachten ist, solches wird sich füglicher in der Erzählung und Beschreibung der Experimente, welche ich angestellt, anbringen lassen, wozu ich mich also wende.



ERSTE ANMERKUNG

Die Art, welche unser Autor beschreibt, um die Geschwindigkeit einer Kugel durch Versuche zu bestimmen, ist ohne Zweifel eine von den sinnreichsten und nützlichsten Erfindungen in der Artillerie; indem alles dasjenige, was man bisher darüber zu bestimmen im Stande gewesen, sehr ungewiß und unrichtig ist. Die Beschreibung der Maschine ist so deutlich, daß man solche leicht für einen jeglichen Fall darnach verfertigen lassen kann; wie aber aus den damit angestellten Experimenten die wahre Geschwindigkeit der Kugel ausgefunden werden soll, verdient eine weitere Erläuterung. Für das erste hat man das Gewicht des ganzen Penduli zu wissen nöthig, welches durch die gewöhnliche Abwägung leicht gefunden wird. Nur ist hiebey zu merken, daß zu dem Körper des Penduli nicht nur der untere Theil, sondern alles, so mit demselben zugleich in Bewegung gesetzt wird, gerechnet werden müsse, und folglich dazu auch das Gewicht des Horizontal-Balkens *EF* gehöre. Ferner muß dieser Balken *EF*, oder vielmehr die Linie, nach welcher derselbe auf den Armen *R* und *S* auflieget, vollkommen horizontal seyn. Denn diese Linie stellt die Axe vor, um welche das Pendulum sich bewegt, und von welcher

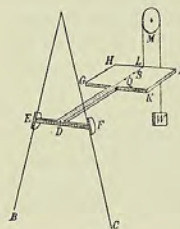


Fig. 4.

die Entfernungen so wohl des Centri gravitatis, als des Centri oscillationis gesucht werden müssen. Man suche zu diesem Ende vor allen Dingen die Distanz des untersten Bords *HI*, wo das Band *LMW* befestigt ist, von der gedachten Axe, als welche zu Berechnung der Geschwindigkeit der geschossenen Kugel gleichfalls nöthig ist. Um hernach die Distanz des Centri gravitatis des ganzen Penduli von eben derselben Axe zu finden; so hebe man vermittelst des Bands *LMW* oder eines stärkern, wenn solches nöthig erachtet wird, das Pendulum so weit in die Höhe, biß dasselbe horizontal zu liegen komme. (Fig. 4.)

Zu diesem Ende ziehe man das Band über eine Rolle *M*, welche an einem solchen Orte befestigt ist, daß das Stück des Bandes *LM* perpendicular stehe. Wenn das Pendulum *GHIK* in die Horizontal-Lage gebracht worden, alsdenn hänge man an das andere Ende des Bandes in *W* ein so grosses Gewicht, als zu Erhaltung des Penduli in der Horizontal-Lage erfordert wird.

Wenn dieses Gewicht gefunden, so wird sich dasselbe zum Gewicht des Penduli verhalten, wie die Distanz des Centri gravitatis von der Axe, zur Distanz des Puncts *L* von der Axe; wie aus der Static bekannt ist. Wenn also das Gewicht des ganzen Penduli gesetzt wird = *P*, das Gewicht, so bey dieser Untersuchung in *W* angehängt werden muß, = *Q*, die Distanz des Puncts *L* von der Axe *EF* nemlich *DL* = *a*, und das Centrum gravitatis des ganzen Penduli in *Q* angenommen, und die Distanz *DQ* = *g* genennet wird, so muß nach den Regeln der Static sein *Q:P* = *g:a*, oder *Pg* = *Qa*; woraus gefunden wird $g = \frac{Qa}{P}$. Es sey ferner *S* das Centrum oscillationis des Penduli, und *DS* = *f*, so wird *f* die Länge eines einfachen Penduli andeuten, welches mit dem vorgelegten seine Schwingungen in einerley Zeit verrichtet. Dahero um diese Distanz *DS* = *f* zu finden, so muß man suchen, in wie langer Zeit das Pendulum eine Oscillation absolvire. Zu diesem Ende bringe man dieses Pendulum in einen kleinen Schwung, dergestalt, daß die Oscillationes nicht über 5 biß 6 Grad beyderseits ausweichen; weil dieselben sonst nicht alle von einerley Dauer seyn würden, und zehle nach einer guten Uhr, wie viel Oscillationes dieses Pendulum in 1, 2 oder 3 Minuten mache. Der Autor hat hierzu eine Zeit von 200 Schwingungen genommen, dahero wollen wir hier zum Exempel 3 Minuten oder 180" annehmen. Es sey nun *n* die Zahl der Oscillationen, welche das Pendulum in der Zeit von 3 Minuten verrichtet. Da nun ein einfaches Pendulum, so 3,16625 Rheinländische Schuh lang ist, durch seine Schwingungen accurat Secunden weiset, so würde dieses Pendulum in 3 Minuten 180 Schwingungen verrichten. Es sind aber die Zeiten, in welchen zwey einfache Pendula von verschiedener Länge ihre Oscillationen machen, wie die Quadrat-Wurzeln aus ihrer Länge. Derowegen, da ein Pendulum, so 3,16625 Schuh lang ist, eine Oscillation in 1", das gesuchte Pendulum aber, dessen Länge wir = *f* setzen, eine Oscillation in $\frac{180''}{n}$ absolvirt, so wird seyn

$$1 : \frac{180}{n} = \sqrt{3,16625 : f},$$

und also

$$f = \frac{32400 \cdot 3,16625}{nn}$$

Rheinl. Schuh. Das ist

$$f = \frac{102586\frac{1}{2}}{nn}.$$

Solchergestalt wird also die Länge *f* leicht in Rheinländischen Schuhen ge-



funden, welches Maaß in Mechanischen Rechnungen vor andern Maassen einen nicht geringen Vorzug hat, weil ein frei herabfallender Körper in einer Secunde accurat 15625 tausendste Theile Rheinländischen Schuhs beschreibt, und diese Zahl 15625 eine Quadrat-Zahl ist, deren Radix 125 in den Rechnungen sehr vortheilhaft angebracht wird. Aus dem Rheinländischen Maaß kann aber entweder das Parisische, oder das Englische leicht heraus gebracht werden, indem 1,030¹⁾ Rheinländische Schuh einen Pariser Schuh und 0,970 Rheinländische Schuh einen Englischen Schuh betragen. In dem Exempel des Autoris machte das Pendulum in 253 Secunden 200 Oscillationen, folglich geschah eine Oscillation in $\frac{253}{200}$, woraus diese Proportion entsteht

$$1 : \frac{253}{200} = \sqrt{3,16625} : \sqrt{f},$$

dahero wird

$$f = \frac{253 \cdot 253 \cdot 3,16625}{40000} = 5,0667$$

Schuh: oder nach Englischem Maaß wird

$$f = 5 \text{ Schuh } 2\frac{2}{3} \text{ Zoll} = 62\frac{2}{3} \text{ Zoll},$$

wie der Autor gefunden.

ZWEYTE ANMERKUNG

Nachdem die Natur des Penduli auf diese Art untersucht und erkannt worden, so ist man im Stande, damit die Experimente anzustellen, und dadurch die Geschwindigkeit einer jeglichen Kugel zu bestimmen. (Fig. 5, p. 103.)

Es sey also das Gewicht des ganzen Penduli = P , die Länge $DL = a$; das Centrum gravitatis des Penduli in Q und $DQ = g$; das Centrum oscillationis des Penduli in S und $DS = f$, welche Quantitäten auf die vorher beschriebene Weise gefunden werden. Lasst uns nun setzen, daß eine Kugel gegen dieses Pendulum auf den Punkt V geschossen, und von diesem Stoß das Pendulum biß in DI fortgestossen worden, wovon die Sehne LI durch das Band ange-

1) Im Original 1,035. Berichtigt von F. R. S.

zeigt wird. Man bemerke also zuvörderst die Distanz DV , welche sei = h ; ferner sey das Gewicht der Kugel = p , und die Sehne $LI = k$, wraus nach der Anweisung des Autoris die Geschwindigkeit der Kugel folgender Gestalt gefunden wird. Man stelle nemlich diese Regul Detri an: wie sich verhält das Quadrat von DV oder h^2 zum Product $DQ \cdot DS$ oder fg , also das Gewicht des Penduli P zu einem andern Gewicht, welches seyn wird = $\frac{fg}{hh} P$. Der Stoß des Penduli wird also eben so beschaffen seyn, als wann an statt des ganzen Penduli in V ein Gewicht = $\frac{fg}{hh} P$ befindlich wäre, und den Stoß aushielte. Weil nun die Kugel nicht zurück prelet, so wird die Mittheilung der Bewegung nach den Gesetzen der weichen Körper geschehen. Wann die Geschwindigkeit der Kugel, welche in V anstösst, derjenigen gleich gesetzt wird, welche ein schwerer Körper durch den Fall aus der Höhe = v erhält, und folglich der Quadrat-Wurzel daraus $\sqrt{v}$ proportional ist, so war die Grösse ihrer Bewegung vor dem Stoß = $p\sqrt{v}$, welche also auch nach dem Stoß unverändert bleibt. Dahero wird die Geschwindigkeit des Punkts V nach dem Stoß seyn

$$= \frac{p\sqrt{v}}{p + \frac{fg}{hh} P} = \frac{hh p \sqrt{v}}{fg P + hh p},$$

mit welcher dasselbe in dem darauf folgenden Schwung zu einer Höhe

$$= \frac{h^4 p^2 v}{(fg P + hh p)^2}$$

steigen wird. Da nun die Sehne $LI = k$ durch die Erfahrung bekannt ist, so steigt das Punkt L in der That durch die Höhe

$$LP = \frac{LI \cdot LI}{2DL} = \frac{kk}{2a}:$$

folglich steigt das Punkt V durch eine Höhe, welche sich zu jener verhält, wie $DV = h$ zu $DL = a$, und ist also = $\frac{hkk}{2aa}$. Woraus diese Vergleichung entspringt

$$\frac{h^4 p^2 v}{(fg P + hh p)^2} = \frac{hkk}{2aa},$$

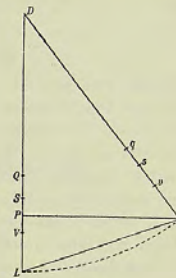


Fig. 5.



und wird also

$$v = \frac{kk(fgP + hhp)^2}{2aah^3pp}$$

und

$$\sqrt{v} = \frac{k(fgP + hhp)}{ahp\sqrt{2h}} = \frac{fgP + hhp}{ahp} \cdot \frac{k}{\sqrt{2h}}$$

Hieraus wird nun die wahre Geschwindigkeit folgender Gestalt gefunden. Da ein frey herabfallender Körper in einer Secunde durch eine Höhe von 15625 tausendsten Theilchen eines Rheinländischen Schues herab fällt, und mit der dadurch erhaltenen Geschwindigkeit in einer Secunde einen Weg von 31250 solcher Theilchen durchläuft, die Geschwindigkeiten aber, welche ein Körper aus verschiedenen Höhen erlangt, den Quadrat-Wurzeln daraus proportional sind: so wird sich verhalten $\sqrt{15625}:\sqrt{v} = 31250$ zu dem Wege, welchen die Kugel mit ihrer Geschwindigkeit, so aus der Höhe v entspringt, zurück legt. Dahero dieser Weg seyn wird

$$= \frac{31250\sqrt{v}}{\sqrt{15625}} = 250\sqrt{v}$$

tausendsten Theilchen eines Rheinl. Schues: wenn nemlich v in eben dergleichen Theilchen ausgedrückt wird.

Weil nun $\frac{fgP + hhp}{ahp}$ eine blossе Zahl giebt, und es hierbey nicht darauf ankommt, was man sich bey den Buchstaben a, f, g, h, P und p für eines Maasses bedienet, so hat man nur nöthig k und h , oder den Bruch $\frac{k}{\sqrt{2h}}$ in solchen Theilchen auszudrücken; und alsdann wird die Geschwindigkeit der Kugel in einer Secunde so viel tausendste Theilchen eines Rheinl. Schues, als diese Zahl

$$\frac{250(fgP + hhp)}{ahp} \cdot \frac{k}{\sqrt{2h}}$$

ausweist, oder so viel Rheinl. Schuhe, als diese Zahl $\frac{fgP + hhp}{ahp} \cdot \frac{k}{4\sqrt{2h}}$ anzeigt, austragen. Zur Rechnung wird diese Form

$$\left(\frac{fg}{ah} \cdot \frac{P}{p} + \frac{h}{a}\right) \frac{k}{4\sqrt{2h}}$$

bequemer seyn, welche, wann der Bruch $\frac{k}{\sqrt{2h}}$ in tausendsten Theilchen eines Rheinl. Schues ausgedrückt wird, anzeigt, wie viel Rheinl. Schuh die Kugel

mit ihrer Geschwindigkeit in einer Secunde durchzulaufen im Stande ist. In dem von dem Autore angeführten Exempel ist nun

$$P = 56\frac{3}{16} \text{ u}, \quad p = \frac{1}{12} \text{ u}, \quad \text{folglich} \quad \frac{P}{p} = 674\frac{1}{4}.$$

$$\left. \begin{array}{l} a = 71\frac{1}{8} \text{ Zoll} \\ f = 62\frac{2}{3} \text{ Zoll} \\ g = 52 \text{ Zoll} \\ h = 66 \text{ Zoll} \\ k = 17\frac{1}{4} \text{ Zoll} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ \\ \text{Engl.} \\ \\ \end{array} = \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ 5335 \\ 1395 \end{array} \right\} \text{tausendstel Rheinl. Sch.}$$

Also ist

$$\frac{fg}{ah} = \frac{62\frac{2}{3} \cdot 52}{71\frac{1}{8} \cdot 66} = \frac{3258\frac{2}{3}}{4694\frac{1}{4}}$$

und

$$\frac{fg}{ah} \cdot \frac{P}{p} = 468,053$$

$$\frac{h}{a} = 0,928$$

$$\frac{fg}{ah} \cdot \frac{P}{p} + \frac{h}{a} = 468,981.$$

Ferner ist $2h = 10670$, und die Rechnung wird folgender Gestalt durch die Logarithmos vollendet werden:

$$\begin{array}{r} l2h = 4,0281644 \\ l\sqrt{2h} = 2,0140822 \\ l4 = 0,6020600 \\ l4\sqrt{2h} = 2,6161422 \\ \text{von } lk = 3,1445742 \\ 0,5284320 \\ \text{Addir } l\left(\frac{fg}{ah} \cdot \frac{P}{p} + \frac{h}{a}\right) = 2,6711552^1) \\ 3,1995872^2) \end{array}$$

Die gehörige Zahl ist also

$$= 1583,388^3)$$

1) Im Original 2,6711544. 2) Im Original 3,1995864. 3) Im Original 1583,385.

Berichtigt von F. R. S.



und weiset, daß die Kugel mit ihrer Geschwindigkeit in einer Secunde 1583 Rheinl. Schuh durchzulaufen vermögend ist. Da nun 970 Rheinl. Schuh 1000 Engl. Schuh betragen, so macht diese Geschwindigkeit 1632 Engl. Schuh in einer Secunde, welches von der Rechnung des Autoris nur um 9 Schuh differiret¹⁾, dergleichen Unterscheid in diesem Werk nicht zu achten ist. In der That muß auch die wahre Geschwindigkeit der Kugel etwas grösser seyn, als diese Rechnung anzeigt, weil die Resistenz der Luft verursacht, daß das Pendulum nicht so hoch aufgehoben wird, als solches kraft der eingedrückten Geschwindigkeit geschehen müsste. Wie viel aber diese Hindernisse austragen könne, wollen wir hernach untersuchen, wann wir den Grund dieser von dem Autore angegebenen Regel, um die Geschwindigkeit der Kugel zu berechnen, werden angezeigt haben.

DRITTE ANMERKUNG

Der Beweis der Regel, welche der Autor giebt, um die Geschwindigkeit der Kugel aus der Wirkung des Stosses zu berechnen, findet sich an so wenig Orten ausgeführt, daß derselbe den meisten Lesern völlig unbekannt seyn wird. Derowegen wird nicht undienlich seyn, diese sonst ziemlich dunkle Materie, so viel unser gegenwärtiges Vorhaben verstattet, zu erläutern. Dieselbe gehöret nun zu der Lehre von der Veränderung der Bewegung, welche durch den Stoß zweyer an einander stossenden Körper verursacht wird; wovon die Regeln, wann beyde Körper dergestalt gerade auf einander stossen, daß die Linie, welche auf den Ort, wo sich dieselben berühren, perpendicular gezogen wird, durch eines jeden Centrum gravitatis durchgeheth, genugsam bekannt, und in den meisten mechanischen Büchern anzutreffen sind: die Körper mögen mit einer elastischen Kraft begabt seyn oder nicht. Wo aber dieser Umstand nicht statt findet, da lässt sich auch durch diese bekannten Regeln die Veränderung, so bey dem Stoß vorgehet, nicht bestimmen.

In dem gegenwärtigen Fall aber kommt noch dieses hinzu, daß der eine Körper, nemlich das Pendulum, worauf der Stoß geschieht, nicht frey, sondern um eine Axe beweglich ist, welcher Umstand bey dieser Unter-

1) Siehe p. 97. F. R. S.

suchung insonderheit in Erwägung gezogen werden muß. Um aber eine jede Veränderung, welche in einem um eine Axe beweglichen Körper vorgeht, zu bestimmen, so hat man auf das Momentum inertiae desselben zu sehen, welches erhalten wird, wann man ein jegliches Theilchen des Körpers durch das Quadrat seiner Distanz von der Axe multiplicirt, und alle diese Producte zusammen addirt: da man, wenn der Körper frey beweglich ist, seine Inertiam oder das Gewicht selbst zu nehmen pflegt. Ferner muß auch bey dieser Bewegung um eine Axe nicht die darauf wirkende Kraft selbst, sondern derselben Momentum in Betrachtung gezogen werden, welches entsteht, wenn man die Kraft durch die Perpendicular-Distanz ihrer Direction von der Axe multiplicirt. Dieses Momentum der Kraft durch das obige Momentum inertiae dividirt, giebt die absolute Vim acceleratricem der Bewegung um die Axe: und wenn dieser Bruch durch die Distanz eines beliebigen Punkts von der Axe multiplicirt wird, so kommt die Vis acceleratrix dieses Punkts heraus. Dahingegen bey einem frey beweglichen Körper die Kraft durch die Inertiam oder das Gewicht desselben dividirt, die Vim acceleratricem zugeben pflegt. Weil nun die Distanz des Centri oscillationis S von der Axe nemlich $DS = f$ heraus kommt, wenn man alle Theilchen des Penduli durch die Quadrate ihrer Distanzen von der Axe multiplicirt, und die Summe aller dieser Producten, das ist das Momentum inertiae, durch das Product des Gewichts des ganzen Penduli P in die Distanz des Centri gravitatis von der Axe $DQ = g$, nemlich durch Pg dividirt, so ist das Momentum inertiae $= Pfg$, und wird folglich auf diese Art leicht gefunden. Man pflegt gemeinlich in Bestimmung der Veränderung, welche durch den Stoß zweyer Körper verursacht wird, nicht auf die Zeit zu sehen, in welcher dieselbe hervor gebracht wird, und viele scheinen in den Gedanken zu stehen, als wenn diese Veränderung plötzlich geschähe, und keine Zeit erfordere. Daß aber diese Meynung der Wahrheit entgegen sey, könnte durch viele Gründe dargethan werden, wann uns nicht der gegenwärtige Fall einen augenscheinlichen Beweis davon an die Hand gäbe: denn, da die Kugel ziemlich tief in das Holz des Penduli hinein dringet, so wird niemand läugnen können, daß dazu nicht einige Zeit erfordert werde. Inzwischen ist doch diese Zeit sehr kurz, und man kann sicher annehmen, daß das Pendulum seine Stelle nicht merklich verändere, indem der Stoß seine Wirkung hervor bringt. (Fig. 6, p. 108.)

Es sey also DL die natürliche Stelle des Penduli, in welcher sich dasselbe befindet, ehe die Kugel dagegen geschossen wird; in derselben sey Q das Centrum gravitatis, S das Centrum oscillationis, und folglich $DQSL$



Fig. 6

eine Vertical-Linie. Man nenne wie vorher das Gewicht des ganzen Penduli $= P$, die Linien $DL = a$, $DQ = g$, $DS = f$. In dieser Lage werde eine Kugel, deren Gewicht $= p$, nach der Horizontal-Direction TV gegen dem Pendulo geschossen, dergestalt, daß der erste Stoß im Punkt V geschehe. Es sey $DV = h$, und b die Höhe, aus welcher ein Körper durch den Fall eine der Kugel gleiche Geschwindigkeit bekommt; daher wir diese Geschwindigkeit durch $\sqrt{b}$ andeuten, weil $\frac{1}{4}\sqrt{b}$ anzeigt, wie viel Rheinländische Schuhe die Kugel in einer Secunde durchlaufen würde, wann die Höhe b in tausendsten Theilchen eines Rheinl. Schues ausgedruckt wird. Lasst uns nun setzen, daß nach Verfluß einer geringen Zeit $= t$ das Pendulum in die Stelle U gebracht worden, und daß die Kugel schon in dem hölzernen Brett biß in u hinein gedrungen. Man nenne den kleinen Bogen $Fv = x$, und die Tiefe $Fv = y$; ferner sey die Geschwindigkeit, welche das Penduli Punkt v schon erlangt, $= Vv$, und die Geschwindigkeit der Kugel Da nun in der unendlich kleinen Zeit dt , das Punkt des Penduli v durch dx , die Kugel aber durch $dx + dy$ fortrücket, so ist aus den Regeln der Bewegung

$$dt = \frac{dx}{V_v} = \frac{dx + dy}{V_u}.$$

In diesem Moment wird die Kugel noch etwas tiefer in das Holz hinein dringen, und weil das Holz widersteht, so wird dadurch die Geschwindigkeit des Penduli vermehrt, die Geschwindigkeit der Kugel aber vermindert. Es sey nun V die widerstehende Kraft des Holzes, so wird $\frac{V}{p}$ die Vis retardatrix der Kugel seyn, dahero entspringt

$$du = -\frac{V}{p}(dx + dy).$$

Hernach in so fern diese Kraft V auf das Pendulum wücket, so wird das Momentum derselben seyn $= Vh$. Da nun das Momentum inertiae des Penduli ist $= Pfg$, so wird die Vis acceleratrix des Penduli im Punct v seyn $= \frac{Vh}{Pfg}$, folglich

$$dv = \frac{Vhhd x}{Pfg}$$

Jene Aequation durch diese dividirt gibt

$$\frac{du}{dv} = \frac{-Pfg(dx+dy)}{phh dx},$$

und weil

$$\frac{dx + dy}{dx} = \frac{V_u}{V_v},$$

so wird

$$\frac{du}{dv} = \frac{-PfgVu}{phhVv}$$

oder

$$\frac{phhdu}{V_u} + \frac{Pfgdv}{V_v} = 0,$$

welche Aequation integrirt giebt

$$phhVu + PfgVv - phhVb,$$

weil im Anfange des Stosses ist $v=0$ und $u=b$. Da nun die Wirkung des Stosses völlig aufhört, wenn die Geschwindigkeit des Penduli im Punkt v der Geschwindigkeit der Kugel gleich worden, so wird, wenn $\sqrt{s}$ die Geschwindigkeit des Penduli in v nach vollendetem Stoß andeutet, seyn

oder

$$phhVs + PfgVs = phhVb$$

$$V_s = \frac{phhVb}{Pfq + phh};$$

welche Expression mit derjenigen, welche der Autor gegeben, vollkommen übereinkommt, und also biß hieher die Richtigkeit seiner Regel beweiset. Weil nun $\frac{1}{s}$ die Geschwindigkeit andeutet, welche dem Pendulo im Punkt V durch den Stoß mitgetheilet wird, so wird

$$\frac{V_s}{h} = \frac{phVb}{Pfq + phh}$$

die Geschwindigkeit des Schwungs absolute anzeigen; woraus erhellt, daß der Schwung sehr klein seyn werde, wenn die Distanz DV sehr klein angenommen wird: hinwiederum aber wird der Schwung sehr klein, wenn h allzugroß angenommen wird. Hieraus lässt sich also die Frage auflösen, in welchem



Punkt die Kugel mit ihrer Geschwindigkeit $\sqrt{b}$ auf das Pendulum stossen müsse, damit dasselbe davon den stärksten Schwung bekomme. Man wird aber finden, daß dieses geschehe, wenn

$$Pfg = phh, \text{ oder } h = DV = \sqrt{\frac{Pfg}{p}}.$$

Dieses Punkt V ist also das sogenannte Centrum percussionis, und hieraus erhellet, daß dasselbe weder das Centrum gravitatis, noch das Centrum oscillationis sey; sondern ausser diesen Punkten noch die Verhältniß zwischen dem Gewicht des Penduli, und dem Gewicht der Kugel erfordere. Wenn also das Gewicht der Kugel p in Ansehung des Penduli P sehr klein ist, so wird das Centrum percussionis sehr tief hinab fallen. Man hat aber in dem gegenwärtigen Fall nicht nöthig, auf das Centrum percussionis zu sehen, sondern es ist vielmehr rathsam, dahin zu trachten, daß der dem Pendulo eingedruckte Schwung nicht allzugroß werde. Da wir aber jetzt die Geschwindigkeit des Punkts V gefunden; so ist noch übrig zu suchen, wie weit dadurch das Pendulum erhoben werden müsse. Weil nun bekannt ist, daß ein jedes Pendulum eben die Bewegung bekommt, als wenn das ganze Gewicht desselben in dem Centro oscillationis vereinigt wäre, so müssen wir hier auf das Centrum oscillationis sehen, welches aber, da nunmehr die Kugel im Pendulo steckt, etwas verändert wird. Um dieses zu finden, so suche man das Momentum inertiae, welches wegen der Kugel seyn wird $= Pfg + phh$; solches dividire man durch $Pg + ph$, so kommt die Distantz des centri oscillationis von der Axe

$$= \frac{Pfg + phh}{Pg + ph};$$

wobey wir die Grösse der Kugel aus der Acht lassen. Wie sich also verhält h zu $\frac{Pfg + phh}{Pg + ph}$, also verhält sich die Geschwindigkeit des Punkts V nemlich $\sqrt{b} = \frac{phh\sqrt{b}}{Pfg + phh}$ zur Geschwindigkeit des Centri oscillationis, welche seyn wird

$$= \frac{ph\sqrt{b}}{Pg + ph}.$$

Dieses muß also im folgenden Schwung durch einen Bogen steigen, dessen Sinus versus ist

$$= \frac{ppbhh}{(Pg + ph)^2}$$

und die Sehne

$$= \frac{ph}{Pg + ph} \sqrt{\frac{2b(Pfg + phh)}{Pg + ph}}.$$

Dahero die Sehne des Bogens, welchen das Punkt L beschreiben wird, seyn muß

$$= \frac{pah\sqrt{2b}}{\sqrt{(Pg + ph)(Pfg + phh)}}.$$

Da nun diese Sehne durch das Experiment gefunden und $= k$ gesetzt worden ist, so wird

$$k = \frac{pah\sqrt{2b}}{\sqrt{(Pg + ph)(Pfg + phh)}}$$

und folglich

$$\sqrt{b} = \frac{k\sqrt{(Pg + ph)(Pfg + phh)}}{pah\sqrt{2}}.$$

Hier bedeutet b , was wir oben v genennet haben, nemlich die Höhe, aus welcher die Geschwindigkeit der Kugel durch den Fall erzeugt wird. Weil also nach des Autoris Regel heraus gebracht worden

$$\sqrt{b} = \frac{k(Pfg + phh)}{pah\sqrt{2h}},$$

so sieht man, daß dieselbe nicht richtig ist. Der Autor hat sich darinne versehen, daß er geglaubt, die Bewegung des Penduli geschehe eben, als wenn das ganze Gewicht, welches er gefunden, im Punkt V vereinigt wäre, da doch dieses nur vom Centro oscillationis gilt. Um also die vom Autore gefundene Geschwindigkeit der Wahrheit gemäß einzurichten, so muß man dieselbe noch durch $\sqrt{\frac{Pgh + phh}{Pfg + phh}}$ multipliciren. Dahero wenn h grösser ist als f , so findet der Autor die Geschwindigkeit der Kugel zu klein; zu groß aber, wenn h kleiner als f . Der Unterschied wird aber gemeinlich so klein seyn, daß man denselben leicht aus der Acht lassen kann. Denn da p in Ansehung des P und der Unterschied zwischen f und h sehr klein ist, so muß die vom Autore gefundene Geschwindigkeit noch mit $1 + \frac{h-f}{2f}$ multiplicirt werden, welches in seinem Exempel

$$1 + \frac{3\frac{1}{3}}{2 \cdot 62\frac{2}{3}} = 1 + \frac{5}{188}$$



beträgt: folglich müssen zu der oben gefundenen Geschwindigkeit von 1632 Engl. Schuen in einer Secunde noch 43 Schuh addirt werden, daher heraus kommt 1675 Engl. Schuh in einer Secunde; welcher Unterscheid gleichwohl noch ziemlich merklich ist.

Weil p in Ansehung des P über die maassen klein ist, so wird bey nahe seyn

$$V(Pg + ph)(Pfg + phh) = PgVf + \frac{1}{2}phVf + \frac{1}{2}phh:Vf = \frac{Pfg + \frac{1}{2}ph(f+h)}{Vf},$$

folglich

$$Vb = \frac{PgkVf}{pahV^2} + \frac{k(f+h)}{2aV^2f} = \frac{k}{a} \left(\frac{Pg}{ph} + \frac{f+h}{2f} \right) \sqrt{\frac{f}{2}}.$$

Man setze also die blossе Zahl

$$\frac{k}{a} \left(\frac{Pg}{ph} + \frac{f+h}{2f} \right) = n,$$

und exprimire f in tausendsten Theilchen eines Rheinl. Schuhs, so wird die Kugel mit der Geschwindigkeit, womit sie auf das Pendulum gestossen, in einer Secunde $\frac{n}{4}\sqrt{\frac{f}{2}}$ Rheinl. Schuhe durchlaufen können. Da nun in dem von dem Autore angeführten Exempel ist:

$$k = 17\frac{1}{4}, \quad a = 71\frac{1}{8}, \quad P = 56\frac{3}{16} \alpha, \quad p = \frac{1}{12} \alpha, \quad g = 52, \quad h = 66, \quad f = 62\frac{2}{3},$$

so ist

$$\frac{k}{a} = 0,24253, \quad \frac{P}{p} = 674,25, \quad \frac{g}{h} = 0,788, \quad \frac{Pg}{ph} = 531,309, \quad \frac{f+h}{2f} = 1,032,$$

$$\frac{Pg}{ph} + \frac{f+h}{2f} = 532,341,$$

folglich

$$n = 129,109 \quad \text{und} \quad \frac{n}{4} = 32,277;$$

ferner ist

$$f = 62\frac{2}{3} \text{ Zoll} \quad \text{und} \quad \frac{f}{2} = 2532,78^1)$$

dahero

$$\sqrt{\frac{f}{2}} = 50,326 \quad \text{und} \quad \frac{n}{4} \sqrt{\frac{f}{2}} = 1624,37.$$

¹⁾ f ist in englischem Maß und $\frac{f}{2}$ in Tausendsteln des rheinländischen Schuhs angegeben.
Im Original 2532,75. F. R. S.

Also würde die Kugel in einer Secunde 1624 Rheinl. Schuh, oder fast 1675 Engl. Schuh haben zurück legen können.

Hierbey wird auch nicht undienlich seyn zu untersuchen, wie weit die Kugel in das Brett hinein dringt. Denn da die widerstehende Gewalt des Holtzes V bey nahe allenthalben einerley ist, so entsteht aus der Aequation

$$du = -\frac{V}{p}(dx + dy)$$

durch die Integration

$$u = b - \frac{V}{p}(x + y)$$

und also

$$x + y = \frac{p(b-u)}{V};$$

die andere Aequation aber

$$dv = \frac{Vhh dx}{Pfg}$$

gibt

$$v = \frac{Vhhx}{Pfg},$$

also

$$x = \frac{Pfgv}{Vhh}.$$

Nach geendigtem Stoß aber wird

$$v - u = \frac{p^2 h^2 b}{(Pfg + phh)^2} = s$$

und also die Tiefe vu

$$= y = \frac{pb}{V} - \frac{s}{Vh^2} (Pfg + phh) = \frac{pb}{V} - \frac{p^2 h^2 b}{V(Pfg + phh)} = \frac{Ppbfg}{V(Pfg + phh)}.^1)$$

Hieraus erhellet, daß je grösser die Distantz DV angenommen wird, je weniger die Kugel hinein dringe. Eben diese Tiefe vu wird auch verringert, je kleiner das Momentum inertiae des Penduli Pfg ist. Da nun das Pendulum seine gehörige Stärke haben muß, so ist diese Verringerung nicht anders in in unserer Gewalt, als daß man das Pendulum so lang, und unten so leicht mache, als immer möglich ist, und dann die Kugel gegen das unterste Ende

¹⁾ Im Original $\dots \frac{pb}{V} - s(Pfg + phh) = \dots$ Berichtigt von F. R. S.



desselben loßschiesse. Wenn man dieses beobachtet, so wird man vielleicht ein solches Pendulum zu Stande bringen können, wodurch man nicht nur von Pistolen- und Mülketen-Kugeln, wie der Autor gethan, sondern auch von Canonen-Kugeln die Geschwindigkeit zu bestimmen im Stande seyn wird.

VIERTE ANMERKUNG

Die Regel, welche der Autor giebt, um die Geschwindigkeit einer Kugel aus der Stärke des Stosses zu finden, hat also nur alsdenn ihre Richtigkeit, wenn die Kugel gegen das Centrum oscillationis des Penduli geschossen wird: geschieht aber der Schuß entweder tiefer oder höher, so wird im erstern Fall nach des Autoris Regel die Geschwindigkeit der Kugel zu klein, im letztern aber zu groß heraus gebracht. Es scheint aber, daß in den meisten von dem Autore angestellten Experimenten der Schuß unter dem Centro oscillationis geschehen, und daher müssen die von ihm bestimmten Geschwindigkeiten zu klein seyn.

Es kommt aber hier noch ein anderer Umstand zu betrachten vor, welcher von dem Autore übergangen worden, und gleichfalls verursacht, daß die Geschwindigkeit grösser wird, als die bißherige Rechnung ausweist. Dieser Umstand ist die Resistenz der Luft, davon die Wirkung darinne besteht, daß das Pendulum von dem Stoß nicht so weit von seiner natürlichen Lage weggetrieben wird, als geschehen würde, wenn kein Widerstand vorhanden wäre. Da nun in der Rechnung angenommen worden, daß das Pendulum nach dem Stoß so hoch steige, als wenn keine Hinderniß wäre, so ist klar, daß die wahre Länge der Sehne LI (Fig. 5), aus welcher die Geschwindigkeit der Kugel bestimmt werden muß, größer ist, als das Experiment anzeigt; weswegen folglich auch die Geschwindigkeit der Kugel um eben so viel vermehrt werden muß. Ungeachtet aber dieser Unterscheid sehr geringe ist, indem bey dem ersten Schwung die von der Luft verursachte Verminderung der Bewegung gemeinlich nicht sehr merklich ist, so wollen wir doch diese Wirkung der Luft einigermaßen untersuchen, damit wir völlig versichert seyn können, ob man dieselbe ohne Fehler aus der Acht lassen könne oder nicht? Wir wollen zu diesem Ende die hintere Fläche des Penduli, auf welche die Resistenz der Luft geschieht, in irgend einer Stelle während dem Auf-

steigen betrachten. Es sey also die Geschwindigkeit, womit das unterste Punkt L sich um die Axe EF (Fig. 7) bewegt, $= Vv$ oder gleich derjenigen Geschwindigkeit, welche ein Körper, so durch die Höhe v herunter fällt, erlangt; und die Entfernung dieses untersten Punktes L von der Axe EF sey, wie wir schon vorher gesetzt, $DL = a$. Man ziehe ferner auf der Fläche dieses Penduli nach Belieben eine Horizontal-Linie MPM , und nenne $DP = x$; so wird die Geschwindigkeit eines jeglichen Punkts in dieser Linie seyn $\frac{x}{a} Vv$; und folglich die Höhe, aus welcher diese Geschwindigkeit erzeugt wird, $= \frac{xxv}{aa}$. Der Widerstand der Luft gegen diese Linie MPM ist also eben so groß, als wenn eine Luft-Säule, deren Höhe $= \frac{xxv}{aa}$, darauf druckte. Wenn wir nun die Breite $MM = b$ setzen, und die Linie mm unendlich nahe mit MM parallel ziehen, so wird der Raum $MmmM = bdx$, und der Druck, den derselbe von der Luft aussteht,

$$= \frac{bv}{aa} xdx.$$

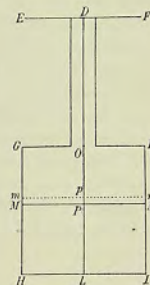


Fig. 7.

Weil aber hier nicht sowohl der Druck selbst, als dessen Moment in Betrachtung kommt, so wird das Moment

$$= \frac{bv}{aa} x^2 dx,$$

wovon das Integrale ist

$$= \frac{bv}{aa} \left(\frac{1}{4} x^4 - \frac{1}{4} DO^4 \right).$$

Man setze also $DO = c$, und mache $x = a$, so kommt das Moment der Resistenz, welche die Fläche $GHIK$ empfindet,

$$= \frac{bv}{4aa} (a^4 - c^4).$$

Die Resistenz des schmalen Theils DO kann, in Ansehung der gefundenen, theils wegen der kleinen Fläche DO , theils wegen des noch mehr verringerten Moments, aus den Augen gesetzt werden. Das Moment der Resistenz ist also gleich $\frac{b(a^4 - c^4)}{4aa} v$; um dieses gehörig auszudrücken, so rechne man das



Gewicht der Luft, welche den Raum $\frac{b(a^4 - c^4)}{4aa}$, oder das Gewicht des Wassers, welches den Raum $\frac{b(a^4 - c^4)}{3456aa}$ ausfüllet, aus, und setze dieses Gewicht $= R$, so wird das Moment der Resistenz der Luft seyn $= Rv$.

Lasst uns nun setzen, das Pendulum sey in seinem Hinaufsteigen in die Stelle DI (Fig. 5) gekommen und der Winkel LDI sey $= \varphi$. Die Geschwindigkeit des Punkts l sey, wie oben gesetzt worden, $= Vv$, die Geschwindigkeit aber des Punkts L im Anfange des Schwungs sey $= Vi$. Wenn sich nun das Pendulum DI aus dieser Stelle noch weiter von DL entfernt, so steht ihm sowohl seine Schwere, als die Resistenz der Luft im Wege: von dieser ist das Momentum, wie wir gefunden $= Rv$, wenn nemlich das Gewicht R auf gemeldte Art bestimmt worden. Die Schwere aber des Penduli, welche $= P$, wükt, als wenn sie ganz im Centro gravitatis q concentrirt wäre, und da die Distanz $Dq = DQ = g$, so wird das Momentum seyn $= Pg \sin. \varphi$. Das Momentum der Materie aber des ganzen Penduli ist, wie wir oben gesehen, $= Pfg$. Dahero die verminderte Kraft der Bewegung absolute ist

$$= \frac{Pg \sin. \varphi + Rv}{Pfg};$$

im Punkt l aber wird diese Kraft

$$= \frac{Pag \sin. \varphi + Rva}{Pfg}.$$

Indem also das Punkt l durch das Elementum des Bogens LI , welches ist $ad\varphi$, fortgeht, so wird seyn

$$dv = \frac{-Pa^2 g d\varphi \sin. \varphi - Ra^2 v d\varphi}{Pfg} = \frac{-a^2 d\varphi \sin. \varphi}{f} - \frac{Ra^2 v d\varphi}{Pfg}$$

oder

$$dv + \frac{Ra^2 v d\varphi}{Pfg} = \frac{-a^2 d\varphi \sin. \varphi}{f}.$$

Um diese Aequation integrabel zu machen, so multiplicire man dieselbe durch $e^{Ra^2 \varphi / Pfg}$, wo e die Zahl bedeutet, deren Logarithmus hyperbolicus $= 1$, oder man nenne um der Kürze willen $\frac{Ra^2}{Pfg} = m$, und multiplicire mit $e^{m\varphi}$, so hat man

$$e^{m\varphi}(dv + mvd\varphi) = \frac{-a^2}{f} e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi,$$

wovon das Integrale ist

$$e^{m\varphi} v = \frac{-a^2}{f} \int e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi.$$

Da nun $-\int d\varphi \sin. \varphi = \cos. \varphi$, so ist

$$-\int e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi = e^{m\varphi} \cos. \varphi - m \int e^{m\varphi} d\varphi \cos. \varphi.$$

Und weil $\int d\varphi \cos. \varphi = \sin. \varphi$, so wird seyn

$$\int e^{m\varphi} d\varphi \cos. \varphi = e^{m\varphi} \sin. \varphi - m \int e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi,$$

und also

$$-\int e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi = e^{m\varphi} (\cos. \varphi - m \sin. \varphi) + mm \int e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi.$$

Woraus entspringt

$$-\int e^{m\varphi} d\varphi \sin. \varphi = \frac{e^{m\varphi} (\cos. \varphi - m \sin. \varphi)}{1 + mm}.$$

Dahero erhalten wir diese Aequation:

$$e^{m\varphi} v = \frac{e^{m\varphi} aa (\cos. \varphi - m \sin. \varphi)}{(1 + mm)f} + \text{Const.}$$

Diese Constans muß aus dem Anfange der Bewegung, welcher bekannt angenommen worden, bestimmt werden. Denn, wenn man setzt $\varphi = 0$, so wird $v = i$, und also bekommt man

$$i = \frac{aa}{(1 + mm)f} + \text{Const.},$$

folglich

$$\text{Const.} = i - \frac{aa}{(1 + mm)f}.$$

Derowegen ist

$$e^{m\varphi} v = i - \frac{aa - e^{m\varphi} aa (\cos. \varphi - m \sin. \varphi)}{(1 + mm)f}.$$

Wenn wir nun setzen, daß DI die höchste Stelle anzeige, zu welcher das Pendulum im ersten Schwung gelangen kann, und wo dasselbe wiederum herunter zu fallen beginnt, so wird daselbst $v = 0$, und also

$$(1 + mm)fi = aa - e^{m\varphi} aa (\cos. \varphi - m \sin. \varphi).$$



Alsdenn aber wird die Sehne des Bogens $Ll = k$, als welche durch das Experiment erkannt wird. Dahero ist

$$\sin. \frac{1}{2} \varphi = \frac{k}{2a}, \quad \cos. \frac{1}{2} \varphi = \sqrt{1 - \frac{kk}{4aa}}$$

und weiter

$$\cos. \varphi = 1 - \frac{kk}{2aa} \quad \text{und} \quad \sin. \varphi = \frac{k}{a} \sqrt{1 - \frac{kk}{4aa}};$$

folglich

$$(1 + mm)fi = aa - e^{m\varphi}aa \left(1 - \frac{kk}{2aa} - \frac{mk}{a} \sqrt{1 - \frac{kk}{4aa}}\right)$$

oder

$$(1 + mm)fi = aa - e^{m\varphi} \left(aa - \frac{1}{2}kk - \frac{1}{2}mk\sqrt{4aa - kk}\right).$$

Wenn aber die Resistenz völlig verschwände, so würde $m = 0$, und die Sehne Ll etwas grösser, als k . Lasst uns also setzen, die Sehne werde in diesem Fall $= s$, so kömmt heraus $fi = \frac{ss}{2}$. Solchergestalt kan man den unbekannten Buchstaben i aus der Rechnung bringen, da dann kommt:

$$(1 + mm)ss = 2aa - e^{m\varphi}(2aa - kk - mk\sqrt{4aa - kk}),$$

aus welcher man die wahre Länge der Sehne s , welche statt finden würde, wenn keine Resistenz da wäre, und welche man in der Rechnung statt der observirten Sehne k gebrauchen muß, finden kann. Denn a , k und der Bruch $m = \frac{Raa}{P\gamma g}$ sind bekannt, und φ ist der Winkel, dessen Helfte zum Sinu hat $\frac{k}{2a}$; wenn der Sinus totus¹⁾ = 1 angenommen wird. Diese Rechnung kan aber auf zweyerley Art erleichtert werden. Erstlich weil die Resistenz sehr geringe ist, so wird m ein so kleiner Bruch, daß man für $e^{m\varphi}$ setzen kann $1 + m\varphi$, indem die höheren Dignitäten²⁾ des m ohne Fehler ausgelassen werden können. Dahero wird

$$(1 + mm)ss = kk - 2maaq + mkkq + mk\sqrt{4a^2 - k^2}$$

oder

$$ss = kk - 2maaq + mkkq + mk\sqrt{4aa - kk}.$$

Zweytens ist auch gemeiniglich in dergleichen Experimenten der Winkel LDl

1) Sinus totus ist sin. 90°. F. R. S.

2) Das Wort Dignität bedeutet Potenz. F. R. S.

von wenig Graden, und dahero der Sinus des halben Winkels φ dem Bogen selbst beynahe gleich. Dahero wird

$$\frac{1}{2} \varphi = \frac{k}{2a} + \frac{k^3}{48a^3} \quad \text{und} \quad \varphi = \frac{k}{a} + \frac{k^3}{24a^3}$$

und also

$$ss = kk - 2mak - \frac{mk^3}{12a} + \frac{mk^3}{a} + mk\sqrt{4aa - kk}.$$

Weil aber k in Ansehung des $2a$ so sehr klein, so ist

$$\sqrt{4aa - kk} = 2a - \frac{kk}{4a},$$

und folglich

$$ss = kk + \frac{2mk^3}{3a} \quad \text{oder} \quad s = k + \frac{mkk}{3a},$$

weilen wir die höheren Dignitäten von h sicher weg lassen können. In der obbeschriebenen Rechnung müssen wir also an statt der Sehne k diesen jetztgefundenen Werth $k + \frac{mkk}{3a}$ gebrauchen; und da die Geschwindigkeit der Kugel der Sehne k selbst proportional ist, so erhält man die wahre Geschwindigkeit der Kugel, wenn man die gefundene Geschwindigkeit noch mit $1 + \frac{mk}{3a}$ multipliciret, und auf diese Art kann man diese Correction, so oft dieselbe merklich ist, leicht anstellen.

Wir wollen die Probe an dem von dem Autore angeführten Exempel machen. Derselbe beschreibt zwar nicht, wie groß sein Brett, welches er auf das Pendulum geschraubt, gewesen, es scheint aber, daß dasselbe zum wenigsten 2 Schuh lang, und eben so breit gewesen. Da nun die gantze Länge $DL = a = 71\frac{1}{8}$ Zoll, so wird in Schuhen seyn $a = 5,927$, also $c = 3,927$, und $b = 2$ Schuh. Dahero ist

$$a^4 = 1234,07$$

$$c^4 = 237,82$$

$$a^4 - c^4 = 996,25$$

und

$$b(a^4 - c^4) = 1992,50$$

folglich

$$\frac{b(a^4 - c^4)}{3456aa} = 0,01641.$$



Dieser Raum hält also $\frac{1641}{100000}$ Cubische Schuh. Da nun ein Cubischer Schuh Wasser ungefähr 70 μ wiegt, so wird das Gewicht $R = 1,1487 \mu$. Es ist aber $P = 56,187 \mu$ und gleichfalls in Schuen $f = 5,222$ und $g = 4,333$. Dahero wird

$$m = \frac{Raa}{Pfg} = 0,03174,$$

und da $k = 1,4375$ Schuh, so bekommt man:

$$\frac{mk}{3a} = 0,002566^1),$$

das ist beynahe

$$\frac{mk}{3a} = \frac{1}{400}.$$

Derowegen ist die durch obige Methode gefundene Geschwindigkeit um $\frac{1}{400}$ zu klein. Da wir nun gefunden²⁾, daß die Kugel in einer Secunde 1675 Englische Schuh fort gegangen, so trägt diese Correction nicht mehr als 4 Schuh aus, dergestalt, daß die Kugel in einer Secunde 1679 Schuh hätte laufen können. Der Autor hat nun für diesen Fall nur 1641 Schuh gefunden, da doch nach seiner eigenen Regel nur 1632 hätten heraus kommen sollen. Weil aber seine Regel selbst unrichtig, so war aus diesem Grunde schon diese Geschwindigkeit um 43 Schuh zu klein. Welcher Fehler also noch durch die Resistenz der Luft um 4 Schuh vermehret wird, dergestalt, daß des Autoris Regel in diesem Exempel die Geschwindigkeit der Kugel in einer Secunde um 47 Schuh zu klein angiebt, welcher Unterscheid nach seinen eigenen Gründen allzugroß ist, als daß man denselben aus der Acht lassen könnte. Wir haben aber allhier die Resistenz noch gewiß zu klein angenommen, und dabey auch nicht auf die Reibung der Axe gesehen, welche auch noch etwas austragen würde: dergestalt, daß man sicher behaupten kann, daß die Kugel, womit das Experiment angestellt worden, in einer Secunde zum wenigsten 1680 Englische Schuhe durchlaufen haben würde.

1) Im Original 0,002566. Berichtigt von F. R. S.

2) Siehe p. 112. F. R. S.

NEUNTER SATZ

Die wirklichen Geschwindigkeiten, womit Kugeln von unterschiedener Art aus Schieß-Gewehren getrieben werden, mit der Theorie zu vergleichen.

Wie man die Geschwindigkeit, mit welcher eine Kugel wirklich fortgetrieben wird, durch die Erfahrung bestimmen soll, ist in dem vorigen Satz weitläufig erklärt worden; und wie man die Geschwindigkeit aus der Kraft des Pulvers, und der Beschaffenheit des Gewehres, nach unserer Theorie ausrechnen soll, solches ist in dem sechsten Satz gleichfalls vollständig gewiesen worden. Dahero wollen wir hier diese beyden Geschwindigkeiten, welche die Theorie und die Experiencz anzeigt, gegen einander halten, und dadurch darthun, wie genau die Theorie mit den wirklichen Bewegungen der Kugeln übereinstimme, ungeachtet dieselbe auf solche Sätze gegründet worden, welche mit diesen Experimenten keineswegs verknüpft sind.

Die ersten Experimente, welche ich hier beschreiben werde, sind mit einem Lauf, so mit demjenigen, welcher in dem Exempel des 6ten Satzes gebraucht worden, einerley Ausmessungen hatte, angestellt worden. Die Kugel hielte $\frac{3}{4}$ Zoll im Diameter, die Länge des gantzen Laufs war 45 Zoll, und die Pulver-Kammer $2\frac{5}{8}$ Zoll lang; welche, da der Lauf im Diameter ungefähr um $\frac{1}{40}$ weiter war, als der Diameter der Kugel, accurat 12 Drachmas Pulver einschliessen konnte.

Das Gewicht der Kugel, so gebraucht worden, war $\frac{1}{12} \mu$ Avoir du poise, und folglich einerley mit dem Exempel des siebenten Satzes; das Brett am Pendulo aber war in gegenwärtigem Fall um 4 μ leichter, als in gemeldtem Exempel. Aus diesen Umständen läßt sich nun erstlich nach der Theorie die Geschwindigkeit der Kugel, und aus dieser ferner die Sehne Ll des Bogens, welchen das Pendulum nach dem Stoß beschreiben muß, ausrechnen: welche, wenn die Theorie richtig ist, mit der Länge, so das Band im Experiment anzeigt, völlig einerley seyn muß. Wie genau aber diese Uebereinstimmung in unsern Experimenten eintreffe, erhellet aus folgender Tabelle.



No.	Gewicht des Pulvers in Drachm.	Sehne des beschriebenen Bogens auf dem Band gemessen Zoll	Eben dieselbe nach der Theorie Zoll	Fehler der Theorie Zoll
1	12	18,7	19,0	+ ,3
2	12	19,6	19,0	— ,6
3	6	13,6	13,4	— ,2

Die nächstfolgenden Experimente sind mit eben diesem Lauf angestellt worden; allein das Bret am Pendulo war jetzt etwas schwerer, als in dem Exempel des 7ten Satzes. Hier ist auch nicht immer der ganze Raum hinter der Kugel mit Pulver angefüllt worden. Dahero in der folgenden Tabelle die Länge des Raums hinter der Kugel *AF* (Fig. 1) besonders bemercket wird:

No.	Raum hinter der Kugel <i>AF</i> (Fig. 1) in Zoll	Gewicht des Pulvers in Drachm.	Sehne des Bogens auf dem Band gemessen Zoll	Eben dieselbe sollte nach der Theorie seyn Zoll	Fehler der Theorie Zoll
4	$2\frac{5}{8}$	6	11,9	12,1	+ ,2
5	$2\frac{5}{8}$	6	12,2	12,1	— ,1
6	$1\frac{1}{4}$	6	13,2	13,6	+ ,4
7	$1\frac{1}{4}$	6	13,9	13,6	— ,3
8	$2\frac{5}{8}$	12	16,7	17,2	+ ,5
9	$2\frac{5}{8}$	12	17,5	17,2	— ,3
10	$2\frac{5}{8}$	12	16,9	16,8	— ,1
11	$2\frac{5}{8}$	12	17,0	16,8	— ,2
12	$2\frac{5}{8}$	6	11,7	11,5	— ,2
13	$2\frac{5}{8}$	6	11,1	11,5	+ ,4
14	$2\frac{5}{8}$	12	16,7	16,3	— ,4

Die letzten fünf aus der Theorie entsprungenen Zahlen sind wegen der vielen Kugeln, welche schon im Bret steckten, corrigirt worden; deren Ge-

wicht, weil inzwischen viele andere Experimente angestellt worden, schon über 2 *u* angewachsen war. Um dieser Ursache willen, da das Gewicht des Penduli vermehrt worden, so muß die Weite des durch den Stoß verursachten Schwungs nach Proportion vermindert werden.

Die folgenden Experimente sind mit einem andern Lauf, der mit dem vorigen einerley Caliber hatte, aber nur 12,375 Zoll lang war, angestellt worden. Um nun diesen von dem vorigen zu unterscheiden, so wollen wir die Experimente, so mit dem ersten Lauf angestellt worden, mit dem Buchstaben *A*, diejenigen aber, wo wir diesen kürzern gebraucht, mit dem Buchstaben *C* bezeichnen. Das Bret, so auf das Pendulum geschraubt worden, war anfänglich etwas leichter, als dasjenige, welches bey dem Exempel des siebenten Satzes gebraucht und beschrieben worden.

No.		Raum <i>AF</i> (Fig. 1) Zoll	Gewicht des Pulvers Drachm.	Sehne des Bogens auf dem Band gemessen Zoll	Eben dieselbe nach der Theorie Zoll	Fehler der Theorie Zoll
15	<i>C</i>	$2\frac{5}{8}$	12	12,7	12,8	+ ,1
16	<i>C</i>	$2\frac{5}{8}$	12	12,6	12,8	+ ,2
17	<i>C</i>	$2\frac{5}{8}$	12	12,4	12,8	+ ,4
18	<i>A</i>	$2\frac{5}{8}$	12	17,0	17,3	+ ,3
19	<i>A</i>	$2\frac{5}{8}$	12	17,2	17,2	0
20	<i>A</i>	$2\frac{5}{8}$	12	17,1	17,2	+ ,1
21	<i>A</i>	$2\frac{5}{8}$	12	17,2	17,2	0
22	<i>A</i>	$2\frac{5}{8}$	6	12,4	12,2	— ,2

In einigen von den folgenden Versuchen ist ein dritter Lauf gebraucht worden, dessen Caliber mit den beyden vorigen einerley, die Länge aber nur 24,312 Zoll war. Diesen Lauf wollen wir mit dem Buchstaben *B* von den andern unterscheiden. Das Brett, so auf das Pendulum befestigt worden, war anfänglich nur um etwas wenig schwerer, als das in dem siebenten Satz. Weil nun dasselbe durch die vielen Versuche merklich am Gewicht zugenommen, so habe ich auch die aus der Theorie entsprungenen Zahlen gehöriger massen vermindert.



No.		Raum hinter der Kugel AF (Fig. 1) Zoll	Gewicht des Pulvers Drachm.	Sehne des Bogens auf dem Band gemessen Zoll	Eben dieselbe nach der Theorie Zoll	Fehler der Theorie Zoll
23	A	$2\frac{5}{8}$	12	17,1	17,2	+1
24	A	$2\frac{5}{8}$	9	15,2	15,0	-,2
25	A	$2\frac{5}{8}$	9	15,4	15,0	-,4
26	C	$2\frac{5}{8}$	12	11,5	12,8	+1,3
27	C	$2\frac{5}{8}$	12	11,5	12,8	+1,3
28	C	$2\frac{5}{8}$	6	8,7	9	+3
29	C	$2\frac{5}{8}$	12	12,3	12,5	+2
30	B	$2\frac{5}{8}$	12	14,4	14,4	0
31	B	$2\frac{5}{8}$	12	14,4	14,4	0
32	B	$2\frac{5}{8}$	6	10,3	10,5	+2
33	A	$1\frac{3}{4}$	8	14,7	14,5	-,2
34	A	4	12	15,7	15,3	-,4

Der Fehler in dem 26 und 27sten Experiment, als welcher viel grösser ist, als bey irgend einem andern Experiment, so ich angestellt, kommt, wie ich muthmaße, von einem Versehen in der Abwägung des Pulvers her, oder weil der Lauf, (welcher in der That vorher an einem feuchten Ort gelegen) etwas dampfig angelauten war; welcher Umstand, wie ich durch die Erfahrung befunden, der Gewalt des Pulvers sehr merklich Abbruch that.

Die folgenden Experimente sind mit einem weit schwehern Pendulo gemacht worden. Das Gewicht desselben war 97 $\frac{1}{2}$, sein Centrum gravitatis war 55,625 Zoll von der Axe entfernt, und 200 kleine Schwingungen desselben geschahen in einer Zeit von $255\frac{1}{4}$ Secunden: dahero das Centrum oscillationis von der Axe 63,9 Zoll entfernt gewesen seyn muß. Ueber dieses ist auch bißweilen ein anderer Lauf, so nur 7,06 Zoll lang war, und im Caliber 0,83 hielt, gebraucht worden, in welchen die Kugel so gedrängt hinein gieng, daß kein Spielraum übrig blieb; das Gewicht der Kugel war $33\frac{1}{2}$ Drachm. Dieser Lauf soll mit dem Buchstaben D angedeutet werden.

1) In EULERS Übersetzung 265 $\frac{1}{4}$, dagegen im englischen Original 255 $\frac{1}{4}$. F. R. S.

No.		Raum hinter der Kugel AF (Fig. 1) Zoll	Gewicht des Pulvers Drachm.	Sehne des Bogens auf dem Band gemessen Zoll	Eben dieselbe nach der Theorie Zoll	Fehler der Theorie Zoll
35	A	$2\frac{5}{8}$	12	9,2	9,2	0
36	A	$2\frac{5}{8}$	12	9,5	9,2	-,3
37	A	$5\frac{1}{4}$	24	11,7	11,3	-,4
38	A	$7\frac{7}{8}$	36	13,2	12,6	-,6
39	A	$2\frac{5}{8}$	12	9,3	9,1	-,2
40	A	$1\frac{3}{4}$	8	7,6	8,1	+5
41	C	$2\frac{5}{8}$	12	6,1	6,6	+5
42	C	$2\frac{5}{8}$	12	6,5	6,6	+1
43	B	$2\frac{5}{8}$	12	8,0	8,2	+2
44	B	$2\frac{5}{8}$	12	8,3	8,2	-,1
45	A	$2\frac{5}{8}$	12	9,5	9,1	-,4
46	A	$2\frac{5}{8}$	12	9,1	9,1	0
47	A	$2\frac{5}{8}$	6	7,2	6,5	-,7
48	A	$2\frac{5}{8}$	6	6,7	6,5	-,2
49	C	$2\frac{5}{8}$	12	6,8	6,7	-,1
50	C	$2\frac{5}{8}$	12	7,5	6,7	-,8
51	C	$2\frac{5}{8}$	6	4,7	4,8	+1
52	C	$2\frac{5}{8}$	6	5,0	4,8	-,2
53	D	$2\frac{1}{4}$	12	7,0	7,2	+2
54	D	$2\frac{5}{8}$	12	7,1	6,8	-,3
55	D	$2\frac{5}{8}$	6	4,7	4,8	+1
56	D	$2\frac{5}{8}$	6	4,8	4,8	0
57	A	$2\frac{1}{16}$	6	6,4	6,5	+1
58	A	$2\frac{1}{16}$	6	6,4	6,5	+1
59	A	$2\frac{1}{16}$	6	6,6	6,5	-,1
60	A	$2\frac{1}{16}$	6	6,7	6,5	-,2
61	A	$2\frac{1}{16}$	12	9,0	9,1	+1



Der Fehler in dem 50sten Experiment, so in dieser Reihe der grösste ist, wurde ohne Zweifel von dem Wind verursacht: denn das 49ste, welches unmittelbar vorher auf eben die Art und mit einer gleichen Menge Pulver angestellt worden, weicht nur sehr wenig von der Theorie ab. Der Ueberschuß bey dem 38ten Experiment über die Theorie kam zum Theil von dem Stoß der Flammen gegen das Pendulum her, welcher Umstand bey dieser starken Ladung deutlich bemerkt werden konnte.

Diese Theorie wird auch ferner durch solche Experimente, wo sehr wenig Pulver zur Ladung genommen worden, bekräftiget. Wir haben bißher angenommen, daß das Pulver, wenn es sich entzündet, mit einem biß zur weissen Hitze geblühten Eisen einerley Grad der Hitze bekomme. Wir haben aber auch bemerkt, daß bey einer kleinen Quantität Pulver die Hitze geringer seyn müße: folglich wird in diesen Fällen die Kraft des Pulvers kleiner, als die vorige Regel anzeigt.

Diesen Abgang der Gewalt bei kleinen Ladungen haben wir auch wirklich in vielen Experimenten wahrgenommen. Laßt uns zu diesem Ende hier das Exempel des 7ten Satzes erweisen, wo nach der Theorie die Geschwindigkeit der Kugel beyläufig 1670 Schuh in einer Secunde seyn sollte, und eben diese Geschwindigkeit wird auch durch die Experimente, wenn man zwischen den gefundenen Zahlen ein Mittel nimmt, heraus gebracht. Wenn man nun eben diesen Lauf, und eben denselben Platz der Kugel darin beybehält, anstatt aber 12 Drachm. Pulver, so viel nehmlich an gemeldetem Orte genommen worden, nur eine Drachmam ladet, so folget aus den daselbst angenommenen Grund-Sätzen, daß, wenn die Elasticität in der kleinern Ladung nach Proportion eben so groß wäre, als in der grössern, alsdenn die Geschwindigkeit der Kugel, welche mit der kleinern Ladung geschossen wird, sich zu der Geschwindigkeit, welche durch die grössere Ladung hervor gebracht wird, verhalten müßte, wie die Quadrat-Wurzeln aus der Quantität des Pulvers in den beyden Ladungen, das ist, wie 1 zu $\sqrt{12}$. Da nun die Geschwindigkeit, welche 12 Drachm. geben, ist 1670 Schuh in 1", so müßte die Geschwindigkeit, welche nur durch 1 Drachm. hervorgebracht wird, ungefehr 482 Schuh in 1" betragen. Ich habe aber durch öfters wiederholte Versuche, welche alle sehr wenig von einander unterschieden waren, befunden, daß die wirkliche Geschwindigkeit, welche die Kugel in diesem Fall mit der Ladung von 1 Dr. bekommt, sich kaum auf 400 Schuh in 1" belaufe. Woraus klar ist, daß die Ausdehnungs-Kraft von einer Dr. Pulver, wenn dieselbe Feuer fängt, kleiner ist, als in unserer Theorie angenommen worden.

Gleichergestalt, wenn in eben diesem Exempel 3 Dr. Pulver geladen werden, so habe ich durch viele Experimente die wirkliche Geschwindigkeit der Kugel nicht grösser, als 720 bis 740 Schuh in 1" befunden; da dieselbe doch nach der Theorie, wenn aus 3 Dr. Pulver eine eben so starke Elasticität erzeugt würde, als aus 12 Dr., in einer Secunde 835 Schuh seyn müßte. Hieraus folget also, daß bey der Entzündung von 3 Dr. Pulver die Elasticität, und folglich auch die Hitze geringer seyn müße, als wenn 12 Dr. angezündet werden, wie die Theorie erfordert.

Diese geringeren Grade der Elasticität des Pulvers, wenn wenig zugleich entzündet wird, verhalten sich zu demjenigen Grad, welchen wir für grössere Quantitäten oben fest gesetzt, wie die Quadrata der Geschwindigkeiten, welche der Kugel in eben demselben Lauf eingedrückt werden. Hieraus folget, daß die Elasticität bey der Entzündung einer Drachm. sich zur Elasticität bey der Entzündung 12 Drachm. unter einerley Umständen verhalte, wie 2 zu 3, und daß die Elasticität bey der Entzündung 3 Drach. sich zur Elasticität bey der Entzündung 12 Drach. verhalte, beynahe wie 3 zu 4; wenn man nehmlich annimmt, daß diese geringern Elasticitäten auch gleichförmig in allen Theilen der Ausdehnung abnehmen. Allein, dieser Umstand findet hier nach aller Wahrscheinlichkeit nicht statt. Denn da das Abnehmen der Elasticität von der Verminderung der Hitze herkommt, so scheint der Wahrheit vielmehr gemäß zu seyn, daß in der Entzündung geringerer Quantitäten, die Hitze nicht nur anfänglich kleiner ist, sondern auch gleichfalls hernach immer mehr abnimmt, indem die Kugel durch den Lauf fort getrieben wird, und daß folglich dieser von der Hitze verursachte Zuwachs der Elasticität um so vielmehr abnehme, je länger die Wirkung des Pulvers auf die Kugel dauret; welcher Umstand nicht Platz findet, wenn die Quantität Pulver nach dem Lauf, durch welchen dasselbe seine Gewalt ausübet, wohl proportionirt wird.

ZUSATZ

Solcher Gestalt haben wir also unsere Theorie durch die deutlichsten Proben bestätigt, welche in der Uebereinstimmung mit einer zahlreichen Menge von Experimenten, so unter allen verschiedenen Umständen, welche die Natur der Sache darreicht, angestellt worden, bestehen. Hierbey ist nun noch nöthig zu erinnern, daß diese Experimente meistens gemacht und aufgezeichnet worden sind, ehe wir einige von den Rechnungen, wodurch dieselben mit der Theorie verglichen worden, angestellt haben: ob ich gleich



schon vorher von der Wahrheit dieser Theorie, so wie dieselbe hier vorge-
tragen, überzeugt gewesen, ehe ich diese Versuche unternommen.

Die Verschiedenheit dieser Experimente, und die so genaue Ueberein-
stimmung derselben mit der Theorie, lassen uns also an der Gewißheit der-
selben im geringsten nicht mehr zweifeln. Denn wir haben die Würkung
des entzündeten Pulvers so wohl auf Kugeln von verschiedenem Gewicht, als
in Läufen von verschiedener Länge, nemlich von 7 Zoll biß 45 Zoll unter-
suchet. Wir haben auch die Ladung des Pulvers am Gewicht von 6 Drachm.
biß auf 36 Drachm. verändert, und haben auch dieselben auf verschiedene Art
angebracht, dergestalt, daß dieselbe bißweilen den gantzen Raum hinter der
Kugel angefüllet, bißweilen aber nur einen Theil dieses Raums eingenommen.
Und wir haben bey allen diesen verschiedenen Umständen befunden, daß un-
sere Theorie immer die wahre Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel her-
aus getrieben worden, angezeigt hat. Wenn auch, wie bey sehr kleinen
Ladungen geschieht, einige Ausnahme von der allgemeinen Regel, welche wir
fest gesetzt, gemacht werden muß, so war dieselbe immer so beschaffen, wie
solches die Theorie erforderte. Diese Theorie, welche so genau mit der Er-
fahrung in so verschiedenen Versuchen übereinstimmt, muß also nothwendig
auf die wahre und eigentliche Bestimmung der Gewalt und Würkung des
Pulvers gegründet seyn, weil sonst keine solche genaue Uebereinstimmung
Platz haben könnte.

In dieser Theorie, wie dieselbe hier fest gesetzt worden, wird nun be-
hauptet, daß ungefähr $\frac{5}{10}$ von der Materie des Pulvers durch die plötzliche
Entzündung in eine fortdaurende subtile und flüssige Materie verwandelt werde,
deren Elasticität in Ansehung ihrer Hitze und Dichte mit der Elasticität der
Luft unter gleichen Umständen einerley sey. Es wird ferner angenommen,
daß die ganze Gewalt, welche das Pulver in seinen heftigsten Wirkungen
ausübet, in nichts anders, als in der Ausdehnungs-Kraft dieser subtilen er-
zeugten Materie bestehe: und diese Grundsätze setzen uns, wie wir gesehen
haben, in Stand, die Geschwindigkeit der Kugeln, welche aus aller Gattung
Feuer-Röhren geschossen werden, zu bestimmen, und sind in allen Begeben-
heiten, wo es auf die Bestimmung der Gewalt des Pulvers ankommt, völlig
hinreichend. Ob aber diese subtile flüssige Materie, welche aus der Entzün-
dung des Pulvers entsteht, eine wahre und wirkliche Luft, oder ein sonder-
bares Wesen sey, wollen wir hier nicht ausmachen, weil diese Frage mit un-
serem gegenwärtigen Vorhaben auf keinerley Art in einiger Verknüpfung steht.

Aus dieser Theorie können nun viel Schlüsse von der grösten Wichtig-
keit in dem Practischen Theil der Artillerie hergeleitet werden. Hieraus läßt
sich nemlich die Dicke eines Stückes, damit dasselbe um die Gewalt des
Pulvers auszuhalten die gehörige Stärcke besitze, leicht bestimmen, indem die
Kraft des Pulvers leicht bekannt ist. Ferner erhellet hieraus auch, wie wenig
die Vorschläge einiger neuern Scribenten gegründet seyn, welche vermaynet
durch besondere Formen der Pulver-Kammer in Stücken und Mörsern einen
grösseren Vortheil zu ziehen; denn alle ihre Anschläge beruhen in diesem
Stück auf ganz unrichtigen Begriffen, welche sie von der Würkung des ent-
zündeten Pulvers hegeten. Wir lernen auch aus dieser Theorie, daß es nöthig
sey, hinter der Kugel einen gleich grossen Raum in der Canone zu lassen,
wenn durch einerley Ladung die Kugel mit einerley Geschwindigkeit heraus
getrieben werden solle; indem aus unseren Gründen erhellet, daß eben die-
selbe Quantität Pulver einen grössern oder kleinern Grad der Krafft be-
komme, nachdem der Raum, worin dasselbe eingeschlossen wird, kleiner oder
grösser ist. Der Hand-Griff, dessen ich mich, um hierinne zu einer Gewiß-
heit zu gelangen, bedienet, war, daß ich an den Setzkolben einige Zeichen
gemacht; und dieses ist ein Vortheil, welcher nicht aus der Acht zu lassen,
wenn die Canone unter einer Elevation abgefeuert wird, welches insonderheit
bei denjenigen Schüssen zu mercken ist, welche von den Franzosen Batteries
à Ricochet genannt werden.

Aus der fortdaurenden Würkung des Pulvers, und der Art der Aus-
dehnung, wie dieselbe in der Theorie beschrieben ist, nebst der Länge des
Stückes, kann einer von den fürnehmsten Umständen, welche zu einer guten
Anlage der Artillerie erfordert werden, in sein völliges Licht gesetzt werden.
Alle Practici kommen darinn überein, daß man keinen gewissen Schuß thun
könne, wann das Stück nicht auf einem festen Grund und Boden steht. Denn
wenn sich der Boden durch die erste Gewalt des Pulvers erschüttern läßt, so
muß das Stück nothwendig in seiner Richtung verrücket, und folglich der
Schuß ungewiß werden. Diesem Uebel vorzubeugen, so pflegt man gemein-
lich den Grund, worauf die Canone ruhet, rückwärts auf eine ziemliche Tiefe
sehr fest zu machen, so, daß das Stück nicht nur im ersten Anfang der Be-
wegung, sondern auch in währendem Zurückstossen, meistens immer un-
verrückt bleibe. Es ist aber genugsam klar, daß wenn die Kugel einmal aus
dem Stücke heraus gefahren, ihre Bewegung nicht weiter durch die Erschütte-
rung desselben oder des Grundes verrücket werden könne. Durch eine leichte



Rechnung aber findet man, daß die Kugel aus einem Stück, welches 10 Schuh lang, und mit einer Ladung von 16 μ Pulver eine 24 Pfündige Kugel schiesset, völlig heraus getrieben wird, ehe das Stück um einen halben Zoll zurück tritt. Dahero, wenn der Grund nur bey dem Anfang des Zurückstossens des Stückes eine genugsame Festigkeit hat, so ist es gleich viel, ob der übrige Theil des Grunds die gehörige Festigkeit habe oder nicht: indem die Erschütterung, so dasselbige, nachdem es durch den ersten $\frac{1}{2}$ Zoll zurück gegangen, bekommen möchte, keinen weitem Einfluß auf die Bewegung der Kugel haben kann. Hieraus wird man also leicht eine weit bequemere und vortheilhaftere Art, den Grund der Batterien zu befestigen, ausfindig machen, und alle überflüssige Arbeit vermeiden können.

Aus dieser Theorie erhellet auch, wie gröblich diejenigen Autores gefehlet haben, welche die Gewalt des Pulvers, oder doch zum wenigsten einen merklichen Theil derselben, bloß allein der Wirkung der Luft, welche theils in den Pulver-Körnern, theils in den Zwischen-Räumchen befindlich ist, haben zuschreiben wollen. Dieselben vermeynten, ob sie sich gleich ziemlich undeutlich hierüber erklärt hatten, daß sich diese Luft in ihrem natürlichen Zustande der Elasticität befände, und den Zuwachs der Kraft bloß allein von der Hitze bey der Entzündung erhalte. Allein, aus demjenigen, was wir oben in dem fünften Satz über die Vermehrung der Elasticität der Luft, welche durch die Hitze verursacht wird, durch die Erfahrung dargethan haben, können wir sicher schliessen, daß die Hitze der Entzündung die Elasticität der Luft nicht über fünfmal vermehren könne: folglich kann die aus diesem Grund entstehende Kraft nicht mehr, als den 200sten Theil der wirklichen Kraft, so das Pulver ausübet, betragen.

Nachdem wir also den Beweis unserer Theorie überhaupt zu Ende gebracht haben, so wollen wir zur Untersuchung einiger anderen, besonderen Umstände hierüber fortschreiten, welche, ob sie gleich aus den hier ausgeführten Grund-Sätzen gantz natürlich folgen, und leicht erklärt werden können, dennoch wegen ihrer Neuigkeit, und sonderbaren Beschaffenheit eine umständlichere Erläuterung verdienen.

ERSTE ANMERKUNG

In diesem Satz hält der Autor die nach seiner Theorie berechnete Geschwindigkeit der Kugel, und diejenige, welche die im vorigen Satz beschriebene Maschine zu erkennen giebt, gegen einander, und findet durchgehends eine so genaue Uebereinstimmung, dergleichen man von einer falschen Theorie kaum erwarten könnte. Um nun hierüber eine fleißigere Untersuchung anzustellen, so wollen wir erstlich die zu diesem Ende gemachten Versuche, und die daraus hergeleiteten Schlüsse nach demjenigen, was wir bey dem vorigen Satz angemerkt haben, in Erwägung ziehen. Wir haben aber daselbst gewiesen, daß die von dem Autore gebrauchte Regel, um aus der vermittelst des Bandes gemessenen Länge der Sehne Ll (Fig. 5) die Geschwindigkeit der Kugel zu bestimmen, unrichtig, und nur in diesem Fall der Wahrheit gemäß sey, wenn die Kugel gegen das Centrum oscillationis des Penduli selbst geschossen wird. Denn wenn man das Gewicht des Penduli durch P , das Gewicht der Kugel durch p , ausdrückt, und setzt die Länge des gantzen Penduli von der Axe biß zum Band, $DL = a$, die Entfernung des Centri gravitatis von der Axe $DQ = g$, die Entfernung des Centri oscillationis von der Axe $DS = f$, die Entfernung des Puncts V , wo die Kugel anstößt, von der Axe $DV = h$, und endlich die Länge der Sehne, welche nach dem Stoß das Band anzeigt, $Ll = k$, so wird nach des Autoris Regel die Geschwindigkeit der Kugel durch diese Formel

$$\frac{k}{a} \left(\frac{Pg}{ph} + \frac{h}{f} \right) \frac{f}{\sqrt{2h}}$$

ausgedrückt; in der That aber sollte an statt derselben diese gesetzt werden

$$\frac{k}{a} \left(\frac{Pg}{ph} + \frac{f+h}{2f} \right) \sqrt{\frac{f}{2}},$$

als welche wir oben für den Fall, da p gegen P sehr klein ist, heraus gebracht haben. In beyden ist zwar nicht auf den Widerstand der Luft gesehen worden; wir können aber denselben, indem er nur etliche wenige Schuh austrägt, sicher aus den Augen setzen. Allein, die Unrichtigkeit der vom Autore gebrauchten Regel kann öfters einen merklichen Unterschied in der Grösse der Geschwindigkeit der Kugel verursachen; wie bey dem vorher berechneten Exempel geschehen, da die vom Autore gefundene Geschwindigkeit



aus diesem Grunde um 43 Schuh zu klein heraus gekommen, welches ungefähr den 40sten Theil der ganzen Geschwindigkeit austrägt. Dieser Unterschied kommt daher, daß in diesem Versuche die Kugel unter dem Centro oscillationis S gegen das Pendulum geschossen worden, und je grösser die Distanz zwischen dem Centro oscillationis und dem Punct V , wo die Kugel anstößt, ist, um so viel mehr wird auch die nach des Autoris Regel angestellte Rechnung von der Wahrheit abweichen. Weilen in beyden Formeln die Quantitäten $\frac{h}{f}$ und $\frac{f+h}{2f}$ in Ansehung der erstern Quantität $\frac{Pg}{ph}$ sehr klein sind, so wird sich fast immer die nach des Autoris Regel gefundene Geschwindigkeit zu der wahren verhalten, wie $\sqrt{f}$ zu $\sqrt{h}$. Je mehr also h von f unterschieden ist, je grösser wird auch der Fehler seyn. Da nun der Autor, wie aus seinen Experimenten erhellet, ziemlich viel Kugeln gegen ein Bret geschossen, und doch nimmer zwey an einerley Stelle haben anstossen können, so ist klar, daß der Unterschied zwischen f und h bald grösser bald kleiner gewesen.

In dem gegenwärtigen Fall war $f = 62\frac{2}{3}$ Zoll, und die ganze Länge des Penduli $71\frac{1}{8}$ Zoll. Wenn also bey einem Experiment, wie leicht zu vermuthen, die Distanz $DV = h$ gewesen wäre 69 Zoll, so würde sich die vom Autore gefundene Geschwindigkeit zur wahren verhalten haben, wie $\sqrt{62\frac{2}{3}}$ zu $\sqrt{69}$, das ist bey nahe 20 zu 21, und würde also der Fehler den zwanzigsten Theil austragen, um welchen die gefundene Geschwindigkeit zu klein seyn würde. Wenn das Centrum gravitatis ungefähr mitten ins Brett gefallen wäre, da dasselbe von der Axe 52 Zoll weit entfernt gewesen, so wäre zu vermuthen, daß auch bißweilen Kugeln gegen dasselbe und auch noch höher, als etwa nur 45 Zoll weit von der Axe geschossen worden. In diesen Fällen würde die vom Autore gefundene Geschwindigkeit der Kugel zu groß seyn, und wenn die Distanz DV nur = 45 Zoll wäre, so müßte sich die gerechnete Geschwindigkeit zur wahren verhalten, wie $\sqrt{62\frac{2}{3}}$ zu $\sqrt{45}$, das ist, wie 13 zu 11. Dahero würde dieselbe mehr als um den sechsten Theil zu groß seyn. Weil nun in allen diesen Experimenten der Autor nicht bemerkt, wie weit das Punctum V , wo die Kugel aufgestossen, von der Axe des Penduli entfernt gewesen, so ist auch nicht möglich zu sagen, wie groß bey einem jeden der Fehler sey. Wenn die gefundene Geschwindigkeit ungefähr 1700 Schuh in einer Secunde austrägt, so könnte es seyn, daß diese Zahl in einigen Fällen um 85 Schuh zu klein, in andern aber um 262¹⁾ Schuh zu groß wäre. Oder

1) Im Original 283. Berichtigt von F. R. S.

da der Autor nicht die wirkliche Geschwindigkeit selbst, sondern nur die Länge der Sehne $Ll = k$, als welcher die Geschwindigkeit proportional ist, aufgezeichnet: wenn dieselbe 16 Zoll groß ist, so konnte der Fehler in diesem Maaß 0,8 Zoll, wenn die Kugel zu unterst an das Bret geschossen wird, und gar 2,5¹⁾ Zoll, wenn dieselbe zuoberst geschossen worden, austragen. In dieser Ungewißheit wäre also aus der Uebereinstimmung der Experimenten mit der Theorie nicht viel zum Vortheil dieser letztern zu schliessen.

Es erhellet auch nicht aus der Beschreibung dieser Experimente, daß der Autor sehr sorgfältig in Ausmessung der Distanz $DV = h$ gewesen; denn er bringt für gleiche Fälle, da mit gleicher Ladung aus eben demselben Lauf mehrmalen geschossen worden, immer einerley Länge für die Sehne $Ll = k$ heraus; da doch kaum zu glauben ist, daß die Kugel bey allen diesen verschiedenen Schüssen in einerley Höhe auf das Bret angestossen. Denn wenn er auch ja beständig auf eben denselben Punct hätte schiessen können, so hätte er doch solches nicht thun dürfen, damit nicht eine Kugel auf die andere stiesse: folglich mußte er mit Fleiß immer auf verschiedene Punkte des Brets schiessen, und da die Kugel $\frac{3}{4}$ Zoll im Diameter hatte, so mußte immer eine von der andern zum wenigsten 1 Zoll entfernt seyn. Er sagt auch nicht, und es ist auch nicht zu vermuthen, daß alle Kugeln in eine Horizontal-Linie des Brets gegangen, und also alle von der Axe gleich weit entfernt gewesen; wenn aber eine nur um einen Zoll höher oder niedriger das Bret getroffen, so müßte die Sehne Ll schon um 0,1 Zoll grösser oder kleiner angesetzt werden, wenn nemlich die Länge der ganzen Sehne über 10 Zoll ist; ein Unterschied von zwey Zollen würde in der Sehne 0,2 Zoll, von 3 Zollen 0,3 Zoll und so fort austragen. Dieser Fehler würde nun von der Unrichtigkeit der Regel des Autoris entspringen, in so fern dieselbe von der Wahrheit abweicht. Wenn aber auch gleich dieselbe richtig wäre, so müßte man doch in Ausmessung der Distanz $DV = h$ um so viel mehr Fleiß anwenden. Denn da nach dem Autore die Geschwindigkeit der Kugel bey nahe ist wie $\frac{k}{a} \cdot \frac{Pfg}{ph\sqrt{2h}}$, das ist unter einerley Umständen, wie $\frac{1}{h\sqrt{h}}$, so sieht man wohl, daß ein geringer Unterschied in dieser Distanz h nicht aus der Acht gelassen werden könne. Laßt uns setzen, daß wenn $h = 66$ Zoll gewesen, die Sehne $k = 16$ Zoll betragen; so folgt, daß wenn unter eben diesen Umständen die Distanz h nur um 1 Zoll grösser oder kleiner wäre, die Sehne k schon

1) Im Original 2,6. Berichtigt von F. R. S.



um $\frac{1}{3}$ Zoll grösser oder kleiner würde. Da wir nun dergleichen merklichen Unterschied in der berechneten Länge der Sehne für gleich starke Schüsse nicht antreffen, so müssen entweder dieselben alle auf eine Horizontal-Linie am Bret gegangen seyn, oder der Autor hat auf die verschiedenen Entfernungen des Puncts V von der Axe in seiner Rechnung nicht gesehen; weil nun das erstere nicht wahrscheinlich ist, so müßte man das letztere zugeben. Wir wollen aber um die Ehre dieser Experimenten zu retten, lieber glauben, daß wenn auch nicht alle Schüsse auf eine Horizontal-Linie am Bret gegangen, der Unterschied in der Höhe doch nimmer über einen Zoll ausgetragen; in welchem Fall gleichwohl dieser Fehler von $\frac{1}{3}$ Zoll von dem Autore nach seiner grossen Accuratesse nicht hätte übergangen werden sollen; als welcher Umstand viel mehr austrägt, als die Vermehrung des Gewichts des Penduli durch die schon darein geschossenen Kugeln, worauf doch der Autor so sorgfältig Acht giebt, und nach denselben die berechnete Länge der Sehne vermindert.

Es findet sich aber in der Beschreibung der Maschine ein Umstand, welcher uns hierüber eine hinlängliche Erläuterung geben kann. Denn, wo der Autor seine Regel vorträgt, nach welcher er die Geschwindigkeit der Kugel bestimmt, da nennet er das Punct, gegen welches die Kugel geschossen wird, das Mittel-Punct des Brets, und richtet auf dasselbe seine Rechnung dergestalt, daß er nachgehends aus demselben alle Fälle durch die Regel Detri berechnet. Weil er nemlich befunden, daß, wenn die Länge der Sehne nach dem Band gemessen $17\frac{1}{4}$ Zoll ist, die Geschwindigkeit der Kugel 1641 Schuh in einer Secunde betrage, so giebt er für einen jeglichen andern Fall, da eine gleich schwere Kugel in eben dieses Brett geschossen wird, diese Regel: Wie sich verhalten $17\frac{1}{4}$ Zoll zu der im vorgelegten Fall gefundenen Länge der Sehne, also verhalten sich 1641 Schuh zu dem Wege, welchen die Kugel in einer Secunde durch zu laufen vermögend ist. Dieser Regel scheint sich nun der Autor beständig bedienet zu haben, nachdem er einmal für einen Fall die Geschwindigkeit nach seinen Grundsätzen ausgerechnet hatte. Wenn sich die Sache so verhält, so muß in den meisten Rechnungen ein doppelter Fehler stecken. Denn erstlich ist die angenommene Zahl 1641, wie wir gewiesen haben, zu klein, und sollte für dieselbe 1675 gesetzt werden. Hernach aber kann die Bedingung, daß alle Schüsse auf das Mittel-Punct des Bretts, oder 66 Zoll weit von der Axe geschehen, unmöglich statt finden. Denn in der letzten angeführten Liste von Experimenten finden sich 27 Schüsse, so in ein Brett gegangen. Weil nun von denselben je zweien Schüsse zum wenigsten um einen Zoll von einander entfernt seyn müssen, die Breite

aber des Bretts nicht viel über einen Schuh betragen, so können nicht alle auf eine Horizontal-Linie in das Brett gegangen seyn; folglich müssen einige davon das Brett zum wenigsten um einen Zoll höher oder tiefer getroffen haben, und nach allen Umständen ist zu vermuthen, daß dieser Unterschied öfters 2, 3 und mehr Zoll ausgetragen, welcher also in der berechneten Länge der Sehne zuweilen einen Unterschied von einem gantzen Zoll hätte verursachen müssen. Dieser Umstand von dem Mittel-Punct des Bretts, welches von der Axe 66 Zoll entfernt gewesen, weist uns auch die Grösse des Bretts, welche von dem Autore nicht ausdrücklich angezeigt worden. Dann da der unterste Rand des Penduli $71\frac{1}{8}$ Zoll von der Axe entfernt gewesen, so war die Distanz von der Mitte des Bretts biß zum untersten Ende ungefehr 5 Zoll, und folglich die ganze Länge desselben 10 Zoll. Wenn nun die Breite, wie es scheint, der Länge gleich gewesen, so war die Oberfläche desselben nur 1 Quadrat-Schuh, und nicht 4, wie wir oben bey Ausrechnung des Widerstands der Luft angenommen haben. Derowegen ist die daselbst berechnete Resistenz viermahl zu groß, und da dieselbe in der Geschwindigkeit der Kugel 4 Schuh ausgetragen, so würde die wahre Resistenz mehr nicht als 1 Schuh gegeben haben: dahero man um so vielmehr bey diesen Experimenten den Widerstand der Luft weglassen kann. Da auch um dieser Ursache willen kein Schuß mehr als um 5 Zoll höher oder tiefer, als das Mittel-Punct in das Brett gehen kann, so kann auch der Fehler, so sich in des Autoris Regel befindet, sich nicht über den zwanzigsten Theil der ganzen Geschwindigkeit belaufen.

Der Autor hat auch in dem Verfolg seiner Experimenten auf die Kugeln, welche schon allbereit in dem Brett stecken, gesehen, welcher Umstand, ob er gleich nicht aus der Acht zu lassen, dennoch so viel nicht austrägt, als der vorgemeldete. Dadurch wird erstlich das Gewicht des Penduli P grösser, hernach, da die Kugeln ziemlich weit unter dem Centro gravitatis in das Brett gedrungen, so wird auch dadurch das Centrum gravitatis selbst, oder die Länge g verrückt, und endlich leidet dadurch auch das Centrum oscillationis eine geringe Veränderung. Wenn wir setzen, daß die Geschwindigkeit der Kugel durch den Fall aus einer Höhe b erhalten werde, so haben wir, wenn noch keine Kugel im Brett steckt, diese Aequation

$$k = \frac{pah\sqrt{2b}}{\sqrt{(Pg+ph)(Pfg+phh)}}.$$

Lasst uns nun setzen, daß das Gewicht der Kugeln, welche schon allbereit in



der Distanz h von der Axe in das Brett geschossen worden, sey $= q$, so muß an statt Pg , wodurch das Momentum der Schwehre angedeutet wird, geschrieben werden $Pg + qh$, und an statt Pfg , wodurch das Momentum der Materie ausgedrückt wird, muß geschrieben werden $Pfg + qhh$: folglich wird in diesem Fall

$$k = \frac{pah\sqrt{2b}}{\sqrt{(Pg + ph + qh)(Pfg + phh + qhh)}}.$$

Unter gleichen Umständen verhält sich also jene Sehne zu dieser wie

$$\sqrt{\frac{(Pg + ph + qh)(Pfg + phh + qhh)}{(Pg + ph)(Pfg + phh)}};$$

zu 1, das ist beynahe wie $1 + \frac{qh(f+h)}{2Pfg}$ zu 1, wann nur P in Ansehung des q noch sehr groß ist. Wenn nun in dem schon oben berechneten Fall genommen wird $P = 56 u$, $f = 62\frac{2}{3}$, $g = 52$ und $h = 66$, und wir setzen, daß das Gewicht der Kugeln, welche schon im Brett sind, ein Pfund ausmache, so wird $q = 1$; und dahero wird sich die Sehne, wenn das Brett noch neu aufgeschraubt ist, verhalten zu der Sehne, welche unter gleichen Umständen, nachdem schon 1 $\varnothing$ Kugeln im Brett stecken, entsteht, wie $1 + \frac{1}{43}$ zu 1, das ist, die Sehne muß wegen der schon im Brett steckenden Kugeln um ihren 44sten Theil vermindert werden, welche Verringerung auch der Autor wohl in Acht genommen.

ZWEYTE ANMERKUNG

Auf die in der vorigen Anmerkung beschriebene Art muß also die Länge der Sehne $Ll = k$ ausgerechnet werden, wenn die Geschwindigkeit der Kugel, welche gegen das Brett geschossen wird, schon als bekannt angenommen werden kann. Denn, wenn b die Höhe ist, aus welcher ein fallender Körper mit der Kugel einerley Geschwindigkeit erhält, so wird, wie wir oben gefunden,

$$k = \frac{pah\sqrt{2b}}{\sqrt{(Pg + ph)(Pfg + phh)}}.$$

1) Im Original $\sqrt{\frac{(Pg + ph)(Pfg + phh)}{(Pg + ph + qh)(Pfg + phh + qhh)}}$. Berichtigt von F. R. S.

welche Länge, wie wir schon bemercket, öfters ziemlich von derjenigen, welche der Autor nach seiner Art gefunden, unterschieden seyn kann. Der Autor bestimmt aber ferner die Geschwindigkeit der Kugel, oder die Höhe b , nach der von ihm anfänglich gegebenen Methode aus der Quantität der Ladung, der Länge des Laufs, und dem Raum hinter der Kugel, worüber schon vorher verschiedene Anmerkungen gemacht worden. Lasst uns nun, um die Buchstaben nicht unter einander zu verwirren, die Länge des Laufs, woraus die Kugel geschossen wird, setzen $= \alpha$, die Länge des Raums hinter der Kugel $= \beta$, die Länge der Höhlung so mit Pulver angefüllt worden $= \gamma$, den Diameter der Kugel $= c$, und die Zahl n soll anzeigen, wie vielmahl die Materie, woraus die Kugel besteht, schwächer ist, als das Wasser; so findet man hieraus die Höhe b , aus welcher die Geschwindigkeit der Kugel durch den Fall erlangt wird, also in Rheinländischen Schuhen ausgedrückt

$$b = \frac{110524,08\gamma}{nc} l^{\frac{\alpha}{\beta}}, \quad 1)$$

wo man für $l^{\frac{\alpha}{\beta}}$ den gewöhnlichen Logarithmum des Bruchs $\frac{\alpha}{\beta}$ zu nehmen hat. Will man aber diese Länge b in Englischen Zollen mit dem Autore ausdrücken, weil 0,97 Rheinl. Schuh 12 Englische Zoll geben, so hat man

$$b = \frac{1367308\gamma}{nc} l^{\frac{\alpha}{\beta}}$$

Engl. Zolle, folglich

$$2b = \frac{2734616\gamma}{nc} l^{\frac{\alpha}{\beta}},$$

und also

$$\sqrt{2b} = 1654 \sqrt{\frac{\gamma}{nc}} l^{\frac{\alpha}{\beta}};$$

dahero bekommt man die Länge der Sehne k also:

$$k = 1654pah \sqrt{\frac{\gamma l(\alpha:\beta)}{nc(Pg + ph)(Pfg + phh)}},$$

wenn man nemlich weder den Gegendruck, noch die Resistenz der Luft, so lange sich die Kugel im Lauf befindet, in Betrachtung zieht. Wir haben aber in dieser Rechnungs-Formul mit dem Autore angenommen, daß sich alles Pulver plötzlich entzünde, und dadurch eine solche subtile Materie er-

1) Diese Gleichung folgt aus der zweiten Gleichung p. 79 für $m = 1000$. F. R. S.



zeuget werde, deren Elasticität, so lange dieselbe noch in eben demselben Raum, den das Pulver eingenommen hatte, eingeschränkt ist, 1000mahl grösser sey, als die Elasticität der ordentlichen Luft, oder, welches gleich viel, als der Druck der Atmosphäre. Es ist aber schon oben sehr deutlich dargethan worden, daß sich das Pulver unmöglich so plötzlich entzünden könne, und daß folglich die Elasticität der obgemeldeten subtilen Materie weit mehr, als 1000 mahl grösser seyn müsse, als der Druck der Luft, wenn dieselbe eben die Wirkung hervor bringen soll. Was demnach die so genaue Uebereinstimmung der Versuche mit des Autoris Theorie betrifft, ungeachtet an der Berechnung der Länge der Sehne ll , welche der Verfasser mit den observirten vergleicht, ziemlich viel auszusetzen ist, so erhellet doch daraus so viel, daß die aus der Theorie gefundenen Geschwindigkeiten von der Wahrheit nicht allzusehr abweichen, obgleich die Uebereinstimmung bey weitem nicht so groß ist, als der Autor glaubet, weil die berechnete Länge der Sehne bißweilen auch um einen gantzen Zoll unrichtig seyn kann. Wenn aber auch ja die gerechnete Geschwindigkeit der Kugel der Wahrheit gänzlich gemäß wäre, so würde doch dadurch noch nicht die Meynung des Verfassers von der Gewalt des Pulvers befestiget; indem eben dieselbe Geschwindigkeit der Kugel einge- drückt werden könnte, wann die Kraft des Pulvers weit grösser, dabey aber nicht auf einmahl ihre Wirkung auszuüben gesetzt würde. Der Autor führet zwar zu Behauptung seiner Meynung diejenigen Experimente an, welche mit ungleich langen Läufen gemacht worden, und dennoch mit der Theorie gut übereinstimmen, welches, seiner Meynung nach, nicht geschehen könnte, wenn sich das Pulver nur nach und nach entzündete, indem sich in dem kürzeren Lauf ein weit geringerer Theil entzünden würde, ehe die Kugel heraus ge- trieben wird, als in dem längern. Wir haben aber oben¹⁾ schon auf diesen Um- stand geantwortet, und auch andere Erfahrungen, aus welchen das Gegentheil erhellet, dagegen angeführt. Wir wollen also allhier nur so viel beyfügen, daß vielleicht das Pulver, welches der Autor gebrauchet, so gut gewesen, daß sich der meiste Theil davon entzündet hat, ehe die Kugel aus dem kürzesten Lauf heraus gefahren. Es können auch hernach die unrichtig berechneten Sehnen eine so genaue Uebereinstimmung mit der Experientz anzeigen, der- gleichen nicht erscheinen dürfte, wenn man dieselben nach den wahren Regeln berechnen wolte. Endlich kann auch das Herausdringen der elastischen Ma- terie durch den Spielraum und das Zündloch wiederum einiger maassen die Uebereinstimmung mit der Experientz herstellen, wie in den vorigen Anmer-

1) Siehe die Vierte Anmerkung zum Siebenten Satz. F. R. S.

kungen mit mehrerem angezeigt worden. Man erkennet aber aus dieser Ueber- einstimmung doch so viel, daß wenn gleich die erste Elasticität des Pulvers weit grösser ist, als der Autor angenommen, dennoch dieselbe in den meisten Fällen keine stärkere Wirkung hervorbringe, als der Autor nach seiner Rech- nung befunden, und daß folglich die allmähliche Entzündung des Pulvers, und die übrigen Hindernisse, welche oben angeführt worden, die Geschwindigkeit der Kugel bey nahe um eben so viel vermindern, als dieselbe durch die grössere Gewalt vermehrt werden sollte. So oft sich also diese Gleichheit einfindet, so oft kann man auch die von dem Autore gegebene Regel, um aus der Ladung die Geschwindigkeit der Kugel zu bestimmen, sicher gebrauchen. Es können aber gleichwohl solche Umstände vorkommen, da entweder die grössere Gewalt des Pulvers, oder die obgemeldeten Hindernisse die Oberhand behalten, in welchen folglich die Geschwindigkeit der Kugel entweder grösser oder kleiner seyn wird, als die von dem Autore gegebene Regel anzeigt. Ein solcher Fall ereignet sich, wenn die Ladung des Pulvers allzu geringe ist, allwo, wie der Autor sehr wohl bemerkt, die Hitze der Entzündung, und folglich die Ela- sticität der subtilen Materie nicht so groß seyn kann, als in der Rechnungs-Formul gesetzt wird. In dieser ist der Buchstabe $m = 1000$ genommen worden, wel- cher Werth sich für die grösseren Ladungen sehr wohl schickt; bey sehr klei- nen Ladungen aber muß derselbe kleiner gesetzt werden. Wenn wir nun setzen, daß für eine geringere Ladung μ der gehörige Werth des Buchstabens m sey, so läst sich diese Zahl μ für einen jeglichen Fall aus dem Unterscheid zwischen der Länge der Sehne, so nach der Rechnung gefunden, und durch das Experiment angezeigt wird, leicht bestimmen. Denn da, wenn $m = 1000$, die Sehne k gefunden worden

$$k = 1654 pah \sqrt{\frac{\gamma l(\alpha:\beta)}{nc(Pg+ph)(Pfg+phh)'}}$$

so muß, wenn m nicht 1000, sondern gleich ist μ , die Sehne seyn

$$= 1654 pah \sqrt{\frac{\mu \gamma l(\alpha:\beta)}{1000 nc(Pg+ph)(Pfg+phh)'}}$$

wenn nemlich die übrigen Umstände einerley sind. Dahero verhält sich bey sehr geringen Ladungen die gerechnete Sehne zu der observirten wie $\sqrt{1000}$ zu $\sqrt{\mu}$, und folglich ist 1000 zu μ wie das Quadrat der gerechneten Sehne, zu dem Quadrat der observirten, oder wie die Quadrate der Geschwindig- keiten selbst.



Da nun in dem von dem Autore angeführten Exempel, wo nur 1 Dr. Pulver geladen worden, die Geschwindigkeit nach der Rechnung seyn sollte 482 Schuh in einer Secunde, dieselbe aber nur 400 Schuh wahrgenommen worden, so war in diesem Fall 1000 zu μ , wie 482² zu 400², und also

$$\mu = \frac{160000000}{482 \cdot 482} = 688.$$

Wenn also nur ein Drachma Pulver angezündet wird, so ist die dabey entstehende Hitze um so viel kleiner, als wenn eine grosse Quantität Pulver genommen wird, daß die erste Elasticität nur 688 mahl grösser ist, als der Druck der Atmosphäre.

Im folgenden Experiment, da drey Drachm. Pulver geladen worden, wird 1000 : $\mu = 835^2 : 730^2$ und also

$$\mu = \frac{532900000}{835 \cdot 835} = 764,$$

daß also in diesem Fall auch wegen der geringern Hitze die erste Elasticität des Pulvers nur 764 mahl grösser ist, als der Druck der Atmosphäre.

Der Autor findet im erstern Fall aus eben diesem Grunde die Verhältniß der Elasticitäten, wenn 1 Drach. oder 12 Drach. angezündet werden, wie 2 zu 3, welche Verhältniß mit unserer 688 zu 1000, sehr genau zutrifft; im andern Fall aber hat er wie 3 zu 4 an statt 764 zu 1000, zwischen welchen der Unterscheid auch sehr geringe ist. Weil nun der Unterscheid zwischen diesen Zahlen 688, 764 und 1000, welche die Elasticität bey Entzündung 1, 3 und 12 Drach. Pulver vorstellen, ziemlich merklich ist, so hat man sich zu verwundern, daß sich bey den Ladungen von 6 biß 36 Drach. kein solcher Unterscheid geäußert, und daß diese so verschiedene Fälle mit der Rechnung so genau haben übereinstimmen können. Vielleicht mag die oben bemerkte Unrichtigkeit in Berechnung der Sehne des aufsteigenden Bogens hieran Schuld seyn; und da die Hitze der Flamme, wie der Autor behauptet, um so viel grösser ist, je mehr Pulver sich auf einmahl entzündet, so stehet vielmehr zu vermuthen, daß auch die Elasticität bey der Ladung von 36 Drachm. merklich grösser, als bey 6 Drachm. gewesen, und dass dieselbe bey Canonen, wo eine weit grössere Quantität Pulver geladen wird, noch grösser seyn müsse. Dahero die von dem Autore gegebene Regel, die Geschwindigkeit der Kugel aus der Kraft des Pulvers zu berechnen, allem Ansehen nach bey Canonen nicht mehr so genau zutreffen würde, ohne auf die übrigen Umstände zu

sehen, wodurch die Wirkung des Pulvers, wie oben erwiesen worden, keinen geringen Abbruch leidet. Es läst sich aber anjetzo noch nichts vollständiges hierinne bestimmen, weil die von dem Autore berechneten Sehnen von der Wahrheit ziemlich stark abweichen können, diejenigen Umstände aber nicht bemerkt worden, welche zur Verbesserung nöthig sind. Dahero zu wünschen wäre, daß sich jemand finden möchte, welcher mit eben dem Fleiß, und auf eben die Weise, wie der Autor gethan, alle dergleichen Experimente wiederholte, bey einem jeglichen aber auch die Entfernung des Puncts am Brett, wo die Kugel hinein gefahren, von der Axe sorgfältig mässe, und daraus nach den hier angezeigten wahren Regeln die Länge der Sehne berechnete.

DRITTE ANMERKUNG

Der Nutzen, welchen man aus der Erkenntniß der Gewalt des Pulvers, und der Geschwindigkeit der Kugel in der Artillerie ziehen kann, muß nothwendig von grosser Wichtigkeit seyn. Denu, wenn man diese Punkte genau bestimmen kann, so weiß man auch, wie stark und fest sowohl die Canonen und Mörser, als die übrige dazu gehörige Geräthschaft seyn muß, und hat also nicht zu befürchten, daß man die Stücke entweder zu stark, oder zu schwach mache: wodurch im erstern Fall alle unnöthige Unkosten vermieden, im andern aber allem Schaden und Gefahr vorgebeugt wird. Eben diejenige Gewalt, womit die Kugel fortgetrieben wird, wücket auch eben so stark auf die innern Wände der Canone, und wenn dieselben die gehörige Stärke nicht haben, um dieser Gewalt zu widerstehen, so muß die Canone nothwendig bersten. Die grösste Gewalt, welche die Canone auszustehen hat, äussert sich also im ersten Augenblick, wenn sich das Pulver entzündet, ehe noch die Kugel merklich von ihrer Stelle getrieben wird, welches folglich in dem Raum *CDEG* (Fig. 1) geschieht, allwo die Wände der Canone so stark gedrückt werden, als der Boden einer aufrecht stehenden und mit Wasser angefüllten Röhre, deren Höhe 32000 Schuh ist, wenn wir nemlich mit dem Autore setzen, daß die Elasticität der durch die Entzündung des Pulvers erzeugten subtilen Materie im ersten Augenblick 1000 mahl grösser sei, als der Druck der Atmosphäre, welche einer Wasser-Säule von 32 Schuhen gleichet. Diese so sehr grosse Kraft erstreckt sich aber nicht auf die ganze Canone, sondern nur auf den hintersten Theil derselben *CDEG*, welcher mit Pulver angefüllt worden; weswegen auch

dieser Theil eine solche Stärke, als zu Aushaltung dieser Kraft erfordert wird, haben muß. Die vordern Theile der Canone leiden nicht eher einige Gewalt, als biß die Kugel dahin fortgestossen worden, und alsdenn ist auch diese Gewalt kleiner, als vom Anfang. Wenn die Kugel schon biß M fortgestossen worden, so verhält sich die ausdehnende Kraft im Raum AM zur ersten, wie AF zu AM , und gleicht also einer Wasser-Säule, so $32000 \cdot \frac{AF}{AM}$ Schuh hoch ist, woraus erhellet, daß die Gewalt, welche die vordern Theile der Canone auszustehen haben, immer kleiner werde. Dahero auch die Canone an dem vordern Theil nicht nöthig hat, so stark zu seyn, als hinten bey AF , und würde also überflüssig seyn, wenn man die Canonen vornen so stark und dick machen wolte, als hinten. Um aber deutlicher zu sehen, wie sich an einem jeglichen Orte die Dicke der Canone verhalten müsse, damit dieselbe weder zu stark, noch zu schwach sey, so müssen wir die Art, nach welcher eine Canone dieser Gewalt widersteht, in Betrachtung ziehen. Wenn das Metall, woraus eine Canone besteht, keine Festigkeit hatte, kraft welcher die Theile desselben unter einander zusammen verbunden sind, so würden dieselben von der ersten Gewalt von einander zertrennet und zerstreut werden, woraus wir erkennen, daß die Befestigung der Theile des Metalls der Gewalt des Pulvers widerstehen müsse. Diese Festigkeit läßt sich aber, wegen der grossen Ungleichheit, so sich in der Verknüpfung der Theile befindet, so genau nicht berechnen, indem dieselben durch den Guß an einem Ort öfters viel fester zusammen getrieben werden, als an den andern; dahero die Stärke immer grösser

seyn muß, als irgend eine Theorie, welche auf eine solche Gleichheit in allen Theilen gegründet ist, anzeigt.

Dem ungeachtet wird es nicht undienlich seyn, allhier einen Begriff von dem Zusammenhang der Theilchen des Metalls, und dem daher entstehenden Widerstand gegen die Gewalt des Pulvers zu ertheilen, ob sich gleich hierinne nichts so genau bestimmen läßt. Wir wollen uns zu dem Ende (Fig. 8) einen Durchschnitt einer Canone, so auf die Axe desselben perpendicular gemacht worden, vorstellen, allwo der innere Zirkul

$ABQP$ die Seele der Canone, da die ausdehnende Gewalt des Pulvers befindlich, und der Zwischen-Raum zwischen den beyden Circuln das Metall andeuten soll. Die ausdehnende Kraft des Pulvers wücket nun allenthalben gleich stark

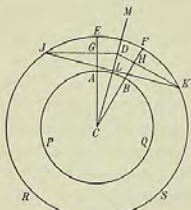


Fig. 8.

auf den innern Umfang des Circuls $ABQP$, und suchet denselben entweder zu erweitern, oder gar zu zersprengen. Wir wollen aber nur ein Stück des Metalls $AEFB$, welches durch zwey aus dem Centro C gezogene Radios CE und CF abgeschnitten wird, in Betrachtung ziehen. Es sey der innere Radius $AC = BC = a$, und der Winkel $ACB = 2\varphi$, so wird der Bogen AB , auf welchen die Kraft des Pulvers wücket, gleich seyn $2a\varphi$, und folglich die Kraft selbst diesem Bogen proportional, welche wir also $= 2ma\varphi$ setzen wollen. Die mittlere Direction dieser Kraft wird nun durch das Centrum C gehen, und den Winkel ACB in zwey gleiche Theile zerschneiden. Es sey demnach CDM diese Direction, nach welcher das Stück $AEFB$ von der Kraft $2ma\varphi$ gestossen wird. Wenn also dieses Stück nicht mit dem übrigen Metall befestiget wäre, so würde dasselbe wirklich nach der Direction DM weggestossen werden. Die Befestigung dieses Stücks aber geschieht nach den Linien AE und BF , als in welchen dasselbe mit dem übrigen Metall zusammen hängt, und da diese Befestigung in allen Punkten gleich statt findet, so kann dieselbe als eine Kraft angesehen werden, welche das Stück $AEFB$ beyderseits an den übrigen Theilen in AE und BF andrückt, und deren Direction beyderseits auf die Mitte in den Punkten G und H perpendicular ist. Wenn wir also die Dicke des Metalls $AE = FB = b$ setzen, so wird beyderseits die zusammenhängende Kraft dieser Dicke b proportional seyn, welche wir also $= nb$ nennen wollen. Man verlängere diese beyden Kräfte-Directionen GJ und HK , biß sie im Punkt D auf der Linie CM zusammen kommen; und da werden wir dieses Punkt D ansehen können, als wenn auf dasselbe drey Kräfte wüekten, erstlich nach der Direction DM die Kraft $= 2ma\varphi$, hernach nach den Directionen DJ und DK beyderseits eine Kraft $= nb$; und diese beyden Kräfte müssen so groß oder grösser seyn, als zur Zernichtung der ersten erfordert wird. Wir wollen also diese beyden Kräfte zertheilen nach der Direction DC , und nach solchen, welche auf die Linie CD perpendicular sind, und sich untereinander aufheben. Weil nun die Dreyecke CDG und CDH in G und H rechte Winkel haben, so wird sich verhalten DJ oder DK zu DL wie CD zu DG , das ist wie der Sinus totus 1 zum Sinu des Winkels DCG , $\sin. \varphi$. Dahero wird aus

1) Weil der Druck der Pulvergase überall radial wirkt, so ist die Komponente in der Richtung CM des auf den Sektor $2a\varphi$ wirkenden Druckes nicht $2ma\varphi$, sondern $2ma \sin. \varphi$, worauf schon HUGH BROWNS in seiner im Vorwort angeführten englischen Übersetzung der Anmerkungen EULERS aufmerksam gemacht hat. Auf eine Berichtigung des Textes wird jedoch verzichtet, weil die vorliegende Betrachtung über die Festigkeit des Geschützrohres ohnehin auf einer irrthümlichen Anschauung von der Beanspruchung des Rohrmalles durch den Gasdruck beruht. F. R. S.



beyden Kräften DJ und DK nach der Direction DC diese Kraft heraus kommen, $2nb \sin. q$, welche, wenn sie kleiner wäre, als die Kraft $2maq$, so würde das Stück $AEFB$ der Gewalt nicht widerstehen können, sondern nach der Direction DM aus der Canone weggerissen werden. Damit also dieses nicht geschehe, so muß die Kraft $2nb \sin. q$ so groß oder grösser seyn, als die Kraft $2maq$, folglich muß $nb \sin. q > maq$, und dieses muß statt finden, der Winkel ACB mag so groß angenommen werden, als man will; es wird aber die Verhältniß $nb \sin. q$ zu maq am kleinsten, wenn der Winkel ACB gleich wird 180° , oder $q = 90^\circ$, in welchem Fall ist $\sin. q = 1$ und $q = 1,570796$; daher muß auch nb grösser sein als $1,570796ma$. Hieraus erhellet, daß die zersprengende Gewalt am grössten werde, wenn das Stück $AEFB$ dem halben Umfang gleich genommen wird, und daß also die Canonen der Gefahr an zwey gegen einander überstehenden Orten zu zerbersten am meisten unterworfen seyn. Wenn nun dieses nicht geschehen soll, so muß nb grösser seyn, als $1,570796ma$, oder in kleinen Zahlen muß nb grösser sein als $\frac{11}{7}ma$. In diesen Expressionen wird der Buchstabe m durch die ausdehnende Kraft des Pulvers, und der Buchstabe n aus der Festigkeit des Metalls bestimmt. Wenn also zu verschiedenen Canonen einerley Metall genommen wird, so muß immer die Dicke des Metalls dem Caliber, oder dem Diameter der Kugel proportional seyn. Und da in einer Canone die ausdehnende Gewalt des Pulvers um so vielmehr abnimmt, je weiter die Kugel vorwärts getrieben wird, so muß sich die Dicke der Canone in dem Ort¹⁾ M verhalten zur Dicke des Boden-Stücks in AF , wie sich verhält die Länge AF zur Länge AM . Aus diesem Grund könnte also das Mund-Stück einer Canone ohne Gefahr viel schwächer gemacht werden, als zu geschehen pflegt, wenn nemlich die Theorie des Autoris ihre Richtigkeit hatte, und sich alles Pulver auf einmahl entzündete. Denn in diesem Fall, wenn AM noch so groß als AF angenommen wird, würde es genug seyn, wenn die Canone in M nur halb so dick wäre, als im Boden-Stück AF . Hiebey aber hätte man dennoch auf die stärkste Ladung zu sehen, so jemahls gebraucht werden könnte. Allein, wenn man annimmt, daß sich nicht alles Pulver auf einmahl entzündet, so wird wegen des neu entzündeten Pulvers die Gewalt in AM zur Gewalt in AF eine grössere Verhältniß haben, als AF zu AM , und aus diesem Grund muß die Dicke der Canone im Vordertheil grösser seyn, als nach der vorigen Regel, welches auch durch die Erfahrung bestätigt wird. Und eben dadurch wird auch die Meynung nicht wenig befestiget, daß

1) Die nachfolgenden Bezeichnungen beziehen sich auf Figur 1 p. 70. F. R. S.

sich das Pulver nicht alles auf einmahl entzündet. Weil sich aber diese allmähliche Entzündung nicht bestimmen läßt, und nach den verschiedenen Arten des Pulvers sehr unterschieden ist, so kann man auch durch die bloße Theorie die beste Proportion der Dicke einer Canone nicht heraus bringen, sondern die vielfältige Erfahrung scheint zu diesem Ende das einige Mittel an die Hand zu geben. Wenn man aber des Autoris Theorie folgen wolte, so würde sich diese Sache sehr leicht ausmachen lassen: es würden aber dergleichen Canonen nicht lange der Gewalt des Pulvers widerstehen können, indem das Mundstück gewiß zu schwach seyn würde, wenn auch das Bodenstück seine gehörige Stärke hätte.

Da nun aus diesem Grunde nicht wohl ein Mittel zu erfinden, das Gewicht der Canonen ohne Gefahr zu vermindern, so thut man am besten, wenn man sich zu Erhaltung dieses Endzwecks an die Verbesserung der Materie, woraus die Canonen gegossen werden, hält. Der grösste Vortheil würde also darinne bestehen, wenn man eine Materie ausfündig machen könnte, deren Theile weit stärker untereinander verbunden wären, als in der gewöhnlichen, in welcher Untersuchung man sich noch den besten Fortgang versprechen könnte. Es könnten vielleicht auch noch in dem Guß verschiedene Vortheile entdeckt werden, wodurch die Materie eine um so viel grössere Festigkeit erhielte, wohin ohne Zweifel diejenige Erfindung mit zu rechnen, da einige angefangen haben, die Canonen maßiv und ohne Kern zu giessen, und erst nach dem Guß die Höhlung darein zu bohren. Denn auf diese Art wird das Metall nicht nur weit dichter, sondern man ist auch im Stande, die Seele accurat in der Mitte gerade durchzubohren, welchen Umstand man bey dem Giessen nicht sowohl in der Gewalt hat. Endlich würde auch eine geringe Zähigkeit in der Materie zu den Canonen keinen geringen Vortheil schaffen. Denn, es kommt hier nicht nur auf die Kraft, wodurch die Theilchen der Materie untereinander verbunden sind, an, als welche in einem spröden und zähen Körper einerley seyn kann, sondern ob, nachdem die Theilchen im geringsten von einander getrieben worden, der Körper sogleich zerbreche, oder sich wiederum in seinen vorigen Stand zu versetzen vermögend sey. Hierinne bestehet nemlich der Unterschied zwischen spröden und zähen Materien, daß jene, so bald die Theilchen untereinander zerrüttet werden, auch so gleich zerbrechen, diese aber, ungeachtet in ihren Theilchen eine gleiche Zerrüttung vorgegangen, dennoch dadurch das Band der Festigkeit noch nicht aufgelöst wird. Wenn also die Materie, welche zu den Canonen gebraucht wird, einen etwas grössern Grad der Zähigkeit hätte, so würde man dieselben ohne Gefahr leichter machen



können. Denn eben dieses war die Ursache, daß man vor Zeiten mit ledernen Canonen, welche am Gewicht mit den metallenen nicht zu vergleichen waren, fast eben so starke Schüsse hat thun können, ungeachtet dieselben nicht so dauerhaft waren. Inzwischen ist doch aus diesem Umstand so viel abzunehmen, daß in diesem Punct, was die Materie der Canonen betrifft, noch eine grosse Verbesserung gehoffet werden könne.

Von der ausdehnenden Kraft des Pulvers kommt auch das Zurückstossen der Schieß-Gewehre und der Canonen her. Denn diese Kraft treibt den Boden des Laufs eben so stark rückwärts, als die Kugel vorwärts; dergestalt, daß wenn das ganze Stück nicht schwehrr seynte, als die Kugel, alsdenn das Stück mit eben der Geschwindigkeit zurück, als die Kugel heraus fahren würde. Je schwehrr aber ein Körper ist, um so viel kleiner ist auch die Bewegung, welche demselben von eben derselben Kraft eingedrückt wird. Dahero so vielmahl eine Canone samt der L'affuite¹⁾ schwehrr ist, als die Kugel, welche daraus geschossen wird, eben so vielmahl langsamer wird auch die Bewegung der Canone seyn, als der Kugel; folglich wird sich der Raum, durch welchen die Canone zurückfährt, indem die Kugel zur Canone heraus getrieben wird, zur Länge der Canone weniger dem Raum hinter der Kugel verhalten, wie das Gewicht der Kugel zum Gewicht der gantzen Canone. Wenn also eine halbe Carthaune, so eine 24pfündige Kugel schießt, 10 Schuh lang gesetzt wird, weil das Gewicht derselben ungefähr 64 Centner, oder 6400 Pfund beträgt, so muß diese Canone, indem die Kugel daraus herausgetrieben wird, durch einen Raum von $\frac{24}{6400} \cdot 10$ Schuh, das ist nur $\frac{3}{80}$ Schuh, oder nicht gar um einen halben Zoll zurückfahren. Wenn demnach der Grund, worauf die Canone ruht, so fest ist, daß dieselbe darauf um $\frac{1}{2}$ Zoll, ohne erschüttert zu werden, zurück treten kann, so ist der Schuß gewiß, wenn gleich der Grund weiter zurück keine Festigkeit hätte. Daß aber gleichwohl die Canone, nachdem die Kugel schon heraus geschossen worden, und also die zurücktreibende Kraft gänzlich aufgehört hat, noch weiter zurück geht, kommt von der derselben schon eingedrückten Bewegung her, womit dieselbe zurück zu weichen fortfährt, so lange, biß durch den Widerstand diese Bewegung völlig gehemmet wird. Deswegen hat die Anmerkung des Verfassers, betreffend die Festigkeit der Batterien, worauf die Canonen gepflanzet werden, ihre völlige Richtigkeit, und kann dadurch viel unnöthige Arbeit erspart werden.

1) L'affuite bedeutet Lauffete. F. R. S.

VIERTE ANMERKUNG

Der Autor ziehet auch noch aus seiner Theorie diesen Schluß, daß alle Vorschläge, welche auf eine sonderbare Figur der Pulver-Kammer in den Canonen gerichtet sind, nicht den geringsten Vortheil bringen können. Dieser Schluß hat seine völlige Richtigkeit, wenn sich nach der Meynung des Autoris alles Pulver im ersten Augenblick zugleich entzündet. Denn in diesem Fall ist auch die erste Gewalt desselben einerley, der Raum, worinne das Pulver eingeschlossen ist, mag eine Figur haben, wie man immer will, wenn nur derselbe ganze Raum mit Pulver angefüllet ist. Und wenn auch nur ein Theil desselben mit Pulver angefüllet ist, so wird die Gewalt um so viel kleiner, als dieser Theil kleiner ist, als der ganze Raum hinter der Kugel: dahero auch in diesem Fall die Grösse der Gewalt nicht auf der Figur des Raums beruhet. Wenn aber die Kugel schon wirklich fortgetrieben wird, so verhält sich die fortreibende Gewalt zur ersten Gewalt, wie der Raum, den das Pulver anfänglich eingenommen, zu eben diesem Raum nebst demjenigen, durch welchen die Kugel schon fortgetrieben worden: und also hat auch hier die Figur des Pulver-Raums auf die fortreibende Gewalt keinen Einfluß. Aus diesem Grunde ist es also gleichgültig, was man der hintersten Höhlung der Canonen für eine Figur geben will, und weil alle Figuren in Ansehung der fortreibenden Gewalt einerley Wirkung haben, so erwehlet man billig diejenige, welche nach den übrigen Umständen die bequemste ist. Wenn man also aus andern Ursachen nichts an der gewöhnlichen Figur der Canonen zu verändern nöthig findet, so könnte man auch aus diesem Grunde dieselbe sicher beybehalten, und alle Vorschläge, welche auf eine Veränderung abzielen, ohne fernere Untersuchung, als verwerflich ansehen.

Dieses gründet sich aber, wie schon gemeldet, auf die Meynung des Verfassers, daß sich alles Pulver im ersten Augenblick zugleich entzünde. Da wir aber schon oben sehr wichtige Gründe gegen diese Meynung angeführt haben, so kan man auch die Vorschläge, welche auf eine vortheilhaftere Figur der Pulver-Kammer gerichtet sind, nicht mehr so platterdings verwerfen. Die Sache wird also auf diese Frage ankommen, ob die Figur des Raums, darinne das Pulver eingeschlossen ist, etwas zu einer schnellern oder langsamern Entzündung des Pulvers beytragen könne, oder nicht? Denn, wenn diese Frage mit Ja beantwortet werden kann, so ist kein Zweifel übrig, daß diejenige Figur, in welcher sich das Pulver am schnellsten entzündet, nicht die beste



und vortheilhafteste seyn sollte. Denn je plötzlicher sich alles Pulver entzündet, je grösser und je länger fortdaurend ist auch die Gewalt, welche auf die Kugel wirkt, dahero auch derselben eine um so viel schnellere Bewegung eingedrucket wird.

Daß aber die Figur des Raums nicht wenig zu einer plötzlichen Entzündung beytragen könne, ist leicht darzuthun. Man darf sich nur eine sehr lange und enge Röhre, in welcher das Pulver eingeschlossen und an einem Ende angezündet wird, vorstellen. Denn in diesem Fall wird sich die Entzündung nicht so geschwinde biß zum andern Ende der Röhre ausbreiten, als wenn die Röhre kürzer wäre. Jedermann wird auch leicht begreifen, daß, wenn man das Boden-Stück einer Canone in eine solche lange und enge Röhre verwandeln sollte, die Kugel mit einem weit geringern Grad der Geschwindigkeit heraus getrieben werden würde, wenn man schon eine gleich starke Ladung gebrauchte. Hieraus ist nun leicht abzunehmen, daß sich das Pulver um so viel geschwinder entzündet, je weniger alle Körner desselben von einander entfernt sind. Da nun die Kugelförmige Figur unter allen andern, welche einen gleichen Raum einschliessen, diese Eigenschaft hat, daß der Umfang derselben am kleinsten, und alle Theile unter sich am nächsten beysammen sind, so ist auch kein Zweifel, daß sich das Pulver nicht in einem solchen Raum am geschwindesten entzünden sollte. Es wäre dahero dahin zu trachten, ob man nicht auf eine bequeme Art die Höhlung des Boden-Stücks in einer Canone hinter der Kugel entweder vollkommen oder doch beynahe rund machen könnte: denn auf diese Art würde man keinen geringen Zuwachs an der Geschwindigkeit, womit die Kugel fortgetrieben wird, erhalten. Die Wirkung würde auch um so viel stärker seyn, wenn man das Pulver im Mittel-Punkt dieses Raums anzünden könnte: als von welchem Ort sich die Entzündung rings herum am schnellsten zu allen Extremitäten ausbreiten würde. Es werden sich zwar, allem Ansehen nach, viele Schwierigkeiten finden, welche die Ausführung dieses Vorschlags unmöglich zu machen scheinen werden; es dürfte aber doch vielleicht ein tüchtiger und erfahrener Practicus noch Mittel ausfinden können, alle diese Schwierigkeiten zu heben, und den gethanen Vorschlag mit Vorthail ins Werck zu richten. Inzwischen ist zu unserem gegenwärtigen Endzweck genug, die Umstände angezeigt zu haben, worauf es bey vortheilhafter Einrichtung der Pulver-Kammer insonderheit ankömmt, und woraus man alle dahin abzielende Vorschläge leicht wird beurtheilen können. Man hat aber hierbey zu bemerken, daß je mehr man die erste Gewalt des Pulvers auf diese Art zu vermehren im Stande seyn wird, das Metall an der Canone an diesem Ort auch um soviel stärker gemacht werden mußte.

ZEHNTER SATZ

Die Veränderungen, welchen die Gewalt des Pulvers nach dem verschiedenen Zustande der Atmosphäre unterworfen ist, zu bestimmen.

In allen Experimenten, welche ich bißher untersucht, habe ich noch nicht bemerken können, daß die verschiedene Schwere der Atmosphäre die geringste Veränderung in der Kraft des Pulvers verursache, ungeachtet ich viel hundert Schüsse bey ganz verschiedenen Witterungen angestellt habe. Insonderheit habe ich öfters die Versuche, welche in dem heissesten Sommer um Mittag gemacht worden, mit denjenigen, so ich des Morgens und Abends, als es noch ziemlich kühl war, angestellt, gegen einander gehalten, zwischen denselben aber nimmer den geringsten Unterscheid wahrgenommen. Eine gleiche Bewandniß hatte es auch mit den Versuchen, welche bey Nacht und im Winter angestellt worden, obgleich zu diesen verschiedenen Zeiten die Dichte der Luft sehr verschieden gewesen. Und in der That, nachdem wir gesehen, daß diejenige subtile Materie, darinne die Gewalt des Pulvers bestehet, sowohl in der Luft, als in einem Luft-leeren Raum, in gleicher Menge erzeugt werde, so ist hieraus genugsam klar, daß diese Gewalt von einer grösseren oder kleineren Dichte der Luft unmöglich einige Veränderung leiden könne.

Ob aber gleich die Dichte der Luft keinen Einfluß auf die Gewalt des Pulvers hat, so verursacht doch die Feuchtigkeit derselben um so viel grössere Veränderungen. Denn ich habe befunden, daß eben diejenige Ladung, welche bey drucknem Wetter die Kugel mit einer Geschwindigkeit von 1700 Fuß in einer Secunde fortgetrieben, bey feuchtem Wetter eben derselben Kugel kaum eine Geschwindigkeit von 12 biß 1300 Schuh in einer Secunde mitzutheilen vermögend gewesen; ja noch weniger, wenn das Pulver von einer schlechten Art, oder nicht wohl verwahret gewesen.

Diese Verringerung der Gewalt in feuchtem Pulver ist auch, wie aus meinen Versuchen erhellet, sehr unbeständig und veränderlich: dergestalt, daß je zwey Schüsse, welche mit einerley Quantität Pulver, so aus eben demselben Faß genommen worden, gethan werden, immer wohl 10 mahl mehr von einander unterschieden sind, als wenn das Pulver drucken ist. Inzwischen habe ich doch, dieser grossen Ungewißheit ungeachtet, so viel deutlich wahrnehmen



können, daß diese von der Feuchtigkeit der Luft herrührende Verringerung der Gewalt des Pulvers in kleinen Ladungen weit stärker ist, als in grossen, wenn auch in beyden Fällen die Feuchtigkeit einerley ist. Ein anderer Umstand, welcher das feuchte Pulver begleitet, bestehet in einer sehr merklichen Unreinigkeit, welche in dem Stücke nach dem Schuß zurück bleibt, und welche weit grösser ist, als diejenige, so von einer gleichen Ladung druckenen Pulvers herrühret.

Alle diese Wirkungen können nun sehr leicht erklärt werden, wenn man nur bedenket, daß das Pulver von der Luft die Feuchtigkeit an sich nehme. Denn da das Pulver, wenn dasselbe allzufeucht ist, die Entzündungs-Kraft gänzlich verliert, so folget daraus, daß ein geringerer Grad der Feuchtigkeit, wenn derselbe auch die Entzündung nicht völlig hemmet, dennoch die daher entstehende Gewalt vermindern müsse. Derowegen wird in diesen Fällen eine kleinere Quantität von dieser subtilen elastischen Materie erzeugt, welche dahero auch einen geringeren Grad der Hitze und eine weit schwächere Ausdehnungs-Kraft hervorbringt. Folglich wird die Wirkung des feuchten Pulvers um zweyerley Ursachen willen geschwächt, je nach dem Grad der Feuchtigkeit, welche das Pulver an sich gezogen.

Das schlechte Pulver hält gemeinlich, weil der Salpeter nicht genugsam gereinigt worden, noch etwas von gemeinem Saltz in sich. Da nun das gemeine Saltz die Feuchtigkeit weit stärker an sich zieht, als der Salpeter, so ist leicht zu begreifen, daß bey feuchtem Wetter das schlechte Pulver vielmehr Feuchtigkeit annehmen müsse, als das gute, dahero dasselbe auch um so vielmehr von seiner Kraft verliert.

Die Unbeständigkeit, welche sich in den Wirkungen des schlechten Pulvers äussert, rühret, wie ich vermuthe, von den verschiedenen Graden der Trockne her, zu welcher dasselbe in dem Stücke gebracht wird. Denn da nach dem ersten und zweyten Schuß der Lauf schon etwas erwärmet wird, so verliert sich auch desto eher ein Theil der Feuchtigkeit, womit das Pulver behaftet gewesen, durch die Ausdünstung, wenn nemlich dasselbe einige Zeit in dem Lauf gelassen wird. Weil nun sowohl die Erhitzung des Schieß-Gewehrs, als die Zeit, so lange das Pulver darinne verbleibt, sehr ungewisse Umstände sind, so hat man sich nicht zu verwundern, daß die Ausdünstung und die daher ruhende Gewalt des Pulvers eben so wenig zu einiger Gewißheit gebracht werden könne. Hiebey ist noch zu erinnern, daß öfters in dem trockensten Wetter die Stärke des Pulvers bey dem ersten Schuß durch die Kälte des Stücks,

und vielleicht durch einige Feuchtigkeit, welche sich darinne zusammen gezogen, sehr merklich vermindert worden.

Daß ferner eine kleine Quantität Pulver bey einerley Grad der Feuchtigkeit mehr von seiner Kraft verliert, als eine grössere, kommt ausser Zweifel von dem geringeren Grad der Hitze her, womit die Entzündung kleinerer Ladungen, wie schon oben bemerkt worden, begleitet wird. Denn eben derselbe Grad der Feuchtigkeit thut einem schwachern Feuer einen grösseren Abbruch, als einem heftigern.

Die Unreinigkeit, welche, nachdem man mit feuchten Pulver geschossen, in dem Stück zurück bleibt, wie wir schon bemerkt haben, muß gleichfalls von der Verringerung der Gewalt der Flammen bey der Entzündung herkommen. Denn, wenn das Pulver von einer guten Art ist, daß sich dasselbe plötzlich und mit Heftigkeit entzündet, so muß der gröste Theil desselben zu Asche verbrannt werden, welche in Gestalt eines graulichten Staubes auf allen Körpern, welche sich vor der Mündung einer Canone befinden, zu erkennen ist. Die in dem Stück zurückbleibende Unreinigkeit aber kommt von denjenigen Theilchen des Pulvers her, welche entweder wegen der unvollkommenen Vermischung, oder wegen der Kälte der Wände, an welchen sie anliegen, nicht gänzlich verbrannt werden können. Da nun das feuchte Pulver nach der Menge der damit vermischten Feuchtigkeit keine so heftige Flamme giebt, so muß in diesem Fall nur ein geringer Theil des Pulvers gänzlich verzehret und zu Asche verbrannt werden: folglich bleibt ein grosser Theil unverbrannt zurück, und verursacht die Unreinigkeit, welche in der Canone nach dem Schuß wahrgenommen wird.

ZUSATZ

Es ist in der Ausführung dieses Satzes als eine unstreitige Sache angenommen worden, daß das Pulver bey feuchtem Wetter die Feuchtigkeit aus der Luft an sich ziehe. Es ist also noch übrig, die Quantität der Feuchtigkeit, welche das Pulver zu sich zu nehmen vermögend ist, zu bestimmen, welche Frage wir uns bemühen wollen, aus unseren eigenen Versuchen zu erörtern.

Ich habe ein wenig sehr gutes Pulver auf ein weisses Papier, welches mit viel kleinen Löchern durchstoßen worden, gestreuet, und das Papier über den Dampf von heissen Wasser gehalten: da ich denn befunden, daß in einer halben Minute das Pulver um den $\frac{1}{50}$ Theil am Gewichte zugenommen.



Auf eine gleiche Art habe ich ein anderes Experiment angestellt, das Pulver aber länger in den Dampf gehalten, und hernach befunden, daß das Gewicht desselben um den $\frac{1}{24}$ Theil vermehret worden. In diesem Fall aber waren schon einige Körner zusammen gebacken, ungeachtet ihre Figur noch nicht verändert worden.

Um nun hierüber zu einer Gewißheit zu gelangen, ob die Feuchtigkeit der Luft das Gewicht des Pulvers gleichfalls zu vermehren vermögend wäre, so nahm ich ungefehr eine Unze Pulver, welches einige Zeit in einem Gemach, wo täglich eingeeizet worden, gelegen, und fand, nachdem ich dasselbe bey dem Feuer gänzlich ausgetrocknet hatte, daß solches noch einen Abgang von $\frac{1}{100}$ am Gewichte erlitten hatte. Nachdem ich hierauf das Pulver in eben dem Gemach von dem Feuer weiter entfernt hatte, so hat dasselbe in weniger als 2 Stunden schon wiederum den dritten Theil des erlittenen Abgangs erlanget.

Da nun die Luft öfters viel feuchter ist, als bey dem letzten Experiment, und über dieses auch noch die offene Luft viel mehr Feuchtigkeit in sich enthält, als in einem geschlossenen Gemach, wo Feuer gemacht wird, so kann man nicht zweifeln, daß nicht öfters der zwanzigste oder dreißigste Theil am Gewicht des besten Pulvers pures Wasser seyn sollte, welches also sehr leicht als die Ursache aller vorerwehnten unbeständigen Wirkungen des Pulvers angesehen werden kann.

Inzwischen habe ich doch nimmer merken können, daß die Feuchtigkeit, welche das Pulver aus der Luft zu sich genommen hatte, die Gewalt desselben im geringsten vermindert hätte, nachdem nemlich solches wiederum getrocknet worden. Der Leser wird bey den in dem vorhergehenden Satz angeführten Experimenten wahrgenommen haben, wie genau diejenigen, welche mit gleich starken Ladungen, und unter einerley Umständen gemacht worden, mit einander übereinstimmen. In diesen Experimenten, ungeachtet dieselben zu verschiedenen Zeiten innerhalb den drey Sommer-Monathen gemacht worden, hat also die Trockne des Wetters allen hier gemeldeten Ungleichheiten vorgebeugt. Wenn man aber mit eben demselben Pulver im Winter bey feuchtem Wetter die Proben anstellt, so habe ich befunden, daß wenn man dasselbe eben wie im Sommer, ohne es vorher zu trocknen, gebraucht, die Wirkungen davon sehr unbeständig und weit schwächer heraus kommen. Wenn man aber eine jede Ladung unmittelbar vor dem Gebrauch wohl trocknet, so habe ich nimmer den geringsten Abgang an der Kraft desselben beobachten können; und die

Wirkungen waren auch mit denjenigen, welche den Sommer vorher gefunden worden, vollkommen einerley. Wenn aber das Pulver unbehutsamer Weise dem grösten Dunst ausgesetzt wird, oder wenn dasselbe allzuviel gemeines Saltz in sich enthält, so kann vielleicht die eingezogene Feuchtigkeit vermögend seyn, einen Theil von dem Salpeter völlig aufzulösen, welches ein Schade seyn würde, der durch keine Trocknung wiederum ersetzt werden könnte. Wenn man aber nur eine mäßige Sorgfalt in Bewahrung des Pulvers beobachtet, und wenn der Salpeter, woraus dasselbe besteht, von dem gemeinen Saltz wohl gereinigt worden, so kan dasselbe seine Gewalt viel länger behalten, als man insgemein dafür hält. Also habe ich gehört, daß Pulver, welches wohl verwahrt gewesen, nach Verfließung von 50 Jahren keinen Abgang an seiner Gewalt erlitten.

Man hat aber bey Trocknung des feuchten Pulvers nöthig, behutsam damit umzugehen. Denn es ist ein solcher Grad der Hitze, welcher, ob er gleich nicht hinreicht, das Pulver zu entzünden, dennoch den Schwefel zerschmelzet, und dadurch die gehörige Zusammensetzung zerstört. Ja es giebt über dieses noch einen solchen Grad der Hitze, wodurch der Schwefel Feuer fängt und nach und nach wegbrennt, ohne daß das Pulver selbst davon entzündet werde. Dieses kann ein jeder durch eigene Erfahrung leicht probiren. Man darf zu diesem Ende nur ein Stück Eisen roth glüend werden lassen, und indem dasselbe wiederum erkaltet, nach und nach darauf einige Körner Pulver werfen; auf diese Art wird man finden, daß nach einer gewissen Zeit die einzelnen Körner, welche man darauf fallen läßt, sich nicht mehr entzünden, sondern nur mit einer blauen Flamme, ohne verzehret zu werden, brennen. Es geschieht auch zuweilen, daß, wenn die Körner auf diese Art zu brennen angefangen, dieselben doch endlich völlig entzündet werden, welches sich gemeinlich ereignet, wenn einige Körner nahe beysammen zu liegen kommen. Denn obgleich die Flamme eines jeglichen Kornes insbesondere nicht hinreichend ist, dasselbe zu entzünden, so entsteht doch aus der Vereinigung zweyer oder mehr dergleichen Flammen eine solche Hitze, wodurch dieselben Körner endlich völlig entzündet werden. Wenn man nun diesen Grad der Hitze an dem Eisen genau trifft, und dasselbe mit Pulver-Körnern bestreuet, so wird dasselbe mit einer blauen Flamme überzogen, welche öfters eine ziemliche Zeit dauret, ehe die gänzliche Entzündung des Pulvers erfolgt. Wenn ich aber diese Körner noch vor der Entzündung weggenommen und untersucht habe, so habe ich weder in ihrer Farbe, noch in ihrem Zustande, einige Veränderung wahrnehmen können. Da aber auf diese Art die Körner, wenn der Schwefel daraus



wegschmelzt, die Kraft des Pulvers verlieren, so ist klar, daß das Pulver bey dem trucknen durch eine allzugrosse Hitze seiner Kraft beraubt werden könne.

Aus dem grossen Unterscheid, welcher sich zwischen dem feuchten und truckenen Pulver in Ansehung der in diesem Satz gemeldten Wirkungen aussert, erhellet zur Gnüge, wie ungewiß und unbeständig alle diejenigen practischen Anwendungen der Artillerie seyn müssen, wo man auf diesen Umstand nicht Acht hat, und wie wenig man auf solche Experimenten bauen könne, welche dieser Ungleichheit unterworfen sind.

Ehe ich diesen Articul schliesse, muß ich eines Einfalls Erwähnung thun, welchen ich einmal über diese Materie gehabt. Da das Wasser, wenn dasselbe in Dünste aufgelöst wird, eine zehn mal grössere Elasticität als die Luft, wie man dafür hält, haben soll, so fiel ich auf die Gedanken, ob nicht in gewissen Fällen die von dem Pulver angezogene Feuchtigkeit eine solche Verhältniß haben könnte, daß dieselbe bey der Entzündung in Dünste aufgelöst, und also die Gewalt des Pulvers durch den Zuwachs dieser neuen Kraft um so viel mehr vermehrt werden könnte, als die Verringerung an der Stärke der Flamme austrüge. In der Meynung, daß dieses bißweilen wirklich geschehen könne, wurde ich durch einige Experimente eines neuen Autoris bekräftiget, welcher anführet, daß die Schüsse, welche aus einem Mörser mit gleichen Ladungen geschehen, des Morgens, als es noch kühl war, weiter gegangen, als bey der Tages-Hitze. Denn ich sahe wohl, daß der Unterscheid der Dichte der Luft, wodurch derselbe diese Begebenheit erklären will, die Ursache hiervon unmöglich seyn könnte. Nachdem ich aber diese Sache fleißiger untersucht hatte, so habe ich nimmer finden können, daß irgend ein Grad der Feuchtigkeit die Gewalt des Pulvers zu vermehren vermögend gewesen wäre. Denn aus allen den häufigen Versuchen, welche ich zu diesem Ende angestellt, habe ich niemahls bemerken können, daß die Gewalt die mittlere Grösse merklich übertroffen hätte, ausgenommen in zwey Experimenten; eben diese Vermehrung aber kam, wie ich zu vermuthen grossen Grund habe, vielmehr von einer Verrückung der Maschine her. Unterdessen, wenn die Elasticität der wasserichten Dünste so groß ist, als man insgemein dafür hält (welches gleichwohl noch keine ausgemachte Sache ist), so könnte es leicht seyn, daß daher einige Verstärkung bey Entzündung einer sehr grossen Menge Pulvers verursacht würde.

ANMERKUNG

In diesem Satz wird von dem Verfasser ein sehr wichtiger Umstand berührt, weswegen das Pulver zu einer Zeit eine weit geringere Gewalt ausübet, als zu einer andern. Derselbe beruhet auf der Menge der Feuchtigkeit, welche das Pulver aus der Luft an sich gezogen. Hierbey kommen nun zwey Umstände vor, erstlich wie viel Feuchtigkeit das Pulver in einem jeglichen Fall in sich enthalte, und zweytens um wie viel die Gewalt desselben von einem jeglichen Grad der damit vermischten Feuchtigkeit vermindert werde. Das erstere läßt sich durch das Gewicht erkennen. Denn wenn man erstlich eine gewisse Quantität Pulver vollkommen trocknet und genau abwägt, hernach aber bey einer jeden Veränderung der Luft das Gewicht derselben Quantität wiederum sorgfältig bemerkt, so muß der Zuwachs des Gewichts immer anzeigen, wie viel Feuchtigkeit in dem Pulver enthalten ist. Weil die Feuchtigkeit der Luft durch das Hygrometrum ziemlich genau bestimmt werden kann, so könnte man über diesen Umstand nützliche Versuche anstellen, wenn man bey einem jeglichen verschiedenen Grad, den das Hygrometrum weiset, eine gewisse Quantität Pulver abwägen sollte. Auf diese Art würde man erkennen, wie viel Feuchtigkeit das Pulver in einem jeglichen Zustand der Luft, welcher durch das Hygrometrum angezeigt wird, in sich enthalte. Man müßte aber bey einer jeden Veränderung, so in der Luft vorgeht, das Pulver eine geraume Zeit der Luft ausgesetzt lassen, damit dasselbe immer eben den Grad der Feuchtigkeit an sich nehmen könnte, welche die Luft hat. Denn es ist leicht zu erachten, daß wenn die Feuchtigkeit der Luft abnimmt, diejenige, welche sich schon vorher in das Pulver gezogen, nicht so bald wiederum durch die Ausdünstung davon gehen könne. Es würden sich auch bey der wirklichen Anstellung solcher Versuche, allem Ansehen nach, noch mehr Schwierigkeiten einfinden, dennoch aber würden dieselben nicht hindern, daß dergleichen Experimente keinen sehr grossen Nutzen haben sollten. Da auch, wie der Autor bemerkt, das schlechte Pulver weit mehr als das gute von der Feuchtigkeit der Luft an sich ziehet, so könnte man auch auf diese Art die Güte des Pulvers untersuchen: indem dasjenige unstreitig das beste ist, welches am wenigsten Feuchtigkeit zu sich nimmt.

Wenn man nun auf diese Art gefunden hat, wie viel Feuchtigkeit das Pulver zu einer jeden Zeit in sich enthält, so kann man nach der von dem Autore erfundenen Methode leicht untersuchen, um wie viel dadurch die Ge-



walt verringert wird; und solchergestalt würde man im Stande seyn, die Wirkung des Pulvers bloß allein aus der Theorie weit genauer zu bestimmen, als bißhero möglich gewesen. Der Verfasser führet hier, um die verminderte Kraft des feuchten Pulvers darzuthun, ein merkwürdiges Exempel an, daß der Kugel von feuchtem Pulver nur eine Geschwindigkeit von 1200 Schuh in einer Secunde mitgetheilet worden, da unter eben denselben Umständen von trockenem Pulver die Geschwindigkeit der Kugel 1700 Schuh in einer Secunde ausgetragen. Er bestimmt zwar nicht, wie viel Feuchtigkeit in diesem Fall mit dem Pulver vermischt gewesen; wenn wir aber annehmen, daß die Feuchtigkeit den dreißigsten Theil des ganzen Gewichts betragen, so könnte man sagen, daß wenn das Pulver mit dem dreyßigsten Theil Wasser vermischt wird, seine Gewalt um $\frac{5}{17}$ vermindert werde. Wenn nun ferner, welches zwar nicht zu vermuthen ist, der Abgang der Gewalt des Pulvers immer der damit vermischten Feuchtigkeit proportional wäre, so könnte man hieraus finden, um wie viel die Gewalt des Pulvers durch eine jegliche andere Menge Feuchtigkeit, so damit vermischt ist, vermindert werde.

Denn laßt uns setzen, daß die mit dem Pulver gemischte Feuchtigkeit den $\frac{1}{n}$ Theil des Gewichts antrage, so müßte sich $\frac{1}{30}$ zu $\frac{1}{n}$ verhalten wie $\frac{5}{17}$ zu dem gesuchten Verlust der Gewalt des Pulvers, welcher folglich $= \frac{150}{17n}$ oder beynahe $= \frac{9}{n}$ seyn würde. Wenn also nur der hundertste Theil Feuchtigkeit mit dem Pulver vermischt ist, so müste die Kraft desselben um den $\frac{1}{11}$ Theil abnehmen, welcher Verlust gleichwohl weit grösser seyn würde, als die von dem Autore angeführten Experimente anzeigen. Denn da, wie der Autor berichtet, solches Pulver, welches lange Zeit in einem warmen Zimmer gelegen, dennoch bey der Trocknung noch den $\frac{1}{100}$ Theil von seinem Gewichte verlohren, so muß sich vermuthlich öfters ein eben so grosser Unterschied bey dem Pulver, womit die vorhergemeldeten Experimente gemacht worden, befunden haben, welche doch diesem ungeachtet mit des Autoris Theorie ziemlich genau überein zu kommen scheinen. Dahero zu schliessen ist, daß, wenn nur der hundertste Theil Feuchtigkeit mit dem Pulver vermischt ist, seine Gewalt dadurch nicht merklich vermindert werde.

Man siehet aus demjenigen, was bißher angeführt worden, auch leicht, daß die verschiedene Schwere und Dichtigkeit der Luft in der Wirkung des Pulvers keine merkliche Veränderung verursachen könne. Man könnte zwar denken, daß, da eine schwere Luft stärker gegen die Kugel, indem dieselbe von dem Pulver durch den Lauf heraus getrieben wird, drücket, als eine

leichtere, die Geschwindigkeit im erstern Fall mehr vermindert werden müßte, als in dem letztern. Allein, da wir oben gewiesen haben, daß kein merklicher Unterschied in der Geschwindigkeit der Kugel heraus kommt, wenn man auch den Gegendruck der Luft völlig aus der Acht läßt, so kann die verschiedene Schwere desselben um so viel weniger einen merklichen Unterschied verursachen.

ELFTER SATZ

Die Geschwindigkeit zu bestimmen, mit welcher die aus der Entzündung des Pulvers entstehende Flamme durch ihre eigene Ausdehnungs-Kraft fortgethet, wenn weder eine Kugel noch ein anderer Körper vor das Pulver in dem Stück geladen wird.

Wenn das ganze Wesen des Pulvers in eine subtile elastische Materie bey der Entzündung verwandelt würde, so könnte man aus der Ausdehnungskraft desselben, welche oben bestimmt worden, und ihrer Dichtigkeit, welche gleichfalls bekannt ist, den Grad der Geschwindigkeit, womit sich dieselbe auszudehnen anfängt, leicht bestimmen, und daraus ferner die darauf folgende Vermehrung derselben durch die Seele des Stücks heraus bringen. Nachdem wir aber dargethan haben, daß diese subtile elastische Materie, worinn die Gewalt des Pulvers bestehet, nur ungefähr $\frac{3}{10}$ von der ganzen Substantz des Pulvers beträgt, so bleiben die übrigen $\frac{7}{10}$ nach der Entzündung mit der subtilen elastischen Materie vermischt, und müssen dahero durch ihre Schwere die Wirkung desselben hemmen. Ueber dieses sind auch diese zwey verschiedenen Materien, worinne sich das Pulver auflöset, nicht so genau mit einander vereinigt, daß dieselben einerley Bewegung theilhaftig werden, sondern die gröbern Theile müssen weit langsamer fortgetrieben werden, als die subtilen: ja viele von denselben bleiben so gar in dem Lauf zurück, wie aus der Unreinigkeit, welche sich in den Schieß-Gewehren, nachdem dieselben öfters gebraucht worden, befindet, leicht abzunehmen ist.

Diese Ungleichheit, welcher die ausdehnende Bewegung der Flamme unterworfen ist, nöthiget uns, um dieselbe genau zu bestimmen, unsere Zuflucht zu der Experientz zu nehmen, und darauf allein unsere Untersuchung zu gründen.



Die Experimente, welche zu diesem Ende angestellt worden, waren von zweyerley Art: die ersten wurden gemacht mit dem Lauf, welchen wir oben¹⁾ mit dem Buchstaben A bemerkt haben. Derselbe wurde mit 12 Drachm. Pulver, nebst einem leichten Pfropf von Hanf, geladen; und nachdem seine Mündung 19 Zoll von dem Mittel-Punkt des in dem siebenten Satze beschriebenen Penduli entfernt worden, so wurde dasselbe in dieser Lage loßgeschossen, und bemerkt, daß das Pendulum von der Gewalt der blossen Flamme durch einen Bogen zurück getreten, dessen Sehne 13,7 Zoll betragen. Wenn wir nun annehmen, daß die ganze Substantz des Pulvers auf das Pendulum gestossen, und daß alle Theile mit einerley Geschwindigkeit gegangen, so folget, daß diese Geschwindigkeit ungefähr 2650 Schuh in einer Secunde hätte austragen müssen. Dieses ist also die kleinste Geschwindigkeit, welche man dem Pulver in seiner Ausdehnung zuschreiben kann. Wenn wir aber setzen, daß die subtilen elastischen Theile eine weit grössere Geschwindigkeit in dieser Ausdehnung erlangen, als die gröbern, welches ohne Zweifel der Wahrheit gemäß ist, so muß die vorher gefundene gemeine Geschwindigkeit, in Ansehung der subtilen Theile des Pulvers vermehret, in Ansehung der gröbern aber vermindert werden. Da auch, allem Ansehen nach, ein merklicher Theil der Geschwindigkeit, indem die Flamme durch den Raum von 19 Zollen durchgedrungen, verlohren gegangen, so habe ich hierüber die folgenden Experimente angestellt, welche dieser Schwierigkeit nicht unterworfen sind.

Ich befestigte den mit dem Buchstaben A bemerkten Lauf dergestalt auf das Pendulum, daß die Axe desselben horizontal und zugleich perpendicular auf die Fläche des Bretts war, oder, welches einerley, daß derselbe in die Fläche der Schwingungen des Penduli zu liegen kam. Das Punkt, wo die Axe des Laufs das Pendulum berührte, war 6 Zoll über dem Mittelpunkt des Bretts, und das Gewicht des Laufs nebst dem Eisen, welches zur Befestigung gebraucht worden, war $11\frac{1}{2}$ Pfund. In dieser Lage wurde der Lauf mit 12 Drachm. Pulver ohne Kugel und Pfropf geladen, und das Pulver nur allein mit dem Ladestock zusammen gedrückt. Nachdem nun der Schuß geschehen, so stieg das Pendulum durch einen Bogen hinauf, dessen Sehne von 10 Zollen befunden worden. Wenn man nun diese Wirkung auf einen gleich starken Stoß gegen das Mittel-Punkt des Penduli reducirt, und dasjenige, was das Gewicht des Laufs dazu beygetragen, abzieht, so wird man finden, daß dasselbe durch einen Bogen, dessen Sehne 14,4 Zoll, gestiegen seyn würde.

1) Siehe p. 123. F. R. S.

Eben dieses Experiment ist zum andern mahl wiederhohlet worden, und da wurde die Sehne des Bogens, durch welchen das Pendulum gestiegen, von 10,1 Zoll befunden, welche auf obige Art reducirt 14,6 Zoll geben.

Um den Unterscheid in der Geschwindigkeit zu untersuchen, welcher sich in den verschiedenen Theilen der Flamme befindet, habe ich den vorigen Lauf wiederum mit 12 Drachm. Pulver geladen, und dasselbe mit einem Pfropf von Hanf, so 1 Drachm. wog, zusammen getrieben. Ich stellte mir nun vor, daß dieser Vorschlag, weil derselbe so leicht war, augenblicklich eben denjenigen Grad der Geschwindigkeit erlangen würde, mit welchem sich der subtile Theil des Pulvers vor sich allein, wann kein Vorschlag vorhanden gewesen wäre, ausgedehnt haben würde: und auf diese Art fand ich, daß die Sehne des aufsteigenden Bogens würcklich auf 12 Zoll vermehret worden, welche nach der obigen Reduction auf das Mittel-Punkt des Penduli 17,3 Zoll austragen. Da nun in den beyden erstern Experimenten die mittlere Länge der Sehne war 14,5 Zoll, so hat in dem gegenwärtigen Fall, da die Gewalt durch den Zusatz von 1 Drachm. Materie, so sich mit dem geschwindesten Theil der Flamme gleich bewegt, vermehret worden, die Sehne des aufsteigenden Bogens um 2,8 Zoll zugenommen. Folglich war die Geschwindigkeit, welche dieser Drachma Materie eingedrückt worden, von 7000 Schuh in einer Secunde.

Man könnte vielleicht gegen diese Bestimmung einwenden, daß die Vermehrung des Bogens, durch welchen das Pendulum in diesem Fall zurück getreten, nicht allein von der dem Vorschlag mitgetheilten Bewegung herkommen, sondern daß die nähere Einschränkung des Pulvers, wodurch ein grösserer Theil davon entzündet worden, nicht wenig zu dieser Vermehrung beygetragen. Allein, wenn es wahr wäre, daß sich nicht alles Pulver, sondern nur ein Theil davon entzündete, wenn kein Vorschlag gebraucht wird, so würde man nicht wahrnehmen, daß, wenn man verschiedene Quantitäten Pulver ohne Vorschlag loßbrennet, alsdenn die Sehne des aufsteigenden Bogens nach eben der Verhältniß zu- und abnehme, als die Quantität des Pulvers vermehret oder vermindert worden. Welche Verhältniß doch, wie ich durch viele Versuche befunden, ziemlich genau eintrifft. Denn, als ich 9 Drachm. Pulver geladen, so fand ich die Sehne des aufsteigenden Bogens von 7,3 Zoll, welche mit einer Ladung von 12 Drachm. 10 bis 10,1 Zoll lang gewesen. Als ich aber nur 3 Drachm. zur Ladung genommen, so wurde diese Sehne nur 2 Zoll, welche Länge zwar um $\frac{1}{2}$ Zoll kleiner ist, als obgedachte Verhältniß erfordert: es können aber hiervon zwo andere wichtige Ursachen angezeigt werden.



Es findet sich aber hier eine noch viel stärkere Probe, daß sich alles Pulver auf einmahl entzündet, wenn auch kein Vorschlag vor die Ladung gesetzt wird. Dieselbe beruhet hierauf, daß der Theil der Bewegung des Penduli, welcher von der Ausdehnung des Pulvers allein herrühret, nicht grösser ist, wenn eine Kugel vor das Pulver geladen wird, als wenn man eben dieselbe Quantität allein loßbrennet, ohne daß dieselbe mittelst eines Vorschlags zusammen gehalten worden. Wir haben gesehen, daß die Sehne des Bogens, durch welche das Pendulum von der Ausdehnungs-Kraft des Pulvers allein gestossen worden, 10 oder 10,1 Zoll gewesen: als ich aber denselben Lauf auf die gewöhnliche Art mit Vorschlag und Kugel geladen, so habe ich die Sehne des gedachten Bogens einmahl $22\frac{1}{4}$, ein andermahl $25\frac{1}{8}$ Zoll lang gefunden, wozwischen 22,56 die Mittel-Zahl ist. Wenn wir nun setzen, daß die Kugel nebst dem Vorschlag an eben dem Ort, wo der Lauf gegen das Pendulum befestigt worden, aufgestossen, und das mit eben derselben Geschwindigkeit, welche dieselbe bey der Mündung des Laufs erhalten hätte, so müste davon das Pendulum durch einen Bogen, dessen Sehne ungefähr 12,3 Zoll, getrieben werden: welches aus dem Gewichte des Penduli, dem Gewichte der Kugel und ihrer Geschwindigkeit, nebst dem Ort, wo dieselbe aufgestossen, nach den vorher angeführten Experimenten und Regeln abzunehmen ist. Wenn man also diese Zahl 12,3 von der vorher gefundenen 22,56 abzieht, so muß der Rest 10,26 beynahe die Sehne des Bogens anzeigen, durch welchen das Pendulum von der Kraft des Pulvers allein gestossen worden, wenn man damit eine Kugel geladen. Diese Zahl 10,26 ist nicht merklich unterschieden von 10,1, wodurch die Sehne des aufsteigenden Bogens ausgedrückt worden, als wir eben dieselbe Quantität Pulver ohne Kugel und Vorschlag gegen das Pendulum abgefeuert hatten.

Daß aber diese Geschwindigkeit von 7000 Schuh in einer Secunde, welche wir für den wirkenden Theil der Flamme herausgebracht, nicht zu groß sey, erhellet ganz deutlich aus dem 38sten Experiment, welches oben angeführt worden. Denn in demselben wurde die Kugel mit einer Geschwindigkeit von 2400 Schuh in einer Secunde heraus getrieben. Wenn sich nun die Flamme nicht mit einer weit grösseren Geschwindigkeit ausgebreitet hätte, so hätte man eine merkliche Verminderung ihrer Gewalt auf diese so schnelle Bewegung der Kugel wahrnehmen müssen, welches doch nicht geschehen. Folglich mußte in diesem Fall der Grad der Geschwindigkeit, womit sich das Pulver hinter der Kugel wirklich ausgebreitet, ohne einen merklichen Theil seiner Kraft zu

verlieren, weit kleiner seyn, als derjenige, womit sich das Pulver allein, wenn keine Kugel daselbst gewesen wäre, ausgedehnet haben würde.

Und in eben dieser erstaunlichen Geschwindigkeit, womit sich die Flamme von dem entzündeten Pulver ausbreitet, besteht hauptsächlich die so ganz ausserordentliche Gewalt derselben, wodurch sie alle andere sowohl alte als neue Erfindungen, welche immer zum Behuf des Kriegs-Wesens gemacht worden, so weit übertrifft. Wenn man zwar nur auf die Grösse der Bewegung sieht, welche den geworfenen Körpern eingedrückt wird, und welche man aus dem Gewicht derselben mit der Geschwindigkeit multiplicirt zu schätzen pflegt, so muß man gestehen, daß viele Kriegs-Maschinen der Alten eine weit grössere Bewegung hervor zu bringen vermögend gewesen, als unsere heut zu Tage üblichen schwersten Canonen und Mörser. Allein die entsetzliche Geschwindigkeit, womit man anjetzo die Körper mittelst des Pulvers fortzutreiben im Stande ist, kann mit jenen in keine Vergleichung gebracht werden. Die Ursache von diesem Unterscheid besteht hierinne, daß zwar die Alten die fortreibende Gewalt theils durch Gewichte, theils durch Federn und verdrehte Stricke, nach Belieben vermehren konnten, allein eine jegliche Vermehrung der Gewalt vermehrte zugleich die Materie, welche damit in Bewegung gesetzt werden mußte, dergestalt, daß wenn die Gewalt verstärkt wurde, zugleich auch diejenigen Theile der Maschine, welche die Bewegung geben sollten, am Gewichte zunahmen. Dahero dann nothwendig folgte, daß die Wirkung der Gewalt nicht allein auf die Bewegung der fortzutreibenden Körper angewandt werden konnte, sondern der gröste Theil derselben mußte auf die Bewegung derjenigen Theile der Maschine selbst, mit welchen die Kraft verknüpft war, verwandt werden, um dieselben in Stand zu setzen, dem Körper, welcher fortgetrieben werden sollte, nachzufolgen, und denselben immer weiter fortzustossen, so weit sich der Raum ihrer Würksamkeit erstreckte. Aus diesem Grunde geschahe es nun, daß, obgleich diese alten Maschinen ungeheure Gewichte fortreiben konnten, dennoch die Geschwindigkeit derselben sehr geringe war, in Ansehung derjenigen, welche anjetzo durch die Gewalt des Pulvers den Kugeln und andern Körpern eingedrückt werden können. Dahero in allen Gelegenheiten, wo es auf eine sehr schnelle Bewegung ankommt, unsere jetzigen Maschinen einen sehr grossen Vorthell vor den alten erhalten. Wo aber keine so schnelle Bewegung erfordert wird, da könnten auch noch heut zu Tage die alten Maschinen mit nicht geringem Vorthell gebraucht werden. Dahero dieselben auch noch alle Aufmersamkeit bey den Kriegsverständigen verdienen,



welche eine hinlängliche Fähigkeit besitzen, einen jeglichen Theil ihrer Profession nach seinem wahren und eigentlichen Werth in Erwägung zu ziehen, und sich nicht an die Vorurtheile der Zeit, in welcher sie leben, kehren.

Aus den in diesem Satze gegebenen Bestimmungen läßt sich auch die Gewalt der Petarden erklären, indem ihre Wirkung bloß allein auf der Kraft der Flamme beruhet. Hieraus erhellet auch, daß eine Quantität Pulver, vermittelt einer solchen Maschine, wenn dieselbe wohl zugerüstet worden, eine eben so grosse Wirkung hervor bringen könne, als eine Kugel, welche zweymahl so schwer ist, und sich mit einer Geschwindigkeit von 14 bis 1500 Schuh in einer Secunde bewegt.

ERSTE ANMERKUNG

Wir haben schon oben bemerkt, daß die Geschwindigkeit, welche der Kugel von dem Pulver eingedruckt wird, nicht allein von desselben Ausdehnungskraft herkomme, sondern daß auch die Geschwindigkeit selbst, mit welcher die Flamme der Kugel nachfolget, in Betrachtung gezogen werden müsse. Denn es ist klar, daß, so groß auch immer die Gewalt des Pulvers angenommen wird, der Kugel dennoch von demselben kein grösserer Grad der Geschwindigkeit eingedruckt werden könne, als derjenige ist, womit sich die Flamme des Pulvers selbst, wenn keine Kugel vorhanden wäre, ausbreiten würde. Dieser Grad der Geschwindigkeit kan nun der Kugel nimmermehr mitgetheilet werden, indem das Pulver nur in so ferne auf die Kugel würket, als dieselbe noch langsamer fortgehet, als die Flamme selbst fortgehen würde, wenn die Kugel in demselben Augenblick zernichtet würde. Da nun die Kugel selbst, kraft ihrer Schwehre, der Bewegung widersteht, und auch über dieses noch vielerley äusserlichen Widerstand antrifft, so ist leicht zu erachten, daß dieselbe nimmer den Grad der Geschwindigkeit, womit sich die Flamme selbst ausdehnet, erreichen könne. Hieraus sieht man auch ferner, daß der höchste Grad der Geschwindigkeit, welcher einer Kugel von dem Pulver mitgetheilet werden kann, beständig um soviel kleiner seyn müsse, als derjenige ist, welchen die bloße Flamme erreichen kann, je schwerer die Kugel selbst, und je grösser der äusserliche Widerstand ist. Um dieser Ursache willen ist also die Frage, welche der Verfasser in dem gegenwärtigen Satze aufwirft, von der grössten Wichtigkeit, indem, ehe dieselbe erörtert worden, die wahre Geschwindigkeit der Kugel aus der Gewalt

des Pulvers unmöglich bestimmt werden kann. Der Autor sieht zwar die Auflösung dieser Frage an sich selbst betrachtet, als sehr leicht an, und findet nur in den ungleichen Theilen, worein das Pulver durch die Entzündung aufgelöset wird, eine so grosse Schwierigkeit, daß er die Theorie völlig bey Seite setzt, und seine Zuflucht bloß allein zu den Experimenten nimmt. Ungeachtet wir nun an der Geschicklichkeit des Verfassers, dergleichen Fragen aufzulösen, keinesweges zweifeln, so glauben wir doch, daß derselbe bey dieser Frage, wenn auch der gemeldete Umstand nicht da wäre, nicht wenig Schwierigkeit gefunden haben würde. Denn diese Frage erfordert die tiefste Einsicht in die Natur, und die Gesetze der Bewegung flüssiger Körper; und es ist noch nicht lange, daß man sich im Stande befindet, dergleichen Aufgaben durch Hülfe der Rechnung auszuführen.

Wir haben diese wichtige Erweiterung der mathematischen Wissenschaften den beyden weit berühmten Männern JOHANNI und DANIEL BERNOULLI zu danken, von welchen der letztere diese Materie zuerst in seinem unvergleichlichen Werke von der Hydrodynamic abgehandelt, und das ganze Werk meistens auf die Erhaltung der sogenannten lebendigen Kräfte gegründet. Sein Herr Vater, der Hr. Prof. JOH. BERNOULLI in Basel hat hierauf die Natur dieser Bewegungen aus den ersten Grundsätzen der Mechanic auf eine sehr sinnreiche Art erklärt, welche Abhandlung sich sowohl in dem IX. Theil der Werke der Kayserl. Academie in St. Petersburg¹⁾, als der vor einigen Jahren in Lausanne herausgekommenen Sammlung aller Werke dieses grossen Manns, befindet. Da nun diese wichtigen Erfindungen unserm Verfasser, als er sein Werk geschrieben, noch unbekannt gewesen, so ist auch schwer zu glauben, daß er mit der Auflösung dieser Frage so leicht würde haben zurechte kommen können; ungeachtet er dieselbe für sehr leicht zu halten scheint. Die grösste Schwierigkeit bestehet aber gar nicht darinne, daß die ungleichen Theile, worein das Pulver durch die Entzündung aufgelöset wird, auch in eine ungleiche Bewegung gesetzt werden: sondern wenn auch diese Ungleichheit nicht vorhanden wäre, so würde doch die Bestimmung der verschiedenen Kräfte, welche auf alle Theilchen insbesondere würken, noch weit schwerer fallen. Insonderheit aber wenn man betrachtet, daß in einem jeglichen Zustand, worinn sich die aus dem Pulver erzeugte Luft während der Ausdehnung befindet, nicht alle Theile einen gleichen Grad der Elasticität, und folglich auch nicht einen gleichen Grad der Dichtigkeit, haben können; so er-

1) Siehe die Anmerkung 3 p. 6. F. R. S.



eignen sich in der Ausrechnung so viel Schwierigkeiten, daß auch die obgemeldeten Methoden der Herren BERNOULLI kaum hinreichend sind, dieselben zu überwinden. Denn da, wie wir schon oben erinnert haben, die Bewegung eines jeglichen Theilchens, so lange die Ausbreitung dauret, beständig vermehrt wird, so muß auch ein jegliches Theilchen von hinten stärker, als von vornen gedrückt werden: folglich muß die elastische Kraft hinten immer grösser seyn, als vorne. Wenn also eine Kugel vor dem Pulver befindlich ist, so muß dieselbe nach der Entzündung immer nur von der kleinsten Kraft, womit die Theile der Flamme begabet sind, fortgestossen werden, weil darauf nur die vordersten Theile mit ihrer Elasticität wirken. Weil aber die Theilchen dieser aus dem Pulver erzeugten elastischen Materie so sehr subtil sind, und also eine sehr geringe Kraft erfordert wird, um dieselben in Bewegung zu setzen, so kann auch die Ungleichheit in der Elasticität nicht merklich seyn, dahero wir uns nicht viel von der Wahrheit entfernen werden, wenn wir annehmen, daß in einem jeden Augenblick die Elasticität durch die ganze subtile Materie gleich zertheilt sey. Auf diese Art fallen aber die grösten Schwierigkeiten weg, und die Frage kann nach den obgemeldeten Methoden folgendergestalt aufgelöst werden.

Weil man die aus dem Pulver durch die Entzündung erzeugte subtile elastische Materie als eine sehr stark zusammengepreßte Luft ansehen kann, so wollen wir setzen, daß im ersten Augenblick nach der Entzündung in dem hohlen

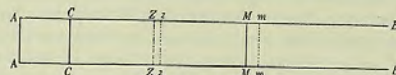


Fig. 9.

Cylinder ABB (Fig. 9) der Raum $AACC$ mit dergleichen zusammen gepreßten Luft erfüllet gewesen. Es sey nun die Länge dieses gantzen Cylinders $AB = a$; die Weite desselben $= cc$, und die Länge $AC = b$; die in diesem Raum AC zusammen gepreßte Luft aber sey m mahl dichter, als die natürliche Luft, so wird auch nach der gemeinen Regel die Elasticität derselben m mahl grösser seyn, als die Elasticität der natürlichen Luft. Wenn wir also die Höhe des Quecksilbers in dem Barometer setzen $= h$, deren Schwere der Elasticität der natürlichen Luft gleich ist, so wird die Elasticität der natürlichen Luft durch das Gewicht einer Luft-Säule, deren Höhe $= 12000h$, ausgedrucket werden, folglich wird die Elasticität der in dem Raum AC zusammengepreßten Luft

dem Druck einer natürlichen Luft-Säule, welche $12000mh$ hoch ist, gleich seyn. Lasst uns nun setzen, daß sich diese Luft nach einiger Zeit schon bis MM ausgedehnet habe, und nennen die Länge dieses Raums $AM = x$; so wird die Dichte der durch diesen Raum ausgebreiteten Luft sich zur anfänglichen Dichte in AC verhalten, wie AC zu AM , das ist, wie b zu x , und also wird dieselbe noch $\frac{mb}{x}$ mahl grösser seyn, als die der natürlichen Luft, und ihre Elasticität wird dem Gewicht einer natürlichen Luft-Säule gleichen, deren Höhe ist

$$= \frac{12000mbh}{x}$$

Wenn wir nun annehmen, daß sich diese Luft gantz allein durch ihre Kraft ausbreite, und weder eine Kugel noch einen Pfropf vor sich her stossen müsse, so kann die Geschwindigkeit, mit welcher diese Ausdehnung geschieht, auf einen jeglichen Augenblick, und an einem jeglichen Orte, also bestimmt werden. Es sey Vv die Geschwindigkeit, mit welcher sich die vorderste Scheibe MM gegen BB fort bewegt, dergestalt daß v die Höhe andeutet, aus welcher ein schwerer Körper durch den Fall eben diejenige Geschwindigkeit erhält, mit welcher die Scheibe MM fortgeht. Da wir nun annehmen, daß sich die zusammengedruckte Luft beständig gleichförmig ausbreite, so wird eine jegliche andere Scheibe ZZ um so viel langsamer fortgehen, je näher dieselbe dem Boden AA ist. Wenn wir also diese Entfernung $AZ = z$ setzen, so wird die Geschwindigkeit in ZZ seyn $= \frac{zVv}{x}$ und indem die vordere Scheibe MM durch den unendlich kleinen Weg $Mm = dx$ fortrückt, so wird die Scheibe ZZ durch einen Weg, so $= \frac{zdx}{x}$ fortgehen. Da aber die Geschwindigkeit vermehrt wird, so wollen wir nach den Regeln der Differential-Rechnung setzen, daß indem MM durch Mm fortgeht, die Höhe v um dv oder die Geschwindigkeit selbst Vv um $\frac{dv}{2Vv}$ vermehrt werde; so wird in eben der Zeit die Geschwindigkeit der Scheibe ZZ um

$$\frac{zdv}{2xVv}$$

und die Höhe $\frac{zdv}{xx}$, aus welcher diese Geschwindigkeit erlanget wird, um

$$\frac{zsdv}{xx}$$

zunehmen. Wir wollen nun der Scheibe ZZ eine Dicke $Zz = dz$ geben, der-



gestalt, daß ihr Inhalt seyn soll = $ccdz$, und da die Luft in diesem Zustand $\frac{mb}{x}$ mahl dichter ist, als die natürliche, so wird die Scheibe $ZZzz$ in Ansehung der Materie, einer gleich dicken Scheibe natürlicher Luft gleichen, deren Höhe = $\frac{mbdz}{x}$. Da nun die Bewegung dieser Scheibe vermehrt wird, keine solche Vermehrung aber ohne Kraft hervorgebracht werden kann, so wollen wir setzen, daß die Kraft, wodurch die Geschwindigkeit der Scheibe $ZZzz$ vermehrt wird, dem Gewicht einer natürlichen gleich dicken Luft-Säule gleiche, deren Höhe = $12000p$. Weil wir nun gesehen, daß, indem diese Scheibe durch den Weg $\frac{zdx}{x}$ fortrückt, die ihre Geschwindigkeit bestimmende Höhe $\frac{zdv}{xx}$ um $\frac{zdv}{xx}$ wachse, so muß sich nach den Grund-Gesetzen der Mechanic dieser Zuwachs $\frac{zdv}{xx}$ zu dem Wege $\frac{zdx}{x}$ verhalten, wie die fortstossende Kraft $12000ccp$ zum Gewicht der Scheibe $\frac{mbccdz}{x}$, das ist

$$\frac{zdv}{xx} \cdot \frac{zdx}{x} = 12000ccp : \frac{mbccdz}{x},$$

woraus man bekommt die Grösse der zur Fortreibung dieser Scheibe erfordernten Kraft

$$12000ccp = \frac{mbccz dzdv}{xxdx} = \frac{mbccdv}{xxdx} \cdot zdx.$$

Da nun zu der unendlich kleinen Scheibe $ZZzz$ so viel Kraft erfordert wird, so wird das Integrale der gefundenen Formel, nemlich

$$\frac{mbccdv}{xxdx} \cdot \frac{zx}{2},$$

die Kraft anzeigen, welche zur Acceleration der im Raum $AAZZ$ befindlichen Luft nöthig ist, und wann wir jetzt $z=x$ setzen, so kommt die gänzliche Kraft, von welcher die Acceleration aller im Raum $AAMM$ eingeschlossenen Luft herrühret, heraus, und wird

$$= \frac{mbccdv}{2dx}.$$

Diese Kraft muß nun, wenn kein Widerstand vorhanden, der elastischen Kraft, womit diese zusammen gedruckte Luft begabet ist, gleich seyn, welche durch das Gewicht einer natürlichen Luft-Säule, deren Höhe = $\frac{12000mbh}{x}$ und Dicke = cc , ausgedrückt worden; folglich bekommen wir diese Vergleichung:

$$\frac{dv}{2dx} = \frac{12000h}{x}, \text{ oder } dv = \frac{24000hdx}{x},$$

davon das Integrale gibt

$$v = 24000hl \frac{x}{b}.$$

Wenn wir nun für x setzen $AB=a$, so bekommen wir die Höhe, aus welcher eben diejenige Geschwindigkeit erzeugt wird, womit die in unserm hohlen Cylinder zusammen gepreßte Luft bey der Oefnung BB herausfahren wird; und diese Höhe ist also

$$= 24000hl \frac{a}{b}.$$

Wobey zu merken, daß alhier für $l \frac{a}{b}$ nicht die gewöhnlichen Logarithmi, sondern die so genannten hyperbolischen Logarithmi genommen werden müssen. Wenn man sich aber der gemeinen bedienen will, so muß man dieselben mit dieser Zahl 2,30258509 multipliciren, oder man bekommt

$$v = 55261hl \frac{a}{b}.$$

Will man aber wissen, wie viel Schuhe diese Geschwindigkeit in einer Secunde betrage, so darf man nur die Länge h in tausendsten Theilen eines Rheinländischen Schuhs ausdrücken, und die Quadrat-Wurzel aus v durch 4 dividiren. Wenn nun $h=30$ Englische Zoll genommen wird, so ist nach Rheinländischem Maaß $h=2425$, und die gesuchte Geschwindigkeit beträgt

$$\frac{1}{4} \sqrt{55261 \cdot 2425 l \frac{a}{b}}$$

Rheinl. Schuhe in einer Secunde. In dem von dem Autore zuerst angeführten Exempel war

$$a=45 \text{ und } b=2\frac{5}{8}, \text{ folglich } \frac{a}{b} = \frac{360}{21} = \frac{120}{7},$$

dahero mußte in diesem Fall die Flamme, wenn weder Kugel noch Vorschlag vor das Pulver geladen worden, und auch kein ausserlicher Widerstand vorhanden wäre, aus dem Lauf mit einer Geschwindigkeit heraus fahren, womit in einer Secunde so viel Schuhe, als diese Zahl

$$\frac{1}{4} \sqrt{55261 \cdot 2425 \cdot 1,23408})$$

1) Im Original $\frac{1}{4} \sqrt{55261 \cdot 2425 \cdot 1,23438}$. Berichtigt von F. R. S.



anzeigt, werden durchlaufen können. Da nun

$$l55261 = 4,7424187$$

$$l2425 = 3,3847117$$

$$l1,23408 = 0,0913435$$

$$8,2184740$$

die Hälfte genommen

$$4,1092370$$

subtr. l4

$$= 0,6020600$$

$$3,5071770,$$

so beträgt diese Geschwindigkeit so viel Schuh 3215 in einer Secunde. Welche Zahl mehr als um die Hälfte kleiner ist, als diejenige, welche der Autor durch seine Experimenta herausgebracht, ungeachtet wir hier weder auf den Gegendruck der Luft, noch auf den Widerstand derselben, gesehen haben, welche beyde Umstände diese Geschwindigkeit noch mehr verringern müssen. Denn, da der Gegendruck der Luft dem Gewicht des Quecksilbers im Barometer, und folglich einer Luft-Säule, so $12000h$ hoch ist, gleichet, der Widerstand einer Luft-Säule aber, deren Höhe $= v$, gleich ist, so wird die sämtliche Resistenz $=(12000h + v)c^2$, welche in der obigen Rechnung von der fortstossenden Kraft

$$\frac{12000mbcch}{x}$$

abgezogen werden muß. Dahero wir diese Vergleichung erhalten

$$\frac{mbdv}{2dx} = \frac{12000mbh}{x} - 12000h - v,$$

welche in diese verwandelt wird

$$dv + \frac{2vdx}{mb} = \frac{24000hdx}{x} - \frac{24000hdx}{mb}.$$

Diese Aequation wird integrabel, wenn man sie mit $e^{\frac{2x}{mb}}$ multipliciret, allwo c die Zahl bedeutet, deren Logarithmus hyperbolicus gleich ist 1, oder es ist $c = 2,718281828$; das Integrale selbst aber wird:

$$e^{\frac{2x}{mb}}v = 24000h \int \frac{e^{\frac{2x}{mb}}dx}{x} - 12000he^{\frac{2x}{mb}}.$$

Wenn nun m eine so grosse Zahl andeutet, daß der Bruch $\frac{2x}{mb}$ sehr klein wird, so wird beynahe

$$e^{\frac{2x}{mb}} = 1 + \frac{2x}{mb}$$

und folglich

$$\int \frac{e^{\frac{2x}{mb}}dx}{x} = l\frac{x}{b} + \frac{2x}{mb} - \frac{2}{m},$$

weil dieses Integrale verschwinden muß, wenn $x = b$. Dahero bekommt man

$$\left(1 + \frac{2x}{mb}\right)v = 24000hl\frac{x}{b} + \frac{24000hx}{mb} - \frac{24000h}{m}.$$

Man multiplicire durch $\frac{1}{1 + \frac{2x}{mb}}$ oder durch $1 - \frac{2x}{mb}$, so wird

$$v = 24000h\left(1 - \frac{2x}{mb}\right)l\frac{x}{b} + \frac{24000hx}{mb} - \frac{24000h}{m},$$

wenn man nemlich die Terminos, welche allzu klein werden, auslässt. Um nun die Geschwindigkeit zu bekommen, mit welcher die Flamme bey der Mündung BB hervor bricht, so setze man $x = a$, und damit man sich der gemeinen Logarithmen bedienen könne, so multiplicire man den gefundenen Logarithmum mit 2,30258509, woher entspringt

$$v = 55261h\left(1 - \frac{2a}{mb}\right)l\frac{a}{b} + \frac{24000ha}{mb} - \frac{24000h}{m}.$$

Hier ist, wie wir vorher gesehen, $h = 2425$ tausendste Theile eines Rheinländischen Schuhs, und wenn wir mit dem Autore annehmen $m = 1000$, und für den vorigen Fall setzen $\frac{a}{b} = \frac{120}{7} = 17,1428$, so wird $l\frac{a}{b} = 1,2340832$ und also

$$v = 160646077;$$

und die Geschwindigkeit wird in einer Secunde 3168 Schuhe betragen: welche nicht viel geringer ist, als diejenige, welche wir vorher, ohne auf die Resistenz der Luft zu sehen, heraus gebracht haben.



ZWEYTE ANMERKUNG

Wenn nun des Autoris Experimente und die daraus gemachten Schlüsse ihre Richtigkeit haben, so ist diese Geschwindigkeit, welche wir hier aus der Theorie gefunden, viel zu klein. Dieselbe würde aber noch viel kleiner heraus gekommen seyn, wenn wir der Wahrheit gemäß in Betrachtung gezogen hätten, daß sich nicht alles Pulver im ersten Augenblick zugleich entzünde, und ferner würde noch über dieses die Betrachtung der gröbern Theilchen des Pulvers eine merkliche Verminderung in dieser Geschwindigkeit verursachen haben. Solten diese Umstände, wie wohl zu vermuthen, so viel austragen, daß die Geschwindigkeit in dem angeführten Exempel nicht viel über 2000 Schuhe in einer Secunde ausmache, so würde auch keine Kugel mit einer so grossen Geschwindigkeit heraus getrieben werden können, als durch die Experimente des Autoris gefunden worden. Ja wenn wir so gar zugeben wollten, daß sich alles Pulver auf einmal entzünde, und daß auch die gröbern Theile die Bewegung der subtilern nicht hindern, so würde doch die Geschwindigkeit der Kugel weit kleiner heraus kommen, als solche in der That befunden wird.

Um dieses deutlicher vor Augen zu legen, so dürfen wir nur in der obigen Rechnung außer den Theilchen der zusammen gepressten Luft, welche in Bewegung gesetzt werden möchten, noch eine Kugel in Betrachtung ziehen. Laßt uns also setzen, daß sich vor der zusammen gepressten Luft in MM noch eine Kugel befinde, deren Gewicht einer Luft-Säule gleiche, welcher Dicke $= cc$ und Höhe $= k$. Weil nun diese Kugel mit der vordersten Scheibe MM einerley Bewegung hat, wenn wir annehmen, daß dieselbe von einer Kraft, welche dem Gewicht einer natürlichen Luft-Säule, so hoch $= P$, gleich ist, fort getrieben werde, so bekommen wir nach den Grund-Gesetzen der Bewegung diese Vergleichung: $kdv = Pdx$, und also

$$P = \frac{kdv}{dx}$$

Diese Kraft muß zu derjenigen, welche zur Acceleration der Flamme selbst erfordert worden,

$$\frac{mbcdv}{2dx},$$

addirt werden, und da bekommt man die völlige zur Acceleration erforderte Kraft

$$= \frac{mbcdv}{2dx} + \frac{kcdv}{dx},$$

welche der Elasticität, wodurch die Bewegung in der That fortgesetzt wird, gleich seyn muß, wenn wir nemlich, welches ohne merklichen Fehler geschehen kan, die Resistentz der Luft aus der Acht lassen. Auf diese Art erhalten wir diese Aequation, nachdem wir durch cc dividirt,

$$\frac{mbdv}{2dx} + \frac{kdv}{dx} = \frac{12000mbh}{x}$$

und folglich

$$v = \frac{24000mbh}{mb+2k} \frac{x}{b}$$

Hieraus erhellet, daß die Geschwindigkeit der Kugel immer weit kleiner seyn müsse, als die Geschwindigkeit der blossen Flamme, welche durch diese Aequation $v = 24000h \frac{x}{b}$ ausgedruckt gefunden worden. Es wird sich also die Geschwindigkeit der Kugel verhalten zur Geschwindigkeit der blossen Flamme, welche dieselbe unter gleichen Umständen erlangt haben würde, wie $\sqrt{mb}$ zu $\sqrt{(mb+2k)}$ oder wie 1 zu

$$\sqrt{1 + \frac{2k}{mb}}$$

Da nun in dem vorher angeführten Exempel die Geschwindigkeit der blossen Flamme 3168 Schuhe in einer Secunde betragen, so wird die Geschwindigkeit der Kugel, so unter eben denselben Umständen heraus geschossen worden, in einer Secunde nur

$$\frac{3168}{\sqrt{1 + \frac{2k}{mb}}}$$

Schuhe austragen. Es ist aber hier $m = 1000$, $b = 2\frac{5}{8}$ Zoll, und da die Kugel von Bley gewesen, so wird $k = 4900$ Zoll; folglich wird

$$\sqrt{1 + \frac{2k}{mb}} = \sqrt{\frac{12425}{2625}}$$

und also die verlangte Geschwindigkeit der Kugel von 1456 Schuhe in einer Secunde gefunden werden, welche Geschwindigkeit weit kleiner ist, als die-



jenige, welche in eben diesem Fall die Versuche zu erkennen gegeben haben. Dieselbe würde aber noch geringer heraus gekommen seyn, wenn wir die größeren Theile des Pulvers, und auch noch dieses in Betrachtung gezogen hätten, daß sich nicht alles Pulver auf einmal entzündete.

Aus allem diesem erhellet nun gantz deutlich, daß die von dem Autore angegebne Theorie von der Gewalt des Pulvers mit seinen eigenen Experimenten unmöglich bestehen könne, und daß eine weit grössere Kraft in dem Pulver verborgen liegen müsse, als der Autor glaubt. Wir sind also genöthiget, je länger je mehr der Meynung des tiefsinnigen Herrn DANIEL BERNOULLI beyzupflichten, welcher in seiner *Hydrodynamic* behauptet, daß die erste Elasticität der im Pulver befindlichen subtilen Materie, bey nahe 10000 mahl grösser sey, als die Elasticität der natürlichen Luft.¹⁾ Da nun das Pulver selbst nicht einmahl 1000 mahl schwerer ist, als die Luft, und nur $\frac{3}{10}$ davon die zusammen gedruckte Luft ausmachen, so folget hieraus nothwendig, daß in so sehr starken Zusammenpressungen der Luft die Elasticität derselben nach einer grösseren Verhältniß vermehret werde, als die Dichtigkeit. Denn wenn man dieses nicht zugeben will, so kann man in dem Pulver unmöglich diejenige Kraft finden, welche doch nach den Experimenten wirklich darinne steckt. Solcher-gestalt wird derjenige Grundsatz des Verfassers, welchen wir schon oben in Zweifel gezogen, daß nemlich die Elasticität der Luft immer ihrer Dichtigkeit proportional sey, gänzlich umgestossen: und dieser Satz kann nicht anders beybehalten werden, als wenn die Luft nicht allzusehr zusammen gedrückt wird. Die Beweis-Gründe, welche der Autor anführt, gehen auch nur auf diesen Fall, wie in der daselbst beygefügtten Anmerkung erinnert worden. Derowegen muß, um die Wirkungen des Pulvers zu erklären, eine ganz andere Lehre von der Natur der Luft zu Hülfe genommen werden. Zu diesem Ende scheint nun keine bißher bekannte Theorie der Luft bequemer zu seyn, als diejenige, welche ich im 2ten Theil der *Comment. der Academie zu Petersburg*²⁾ gegeben, allwo ich aus dem Begriff, den ich mir von dem Zustande der Luft formiret hatte, folgendes gefunden. Da die Luft aus Materie besteht, so ist für sich klar, daß sich dieselbe nicht unendlich weit zusammen drucken lasse; dahero muß es einen Grad der Dichtigkeit geben, welchen man in Zusammen-

1) Siehe p. 48. F. R. S.

2) Siehe EULERS Abhandlung 7 (des ENSTRÖMSCHEN Verzeichnisses): *Tentamen explicationis phaenomenorum aeris*, *Comment. acad. sc. Petrop.* 2 (1727), 1729, p. 347; LEONHARDI EULERI *Opera omnia*, series II, vol. 27. F. R. S.

pressung der Luft nicht überschreiten kann. Es sey also dieser höchste Grad der Dichtigkeit der Luft q mahl grösser, als die Dichtigkeit der natürlichen; und wenn man diese Zahl q als bekannt annimmt, so habe ich gefunden, daß sich die Elasticität der natürlichen Luft zur Elasticität einer Luft, welche m mahl dichter ist, als die natürliche, verhalten müsse, wie

$$\sqrt[q]{q^3 - \sqrt[q]{q-1}^3} \text{ zu } \sqrt[q]{q^3 - \sqrt[q]{q-m}^3}.$$

Da nun die Elasticität der natürlichen Luft durch einen Cylinder von Quecksilber, dessen Höhe $= h$, ausgedrucket wird, so wird die Elasticität der Luft, wenn dieselbe m mahl dichter ist, durch einen Cylinder von Quecksilber angezeigt werden, dessen Höhe

$$= \frac{\sqrt[q]{q^3 - \sqrt[q]{q-m}^3}}{\sqrt[q]{q^3 - \sqrt[q]{q-1}^3}} h.$$

Weil aber q eine sehr grosse, und allem Ansehen nach grössere Zahl ist, als m immer seyn kann, so wird zu unserm Vorhaben genau genug sein

$$\sqrt[q]{q-1}^3 = \sqrt[q]{q^3} - \frac{2}{3\sqrt[q]{q}} - \frac{1}{9q\sqrt[q]{q}}$$

und

$$\sqrt[q]{q-m}^3 = \sqrt[q]{q^3} - \frac{2m}{3\sqrt[q]{q}} - \frac{mm}{9q\sqrt[q]{q}}.$$

Derowegen wird die Elasticität der Luft, wenn sie m mahl dichter ist, als die natürliche, also ausgedrucket werden:

$$\frac{6mq + mm}{6q + 1} h = \left(m + \frac{m(m-1)}{6q} \right) h,$$

oder die Elasticität der natürlichen Luft wird sich verhalten zur Elasticität einer Luft, welche m mahl dichter ist, als die natürliche, wie 1 zu

$$m + \frac{m(m-1)}{6q}.$$

Aus welcher Formel zugleich die gemeine Regel erhellet, daß wenn m keine allzugrosse Zahl ist, die Elasticität immer der Dichte ziemlich genau proportional sey. Wenn aber die Zahl m anfängt, so groß zu werden, daß der Bruch $\frac{m(m-1)}{6q}$ nicht mehr aus der Acht gelassen werden kann, so muß die Abwei-



chung der gemeinen Regel von der Wahrheit merklich werden. Dieses beruhet aber auf der Größe der Zahl q , welche uns unbekannt ist; wir würden aber dieselbe bestimmen können, wenn wir nur in einem einzigen Fall wüsten, wie viel die gemeine Regel von der Wahrheit abweiche. Da wir nun aus den angeführten Gründen deutlich sehen, daß, wenn die natürliche Luft in einen 244 mahl kleinern Raum zusammengedrückt wird, als welcher Fall im Pulver statt findet¹⁾, ihre Elasticität vielmehr mahl vermehrt werden müßte, ohne auf diejenige Vermehrung zu sehen, welche von der Erhitzung herrührt: so folget, daß die Zahl $6q$ viel kleiner als 244.243 seyn müßte. Sollte die Elasticität der gemeldeten zusammen gedruckten Luft 300 mahl grösser seyn, als der natürlichen, so würde $56 = \frac{244 \cdot 243}{6q}$ und folglich $q = \frac{244 \cdot 243}{336}$ und also kleiner als 244, welches wieder unsere festgesetzten Begriffe laufft. Es ist aber zu merken, daß wenn die Zahl m nicht viel kleiner ist, als q , die obgedachte Näherung nicht statt finden könne; dahero in solchen Fällen nachfolgende Regel gebraucht werden muß. Nämlich, die Elasticität der natürlichen Luft muß sich verhalten zur Elasticität einer m mahl dichtern Luft, wie

$$\frac{2}{3\sqrt[3]{q}} + \frac{1}{9q\sqrt[3]{q}} \text{ zu } \sqrt[3]{q^2} - \sqrt[3]{q(q-m)^2},$$

das ist, wie

$$6q + 1 \text{ zu } 9qq - 9q\sqrt[3]{q(q-m)^2}.$$

Wenn also $m = 244$, so kann die Vermehrung der Elasticität nicht grösser werden, als wenn auch $q = 244$. In diesem Fall würde also die Elasticität der im Pulver zusammen gedruckten Luft $\frac{9qq}{6q+1}$, das ist 366 mahl grösser seyn, als die Elasticität der Luft in ihrem natürlichen Zustande. Und wenn die Erhitzung dazu kommt, wie unser Autor dieselbe bestimmt, so würde die Elasticität der aus dem Pulver durch die Entzündung befreiten und erhitzten Luft 1500 mahl grösser seyn, als der natürlichen. Ungeachtet nun dieses die grösste Kraft zu seyn scheint, welche dem Pulver zugeeignet werden kann, so sieht man doch leicht, daß dieselbe noch nicht hinlänglich seyn würde, die durch die Erfahrung bestimmte Wirkung zu erklären.

1) Siehe p. 61. F. R. S.

DRITTE ANMERKUNG

Um derothalben zu einer richtigen Erkenntniß der im Pulver enthaltenen Kraft zu gelangen, so hat man erstlich zu erwegen, daß die im Pulver enthaltene Luft, nachdem dieselbe mit der natürlichen einerley Grad der Dichtigkeit angenommen, einen 244 mahl grössern Raum ausfüllt, als vorher das ganze Wesen des Pulvers eingenommen; die zusammen gepreßte Luft im Pulver aber nur ungefehr den dritten Theil desselben betrage. Dahero muß die Luft im Pulver vor der Entzündung noch ungefehr drey mahl, oder nach dem Autore $\frac{10}{3}$ mahl mehr zusammen gepreßt, und folglich 813 mahl dichter gewesen seyn, als die natürliche Luft. In einem solchen so sehr zusammen gepreßten Zustande befindet sich demnach die Luft im Salpeter verschlossen, und da der obige Werth des Buchstaben q nicht kleiner, als diese Zahl 813 angenommen werden kann, so scheint der Wahrheit am meisten gemäß zu seyn, daß q gleich sey 813 oder nach einer graden Zahl $q = 800$. Denn weil sich dieser Grad der Dichtigkeit der Luft in allem Salpeter beständig befindet, so ist zu vermuthen, daß eben dieses auch der grösste mögliche Grad der Zusammenpressung sey. Hieraus ist nun leicht zu erachten, wie ungeheure Kräfte zu Erzeugung des Salpeters erfordert werden, und da sich solche Kräfte in der Natur wirklich befinden, so ist sehr wahrscheinlich, daß dadurch die Luft in dem Salpeter auf den höchsten möglichen Grad zusammen gedrückt werde, und daß aus eben diesem Grunde die Gleichheit zwischen den verschiedenen Theilen des Salpeters beruhe. Wenn wir also setzen, daß die grösste Dichtigkeit, wozu die Luft durch die Zusammenpressung gebracht werden kann, 800 mahl grösser sey, als die natürliche, in welchem Zustand folglich die Luft eben so dicht, als das Wasser seyn würde, welche Gleichheit nicht wenig zu Bestätigung dieses Satzes beyzutragen scheint: so sind wir im Stande, eine vollständige Theorie über die verschiedenen Grade der Elasticität, welche sich in der Luft nach den verschiedenen Graden der Dichtigkeit befindet, zu geben. Denn wenn wir die Elasticität der natürlichen Luft durch 1 anzeigen, so wird die Elasticität einer Luft, welche m mahl dichter ist, als die natürliche, durch diese Zahl

$$(1200 - 3\sqrt[3]{100(800 - m)^2}) \left(1 - \frac{1}{4800}\right)$$

ausgedrückt werden, woraus folgende Schlüsse gemacht werden können.

Erstlich, wenn m eine sehr kleine Zahl ist, so wird die Elasticität $= m + \frac{m(m-1)}{4800}$. Dahero wenn m ein Bruch ist, welches geschieht, wenn die Luft nicht zusammen gedrückt, sondern verdünnt wird, so ist die Elasticität immer der Dichte proportional, wie die gemeine Regel mit sich bringt, und auch alle Experimente, welche über die Verdünnung der Luft angestellt worden, bezeugen.

Zweytens, wenn die Luft in einen 16 mahl kleinern Raum zusammen gestossen wird, welches fast der höchste Grad ist, den man durch menschliche Kräfte im Experimentiren erreichen kan, so wird die Elasticität schon $16\frac{1}{20}$ mahl grösser, als die Elasticität der natürlichen Luft. Da nun dieser Unterschied kaum zu erkennen ist, so hat man sich nicht zu verwundern, daß bißher die Unrichtigkeit der gemeinen Regel nicht durch Versuche hat entdeckt werden können.

Drittens, wenn m eine grössere Zahl ist, als 16, so wird die Abweichung der gemeinen Regel schon merklicher. Weil aber in diesen Fällen die Formel $m + \frac{m(m-1)}{4800}$ schon von der Wahrheit abzugehen anfängt, so muß man sich der ersten, nemlich

$$(1200 - 3\sqrt[3]{100(800 - m)^2})\left(1 - \frac{1}{4800}\right)$$

bedienen.

Wenn also gesetzt wird $m = 100$, so wird die Elasticität

$$= (1200 - 3\sqrt[3]{49000000})\left(1 - \frac{1}{4800}\right) = 102,19.$$

Setzt man aber $m = 300$, so wird die Elasticität

$$= (1200 - 3\sqrt[3]{25000000})\left(1 - \frac{1}{4800}\right) = 322,73.$$

Setzt man aber viertens $m = 800$, wie in dem Salpeter und Pulver wirklich geschieht, so wird die Elasticität $= 1200$. Wenn nun noch dazu die Erhitzung von der Flamme kommt, so kann dieselbe beynahe noch um 5 mahl grösser, und also über 5000 mahl grösser werden, als der natürlichen Luft. Solchergestalt bekommen wir also eine Gewalt, welche 5 mahl grösser ist, als diejenige, welche der Verfasser angiebt, und welche folglich, allem Ansehen nach, vermögend seyn wird, nach Abzug aller obgemeldeten Hindernisse diejenigen Wirkungen hervor zu bringen, welche uns die Erfahrung an die Hand giebt. Wie weit also diese Lehre mit der Erfahrung übereinstimme, wollen wir in der folgenden Anmerkung untersuchen.

VIERTE ANMERKUNG

Laßt uns also wiederum setzen, daß in dem hohlen Cylinder $AABB$ der Raum $AACC$ mit Pulver angefüllt worden (Fig. 10). Da nun die zusammen

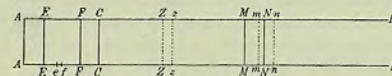


Fig. 10.

gepreßte Luft $\frac{3}{10}$ Theil des ganzen Gewichts des Pulvers ausmacht, so kommen hier dreyerley Materien zu betrachten vor: Erstlich diese zusammen gepreßte Luft, welche, wie gezeigt worden, 800 mahl dichter ist, als die natürliche; zweytens die groben Theile, woraus das Pulver besteht, und drittens die natürliche Luft, welche sich zwischen den Pulver-Körnern befindet. Diese dreyerley Materien erfüllen den Raum $AACC$, und es scheint, daß wir uns von der Wahrheit nicht merklich entfernen, wenn wir annehmen, daß die natürliche Luft $\frac{1}{4}$ des Raums $AACC$, die zusammen gepreßte Luft auch $\frac{1}{4}$ und die gröbere Materie $\frac{2}{4}$ einnehmen. So bald also die zusammen gepreßte Luft durch die Entzündung aus ihren Behältnissen befreyet wird, so vermischet sie sich mit der natürlichen Luft, und nimmt folglich einen zweymahl grössern Raum ein, als vorher, dergestalt, daß dieselbe nunmehr nur 400 mahl dichter seyn wird, als die natürliche. Die übrige Helfte des Raums $AACC$ bleibt von der gröbern Materie eingenommen. Weil nun diese weder gantz durch die folgende Ausbreitung der Luft mit der ersten Scheibe CC fortgetrieben wird, noch auch völlig bey dem Grunde AA zurück bleibt, so werden wir der Wahrheit am nächsten kommen, wenn wir setzen, daß eine Helfte der gröbern Materie an dem Grund AA zurück bleibe, die andere Helfte aber vor der Luft her getrieben werde. In dem ersten Augenblick also, nachdem sich das Pulver entzündet, welches, wie der Autor will, auf einmahl geschehen soll, so wird der Raum $AACC$ dergestalt angefüllt seyn, daß der erste vierte Theil $AAEE$ eine Helfte der gröbern Materie des Pulvers, das letzte Viertel $CCFF$ die andere Helfte, und die mittlere zwei Viertel $EEFF$ die zusammen gedrückte Luft, welche 400 mahl dichter ist, als die natürliche, in sich ent-



halten. Wenn also die Länge des Raums $AC = b$ gesetzt wird, so ist

$$AE = \frac{1}{4}b \quad \text{und} \quad CF = \frac{1}{4}b \quad \text{und} \quad EF = \frac{1}{2}b.$$

Weil nun die gröberen Theile des Pulvers schwerer sind als Wasser, so wollen wir setzen, daß die in $CCFF$ enthaltene gröbere Materie einer gleich dicken natürlichen Luft-Säule gleiche, deren Höhe $= 1000CF = 250b$. Damit aber unsere Rechnung nicht auf diese Hypothesen, als woran man noch einigen Zweifel haben könnte, eingeschränket werde, so wollen wir auf eine allgemeine Art setzen:

$$EF = \frac{1}{\alpha}b, \quad AE = CF = \frac{\alpha-1}{2\alpha}b,$$

und die in $EEFF$ enthaltene Luft soll m mahl dichter seyn, als die natürliche; die gröbere Materie in $CCFF$ aber soll n mahl schwerer, als die gemeine Luft angenommen werden; daher wenn man setzen wird $\alpha = 2$, $m = 400$ und $n = 1000$, so kommen die vorher gegebenen Bestimmungen heraus.

Laßt uns nun ferner setzen, daß sich nach Verfließung einiger Zeit die in $EEFF$ zusammen gepreßte Luft biß in $EEMM$ ausgebreitet, und die in $FFCC$ enthaltene gröbere Materie bis in $MMNN$ fortgestossen habe, dergestalt, daß $MN = FC = \frac{\alpha-1}{2\alpha}b$, so wird, wenn wir $EM = x$ setzen, die Dichtigkeit der in $EEMM$ befindlichen Luft $\frac{mb}{\alpha x}$ mahl grösser seyn, als der natürlichen. Wenn also h für die Höhe einer Luft-Säule angenommen wird, deren Gewicht der Elasticität der natürlichen Luft gleich ist, so wird ungefähr $h = 29100$ Rheinl. Schuh und die Elasticität der in $EEMM$ eingeschlossenen Luft wird dem Gewicht einer natürlichen Luft-Säule gleich seyn, deren Höhe

$$= \frac{\sqrt[3]{q^2 - \sqrt[3]{(q - \frac{mb}{\alpha x})^2}}}{\sqrt[3]{q^2 - \sqrt[3]{(q - 1)^2}}} h = \frac{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{mb}{\alpha q x}}}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}}} h,$$

allwo q die Zahl 800 andeutet. Wir wollen aber lieber den Buchstaben q beybehalten, damit, wenn auf allen Fall ein anderer Werth dafür gefunden werden sollte, die Rechnung dennoch Platz finden möchte. In dieser Formel ist aber die Erhitzung noch nicht in Betrachtung gezogen worden, wodurch nach dem Autore die Elasticität ungefähr 4 mahl grösser wird. Weil aber dieselbe bisweilen grösser, bisweilen kleiner seyn kann, so wollen wir an statt

der Zahl 4 den Buchstaben β gebrauchen, daher die gesuchte Elasticität seyn wird

$$= \frac{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{mb}{\alpha q x}}}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}}} \beta h.$$

Es sey ferner Vv die Geschwindigkeit, womit die vorderste Scheibe MM und also auch die gröbere Materie $MMNN$ fortgetrieben wird, wo v , wie schon oben gemeldet worden, die Höhe andeutet, aus welcher ein schwerer Körper durch den Fall eben dieselbe Geschwindigkeit erhält; indem aber die Scheibe MM durch $Mm = dx$ fortrücket, so soll die obige Höhe v um dv zunehmen. Hieraus ergibt sich nun leicht die Kraft, welche erfordert wird, um diese Acceleration in der groben Materie $MMNN$ hervorzubringen. Denn, da die Materie einer Luft-Säule gleichet, deren Höhe $= \frac{\alpha-1}{2\alpha}nb$, so wird die erforderte Kraft dem Gewichte einer gleich dicken Luft-Säule gleich seyn, deren Höhe $= \frac{\alpha-1}{2\alpha} \cdot \frac{nb}{dx} dv$. Wenn noch über dieses eine Kugel fortgetrieben werden sollte, deren Gewicht einer Luft-Säule, deren Höhe $= k$, gleich wäre, so würde die zu Forttreibung dieser Kugel erforderte Gewalt durch eine Luft-Säule, deren Höhe $= \frac{kdv}{dx}$, ausgedrückt werden.

Um aber die Kraft zu bestimmen, welche zur Acceleration der in $EEMM$ zusammen gepreßten Luft erfordert wird, deren Dichte sich zur natürlichen Luft verhält, wie $\frac{mb}{\alpha x}$ zu 1, so wollen wir davon eine Scheibe ZZ betrachten, und die Entfernung $EZ = z$ setzen. Die Geschwindigkeit dieser Scheibe wird nun, wie wir oben gezeigt haben, seyn $= \frac{zVv}{x}$, und indem die vorderste Scheibe MM durch dx fortgehet, so wird diese durch $\frac{zdx}{x}$ fortrücken, und inzwischen die Höhe $\frac{zdv}{xx}$, welche ihre Geschwindigkeit bestimmt, um $\frac{zxdv}{xx}$ zunehmen. Wenn wir nun dieser Scheibe eine Dicke $Zz = dz$ geben, so wird dieselbe einer Luft-Säule gleichen, deren Höhe $= \frac{mbdz}{\alpha x}$, welche mit $\frac{zxdv}{xx} : \frac{zdx}{x}$ oder mit $\frac{zdv}{xx}$ multipliciret, die Höhe einer Luft-Säule anzeigt, deren Gewicht der zur Acceleration erfordernten Kraft gleich ist. Daher diese Kraft seyn wird

$$= \frac{mbzxdv}{\alpha x dx} = \frac{mbdv}{\alpha x dx} \cdot zdx,$$

wovon das Integrale

$$\frac{mbdv}{\alpha x dx} \cdot \frac{zz}{2}$$

die Kraft ausdrückt, welche zur Acceleration der in $EEZZ$ befindlichen Luft

erfordert wird, und wenn man $z = x$ setzt, so bekommt man die Kraft, welche zur Acceleration der ganzen Luft, so in *EEMM* eingeschlossen ist, erfordert wird

$$= \frac{mbdv}{2\alpha dx}.$$

Wir wollen nun erstlich annehmen, es befinde sich keine Kugel vor dem Pulver, sondern es werde das Pulver bloß allein ohne einigen Vorschlag loßgebrennt; und da wird in diesem Fall die sämtliche angewandte Kraft seyn

$$= \frac{mbdv}{2\alpha dx} + \frac{\alpha-1}{2\alpha} \cdot \frac{nbdv}{dx} = \frac{(m+(\alpha-1)n)bdv}{2\alpha dx},$$

welche der wirklichen fortreibenden Gewalt weniger dem Widerstand wird gleich seyn müssen. Nun aber ist die fortreibende Gewalt der Elasticität gleich, und also

$$= \frac{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{mb}{\alpha qx}}}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}}} \beta h.$$

Der Widerstand besteht aber erstlich aus dem Gegendruck der äussern Luft, welche durch h angezeigt wird, und denn aus der Resistenz, welche einer Luft-Säule, deren Höhe $= v$, gleich ist, folglich bekommen wir diese Aequation

$$\frac{(m+(\alpha-1)n)bdv}{2\alpha dx} = \frac{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{mb}{\alpha qx}}}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}}} \beta h - h - v.$$

Weil wir aber schon vorher gesehen, daß der Widerstand der Luft in diesem Fall nicht viel austrägt, so können wir zur Leichtigkeit der Rechnung zum wenigsten den letzten Terminum v sicher weglassen, und da bekommen wir

$$\begin{aligned} & \frac{(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}})(m+(\alpha-1)n)}{2\alpha} bdv \\ &= (1 - \sqrt[3]{1 - \frac{mb}{\alpha qx}}) \beta h dx - (1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}}) h dx. \end{aligned}$$

Um diese Aequation zu integrieren, ist zu merken, daß

$$\sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}} = 1 - \frac{2}{3q} - \frac{1}{9q^2} - \frac{4}{81q^3} - \frac{7}{243q^4} - \text{etc.}$$

und

$$\sqrt[3]{1 - \frac{mb}{\alpha qx}} = 1 - \frac{2mb}{3\alpha qx} - \frac{m^2b^2}{9\alpha^2q^2x^2} - \frac{4m^3b^3}{81\alpha^3q^3x^3} - \frac{7m^4b^4}{243\alpha^4q^4x^4} - \text{etc.}$$

Hernach muß die Integration also angestellt werden, daß wenn $x = EF = \frac{b}{\alpha}$, die Geschwindigkeit oder v nichts werde. Dahero bekommt man

$$\begin{aligned} & \frac{(m+(\alpha-1)n)bv}{2\alpha} \left(\frac{2}{3q} + \frac{1}{9q^2} + \frac{4}{81q^3} + \frac{7}{243q^4} + \text{etc.} \right) \\ &= \beta h \left(\frac{2mb}{3\alpha q} l \frac{\alpha x}{b} - \frac{m^2b^2}{9\alpha^2q^2x} + \frac{m^2b}{9\alpha q^2} - \frac{2m^3b^3}{81\alpha^3q^3x^2} + \frac{2m^3b}{81\alpha q^3} - \text{etc.} \right) \\ &- h x \left(\frac{2}{3q} + \frac{1}{9q^2} + \frac{4}{81q^3} + \text{etc.} \right) + \frac{hb}{\alpha} \left(\frac{2}{3q} + \frac{1}{9q^2} + \frac{4}{81q^3} + \text{etc.} \right). \end{aligned}$$

Weilen aber die Brüche $\frac{1}{9q^2} + \frac{4}{81q^3} + \frac{7}{243q^4} + \text{etc.}$ so sehr klein sind, so kann man dieselben weglassen, und da erhält man

$$\frac{(m+(\alpha-1)n)bv}{2\alpha} = \beta h \left(\frac{mb}{\alpha} l \frac{\alpha x}{b} + \frac{m^2b}{6\alpha q} - \frac{m^2b^2}{6\alpha^2qx} \right) + \frac{hb}{\alpha} - hx.$$

Setzt man nun die Länge $EB = a$, und macht $x = a$, so kommt die Geschwindigkeit heraus, mit welcher die Flamme bey der Mündung BB heraus fährt,

$$v = \frac{2m\beta h}{m+(\alpha-1)n} \left(l \frac{\alpha a}{b} + \frac{m}{6q} - \frac{mb}{6\alpha qa} \right) - \frac{2h(\alpha a - b)}{(m+(\alpha-1)n)b},$$

für welche Aequation man, ohne merklich zu fehlen, diese nehmen kann

$$v = \frac{2\beta mh}{m+(\alpha-1)n} l \frac{\alpha a}{b}.$$

Wenn wir nun für die Buchstaben α, β, m, n und h die oben angezeigten Werthe setzen, nemlich $\alpha = 2, \beta = 4, m = 400, n = 1000$ und $h = 29100$ Rheinl. Schuhe, so kommt

$$v = \frac{16}{7} hl \frac{2a}{b}.$$



Lasst uns hernach das oben angeführte Exempel berechnen, wo $b = 2\frac{5}{8}$ Englische Zoll, und $a = 45 - \frac{21}{32}$. Dahero ist

$$2a = 90 - \frac{21}{16} \quad \text{und} \quad \frac{2a}{b} = \frac{1419}{42} = 33,8,$$

folglich $l\frac{2a}{b} = 1,528917$, welches aber noch mit dieser Zahl 2,30258509 multiplicirt werden muß. Es ist aber

$$l1,528917 = 0,184383$$

$$l2,302585 = 0,362215$$

$$l\frac{16}{7} = 0,359021$$

$$0,905619.$$

Hiezu addire man den log. von h in 1000sten Theilen eines Rheinl. Schuhes

$$lh = 7,463893$$

kommt

$$lv = 8,369512$$

und

$$lVv = 4,184756$$

folglich

$$Vv = 15302.$$

Der vierte Theil hiervon 3825 zeigt, wie viel Schuhe die gesuchte Geschwindigkeit in einer Secunde betrage. Diese nicht allzugrosse Vermehrung der Geschwindigkeit, als welche vorher¹⁾ von 3215 Schuhen befunden worden, ungeachtet wir jetzo eine weit grössere Kraft angenommen haben, kömmt hauptsächlich von der gröbern Materie des Pulvers her, davon die Helfte vor der zusammengepressten Luft heraus getrieben werden muste. Wenn wir aber gesetzt hätten, daß diese grobe Materie gänzlich bey dem Boden des Stücks AA zurück bleibe, so würde der Terminus, darinnen n ist, weggefallen, und also diese Aequation

$$v = 2\beta hl \frac{aa}{b} \quad \text{oder} \quad v = 8hl \frac{2a}{b}$$

herausgekommen seyn, woraus eine $\sqrt{\frac{7}{2}}$ mahl grössere Geschwindigkeit, das

1) Siehe p. 168. F. R. S.

ist, von 7157 Schuhen in einer Secunde erwächst, welche, nach Abzug des Gegenstands der Luft, noch ungefähr 7000 Schuh betragen mag, welche Wirkung sehr genau mit der Muthmassung des Autoris, welche er aus seinen Experimenten gezogen, überein kommt. Denn er schliesst aus denselben, daß, wenn die Bewegung der Flamme nicht durch die gröbern Theile des Pulvers gehemmet würde, dieselbe in dem gegenwärtigen Fall mit einer Geschwindigkeit von 7000 Schuhen aus dem Lauf heraus gefahren wäre. Es dienet auch insonderheit zu Bekräftigung unserer Meynung von der Gewalt des Pulvers, daß die von uns gefundene Geschwindigkeit etwas grösser ist, als die Experimente anzeigen, weil wegen der allmählichen Entzündung des Pulvers noch etwas abgezogen werden muß.

Wenn sich vor dem Pulver eine Kugel befindet, so kan die vorige Rechnung auch leicht auf diesen Fall eingerichtet werden. Denn wenn k die Höhe einer Luft-Säule andeutet, deren Gewicht der Schwere der Kugel gleich ist, so kommt die sämtliche Kraft, welche zur Acceleration erfordert wird, heraus

$$= \frac{mbdv}{2adx} + \frac{a-1}{2a} \cdot \frac{nbdv}{dx} + \frac{kdv}{dx} = (mb + (a-1)nb + 2ak) \frac{dv}{2adx},$$

welche Kraft, da keine Kugel da war, gewesen

$$= (m + (a-1)n) \frac{bdv}{2adx}.$$

Wir dürfen also nur in der vorigen Rechnung an statt

$$m + (a-1)n$$

setzen

$$m + (a-1)n + \frac{2ak}{b},$$

so bekommen wir die Geschwindigkeit, mit welcher die Kugel herausgetrieben wird, durch diese Aequation bestimmt

$$v = \frac{2\beta mbh}{mb + (a-1)nb + 2ak} \left(l \frac{aa}{b} + \frac{m}{6q} - \frac{mb}{6aq} \right) - \frac{2h(aa-b)}{mb + (a-1)nb + 2ak}.$$

Wenn wir nun nach den obigen Bedeutungen setzen $a=2$, $\beta=4$, $m=400$, $n=1000$, $q=800$ und $h=29100$ Rheinl. Schuh, so bekommen wir



$$v = \frac{h}{700b + 2k} \left(1600bl \frac{2a}{b} + (2a - b) \left(\frac{200b}{3a} - 1 \right) \right)$$

oder

$$v = \frac{h}{700 + 2k:b} \left(1600l \frac{2a}{b} + \left(\frac{2a}{b} - 1 \right) \left(\frac{200b}{3a} - 1 \right) \right).$$

Um nun diese Rechnung auf den ersten Fall des Autoris zu appliciren, so wird $b = 2\frac{6}{8}$, $a = 44\frac{11}{32}$ und $k = 4900$ Englische Zoll. Dahero $\frac{2a}{b} = 33,8$ und der Logarithmus hyperbolicus von $\frac{2a}{b}$

$$= 3,52045.$$

Ferner $\frac{200b}{3a} = 3,94$ und $\frac{2k}{b} = 3733$. Hieraus erwächst

$$1600l \frac{2a}{b} = 5632,72$$

$$\left(\frac{2a}{b} - 1 \right) \left(\frac{200b}{3a} - 1 \right) = \frac{96,43}{5729,15}$$

Also ist

$$v = \frac{5729,15h}{4433}$$

Um nun zu finden, wie viel Schuh mit dieser Geschwindigkeit in einer Secunde durch laufen werden können, so muß h in tausendsten Theilen eines Rheintl. Schuhs ausgedruckt werden, da denn ist $h = 29100000$ und alsdenn muß die Quadrat-Wurzel aus v durch 4 getheilt werden. Mit Logarithmis zu rechnen, wird also:

$$lh = 7,463893$$

$$l5729,15 = 3,758090$$

$$11,221983$$

$$l4433 = 3,646698$$

$$lv = 7,575285$$

$$lvv = 3,787642$$

$$l4 = 0,602060$$

$$3,185582$$

Die Zahl davon

$$1533.$$

Folglich müßte die Kugel mit einer Geschwindigkeit von 1533 Rheintl. Schuhen in einer Secunde heraus getrieben worden seyn, welche Zahl in Englischen Schuhen 1580 beträgt. Diese Zahl, welche noch wegen der nicht auf einmahl

erfolgten Entzündung und des Verlusts der Kraft, so durch den Spielraum und das Zündloch weggeh, vermindert werden müßte, würde um viel kleiner werden, als diejenige, welche die Experimente für diesen Fall angezeigt haben. Die Ursache hiervon scheint aber diese zu seyn, daß wir nach der Entzündung nur die Helfte des Raums $AACC$ mit Luft angefüllt angenommen haben; es ist aber sehr wahrscheinlich, daß die grobe Materie des Pulvers keinen so grossen Theil des Raumes einnehme: wobey zu merken, daß ein geringer Unterscheid verursache. Denn, wenn wir annehmen, daß die gröbere Materie nach der Entzündung nur noch den dritten Theil des Raums erfülle, so wird $\frac{b}{a} = \frac{2}{3}$ und $\alpha = \frac{3}{2}$; dahero die oben gefundene Aequation in diese verwandelt wird

$$v = \frac{2h}{900b + 3k} \left(1600bl \frac{3a}{2b} + \left(\frac{3}{2}a - b \right) \left(\frac{800b}{9a} - 1 \right) \right)$$

oder

$$v = \frac{2h}{900 + 3k:b} \left(1600l \frac{3a}{2b} + \left(\frac{3a}{2b} - 1 \right) \left(\frac{800b}{9a} - 1 \right) \right).$$

Gesetzt nun, es sey $b = 2\frac{6}{8}$, $a = 45 - \frac{7}{16}$ und $k = 4900$ Engl. Zoll, so wird

$$\frac{3a}{2b} = 25,46, \quad \frac{800b}{9a} = 5,23 \quad \text{und} \quad l \frac{3a}{2b} = 3,23710.$$

Also ist

$$1600l \frac{3a}{2b} = 5179,36$$

$$\left(\frac{3a}{2b} - 1 \right) \left(\frac{800b}{9a} - 1 \right) = 103,46$$

$$5282,82.$$

Hernach ist

$$\frac{3k}{b} = 5600 \quad \text{und} \quad \frac{900 + 3k:b}{2} = 3250,$$

dahero

$$v = \frac{5283h}{3250},$$

woraus eine Geschwindigkeit erwächst, welche in einer Secunde 1720 Rheintl. Schuh, oder 1773 Engl. Schuh beträgt. Diese Geschwindigkeit ist nun weit grösser als diejenigen, welche durch die Experimente gefunden werden, und es scheint, daß nach allem Abzug eine völlige Uebereinstimmung eintreffen würde, dahero wir billig diese letzte Expression, da $\alpha = \frac{3}{2}$ gesetzt worden, als der Wahrheit sehr nahe kommend, ansehen.



FÜNFTE ANMERKUNG

Wir können hieraus sowohl zur Erkenntniß der Natur des Pulvers, als zu vortheilhaftem Gebrauch desselben, sehr nützliche Schlüsse ziehen, welche vielleicht zu Verbesserung der Artillerie nicht wenig beytragen können.

Erstlich, da die Menge der gröbern und irdischen Materie, welche in dem Pulver enthalten ist, so viel zur Geschwindigkeit der Kugel beyträgt, indem dieselbe sehr merklich geschwinder oder langsamer fortgetrieben wird, wenn weniger oder mehr dergleichen gröbere Materie mit dem Pulver vermischt ist, so siehet man leicht, daß die verschiedene Güte des Pulvers hauptsächlich auf der Menge der damit vermischten gröbern Materie beruhe. Denn, da allem Ansehen nach in dem Salpeter die darinne befindliche Luft ungefehr 800 mahl dichter ist, als die natürliche, als welches der höchste Grad der Dichtigkeit ist, auf welchen die Luft durch die Zusammenpressung gebracht werden kann: so würde auch alles Pulver mit einerley Kraft begabt seyn, wenn sich darinn nur einerley Verhältniß zwischen dieser zusammen gedruckten Luft und der gröbern Materie befinden sollte; woferne nemlich die Vermischung nur so beschaffen ist, daß dadurch die Entzündung nicht verhindert wird. Dahero ist das Pulver um so viel besser und stärker, je weniger grobe Materie darinne enthalten ist. Da aber die Entzündung desselben auf dieser gröbern Materie beruhet, so bestehet der fürnehmste Handgriff in Zubereitung des Pulvers darinne, daß man eine solche Proportion zwischen dem Salpeter und den verbrennlichen Materien treffe, daß dadurch sowohl die Entzündung beschleuniget, als auch zugleich so wenig, als immer möglich, von diesen Materien damit vermischt werde. Die erste Vorsichtigkeit kommt also auf die Läuterung des Salpeters an, daß dadurch die gröbern und irdischen Theile, so viel als möglich, abgesondert werden. Denn da diese Theile nicht nur zur schnellen Entzündung nichts beytragen, sondern dieselbe auch verhindern, so vermindern dieselben auch deswegen die Kraft des Pulvers, daß dadurch die Menge der gröbern Materie unnöthiger Weise vermehret wird; welcher Umstand, da das Pulver grösten theils aus Salpeter bereitet wird, sehr viel austrägt. Die Güte und Stärke des Pulvers bestehet also in diesen zweyen Hauptstücken, daß sich dasselbe erstlich plötzlich entzünde, und daß zweytens damit so wenig, als immer möglich ist, gröbere und irdische Materie vermischt sey. Dahero wenn man auf die Verbesserung des Pulvers arbeiten will, so hat man auf diese beyden Punkte zu sehen: erstlich, ob man nicht eine neue

Vermischung finden könne, wo eine schnellere und plötzlichere Entzündungskraft hervor gebracht werde; und zweytens, ob man nicht die Menge der gröbern Materie, welche zur Entzündung erfordert wird, vermindern könne?

Hieraus lassen sich ferner die Mangel eines jeglichen Pulvers leicht beurtheilen. Denn alles, was entweder die Entzündungskraft hemmet, oder die gröbere Materie vermehret, dasselbe vermindert auch die Kraft desselben. Aus dem ersten Grunde wird das Pulver durch die damit vermischte Feuchtigkeit entkräftet, weil dadurch entweder viel Theilchen gar nicht Feuer fassen, oder doch die Entzündung langsamer vor sich geht. Aus dem andern Grunde wird solches Pulver, welches entweder aus unreinem Salpeter bereitet worden, oder allzuviel Schwefel und Kohlen, oder andere dergleichen Materien in sich enthält, schwächer, weil bey der Entzündung allzuviel grobe Theile mit in Bewegung gebracht werden müßten. Wenn also für das beste Pulver der in obigen Aequationen befindliche Buchstabe a durch $\frac{3}{2}$ ausgedruckt wird, so muß demselben für schlechteres Pulver ein kleinerer Werth ertheilet werden. Dahero die für die Geschwindigkeit der Kugel gefundene Aequation für alle Arten Pulver gebraucht werden kann. Weil wir aber darinne angenommen haben, daß sich alles Pulver im ersten Augenblick auf einmahl entzünde, dieses aber in der That nicht geschieht, so müßten aus diesem Grunde die gefundenen Geschwindigkeiten etwas kleiner genommen werden: wie viel aber diese Verminderung austragen könne, wollen wir nachgehends genauer untersuchen.

Drittens läßt sich hieraus auch bestimmen, wie viel man Pulver in einen jeglichen gegebenen Lauf laden müsse, damit die Kugel mit der grösten Geschwindigkeit heraus geschossen werde. Denn man siehet leicht, daß durch die Verstärkung der Ladung die Geschwindigkeit nicht über einen gewissen Grad vermehret werden könne. Um dieses einzusehen, darf man sich nur einbilden, daß der ganze Lauf mit Pulver angefüllet werde. Denn da in diesem Fall die Kugel gleich nach dem ersten Eindruck heraus getrieben wird, und alsdenn die fortreibende Gewalt wegen der Ausbreitung in der äussern Luft meistentheils aufhöret, so muß die der Kugel eingedruckte Bewegung sehr geringe seyn. Da nun eine solche allzu starke Ladung der Kugel eine weit kleinere Geschwindigkeit mittheilet, als eine kleine, doch aber eine allzu kleine Ladung wiederum eine kleinere Wirkung hervorbringt: so muß es nothwendig in einem jeglichen Fall eine solche Ladung geben, wodurch die Kugel mit der grösten Geschwindigkeit heraus getrieben wird, dergestalt, daß wenn man so wohl mehr als weniger Pulver nehmen sollte, die Kugel in beyden



Fallen eine schwächere Bewegung erhalten würde. Man sieht aber wohl, daß die Erkenntniß dieses Grads der Ladung in der Artillerie von einer grossen Wichtigkeit ist. Denn dadurch wird man nicht nur in Stand gesetzt, die Kugel mit dem grössten möglichsten Grad der Geschwindigkeit fort zu treiben, sondern man kan auch dadurch in vielen Fällen viel Pulver ersparen, wenn man nelmlich weiß, daß die Kugel mit einer geringeren Ladung eben so geschwind, und vielleicht noch geschwinder, fortgetrieben werden könnte.

Um derothalben die Grösse dieser stärksten Ladung zu bestimmen, so dürfen wir nur die oben gefundene Expression für die Geschwindigkeit der Kugel differenziren, und nur die Quantität b als variabel betrachten, hernach dieses Differentiale = 0 setzen. Wir wollen zu diesem Ende, damit sich unsere Bestimmung auf alle Fälle erstrecke, die generale Expression nehmen, welche ist

$$\frac{v}{2h} = \frac{\beta mb}{mb + (\alpha - 1)nb + 2ak} l \frac{aa}{b} + \frac{(\alpha - b)(\beta m^2 b - 6aqa)}{(mb + (\alpha - 1)nb + 2ak)6aqa}.$$

Hiervon ist das Differentiale auf gemeldte Art genommen:

$$\frac{2\alpha\beta m k db \cdot l(aa;b)}{(mb + (\alpha - 1)nb + 2ak)^2} - \frac{\beta m db}{mb + (\alpha - 1)nb + 2ak} + \frac{-(m + (\alpha - 1)n)(\beta m^2 b^2 - 6a^2 qa^2)db - 4\alpha\beta m^2 b k db + 2a^2 ak(\beta m^2 + 6q)db}{(mb + (\alpha - 1)nb + 2ak)^2 6aqa},$$

welches = 0 gesetzt, diese Aequation giebt:

$$12a^2\beta m q k a l \frac{aa}{b} = (m + (\alpha - 1)n)\beta m^2 b^2 + 6\alpha\beta m q (m + (\alpha - 1)n)ab - 6a^2 q (m + (\alpha - 1)n)a^2 + 4\alpha\beta m^2 b k + 12a^2\beta m q a k - 2a^2\beta m^2 a k - 12a^2 q a k.$$

Es ist aber hier k eine sehr grosse Zahl, massen dieselbe die Höhe einer Luft-Säule ausdrückt, deren Gewicht dem Gewicht der Kugel gleich ist. Wenn wir nun den Diameter der Kugel setzen = c , so ist dieselbe einem gleich dicken Cylinder gleich, dessen Höhe = $\frac{2}{3}c$. Wenn also die Materie, woraus die Kugel besteht, i mahl schwerer als Luft angenommen wird, so kommt $k = \frac{2}{3}ic$; und wenn die Kugel von Eisen gesetzt wird, weil Eisen 7,820 mahl schwerer ist, als Wasser, Wasser aber ungefähr 850 mahl schwerer als Luft, so wird $i = 6650$, und also ungefähr $k = 4430c$. Wenn wir nun in obiger Aequation

die kleinsten Terminos weglassen, so wird¹⁾

$$l \frac{aa}{b} = 1 - \frac{m}{6q} - \frac{(m + (\alpha - 1)n)a}{2\beta m k} + \frac{mb}{3aqa} + \frac{(m + (\alpha - 1)n)b}{2ak} + \frac{(m + (\alpha - 1)n)mb^2}{12a^2 q a k}.$$

Da nun alle diese Brüche in Ansehung der Unität sehr klein sind, wenn wir e für die Zahl annehmen, deren Logarithmus hyperbolicus = 1, so bekommen wir

$$\frac{aa}{b} = e^{1 - \frac{m}{6q} - \frac{(m + (\alpha - 1)n)a}{2\beta m k}} \left(1 + \frac{mb}{3aqa} + \frac{(m + (\alpha - 1)n)b}{2ak} + \frac{(m + (\alpha - 1)n)mb^2}{12a^2 q a k} + \frac{mmbb}{18a^2 q^2 a^2} + \text{etc.} \right),$$

woraus der Werth für b durch die Näherung nicht schwehr zu finden ist. Laßt uns nun wie oben setzen

$$\alpha = \frac{3}{2}, \quad \beta = 4, \quad m = 400, \quad n = 1000 \quad \text{und} \quad q = 800,$$

so wird

$$\frac{3a}{2b} = e^{1 - \frac{1}{12} - \frac{9a}{32k}} \left(1 + \frac{b}{9a} + \frac{300b}{k} + \frac{50bb}{3ak} + \frac{bb}{162aa} \right).$$

Es sey der Kürze halben

$$\frac{3}{2}a : e^{1 - \frac{1}{12} - \frac{9a}{32k}} = A,$$

so wird

$$A = b + \frac{bb}{9a} + \frac{300bb}{k} + \frac{50b^3}{3ak}.$$

Wenn man nun setzt

$$b = A - pA^2 + qA^3,$$

so wird

$$bb = AA - 2pA^2 \quad \text{und} \quad b^3 = A^3,$$

1) Im Original lautet die folgende Gleichung

$$l \frac{aa}{b} = 1 - \frac{m}{6q} + \frac{(m + (\alpha - 1)n)a}{2\beta m k} + \dots,$$

ein Versehen, das sich in den daraus abgeleiteten Gleichungen für

$$\frac{aa}{b}, \quad \frac{3a}{2b} \quad \text{und} \quad A$$

wiederholt. Berichtigt von F. R. S.



folglich

$$\begin{aligned} A &= A - pA^2 + qA^3 \\ &+ \frac{1}{9a}A^2 - \frac{2p}{9a}A^3 \\ &+ \frac{300}{k}A^2 - \frac{600p}{k}A^3 \\ &+ \frac{50}{3ak}A^2, \end{aligned}$$

dahero

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{9a} + \frac{300}{k}, \\ q &= 2p\left(\frac{1}{9a} + \frac{300}{k}\right) - \frac{50}{3ak}. \end{aligned}$$

Wir wollen diesen Werth für eine halbe Carthaune ausrechnen, deren Länge 20 mahl länger ist, als das Caliber, oder wo $a = 20c$. Für eine eiserne Kugel wird also seyn $k = 4430c$, und folglich

$$p = \frac{1}{180c} + \frac{1}{15c} = \frac{1}{14c}$$

und

$$q = \frac{1}{98cc} - \frac{1}{5316cc} = \frac{1}{99cc}.$$

Dahero haben wir

$$b = A - \frac{AA}{14c} + \frac{A^2}{99cc}.$$

Es ist aber

$$A = 30c; e^{1-\frac{1}{12}},$$

weil der Bruch $\frac{9a}{32k}$ allzuklein wird, und da

$$e^{1-\frac{1}{12}} = e : \left(1 + \frac{1}{12}\right),$$

so wird

$$A = \frac{32,5c}{2,718} = 12c$$

ungefähr; und also

$$b = 12c - \frac{72}{7}c.^1)$$

1) Eigentlich ergibt sich $b = 12c - \frac{72}{7}c + \frac{192}{11}c$. F. R. S.

Da aber hier der zweyte Terminus nicht viel kleiner ist als der erste, so sieht man wohl, daß die gebrauchte Näherung in diesem Fall nicht statt finde. Wir müssen also die erste Aequation wiederum vornehmen, da

$$A = b + bb\left(\frac{1}{9a} + \frac{300}{k}\right) + \frac{50b^2}{3ak},$$

welche auf den gegenwärtigen Fall giebt

$$12c = b + \frac{bb}{14c} + \frac{b^2}{5316cc},$$

in welcher der letzte Terminus schon weggelassen werden kann, und da bekommen wir diese quadratische Gleichung

$$bb + 14bc = 168cc$$

und also

$$b = -7c + \sqrt{217cc},$$

oder beynahe

$$b = 7\frac{3}{4}c,$$

welcher Werth doch wegen des weggeworfenen letzten Termini noch etwas zu groß ist. Hieraus siehet man, daß aus einer halben Carthaune eine eiserne Kugel mit der grösten Geschwindigkeit heraus geschossen werden kann, wenn die Ladung in der Canone ungefähr $7\frac{1}{2}$ Caliber ausfüllt. So viel Pulver wird aber ungefähr anderthalb mahl schwerer seyn, als die Kugel. Da nun die ordentliche Ladung dem halben Gewicht der Kugel gleich genommen wird, so siehet man, daß eine dreyfache Ladung der Kugel die allergröste Geschwindigkeit gebe, und daß, wenn man noch mehr als drey-mahl so viel Pulver, als gewöhnlich ist, laden sollte, die Kugel mit einer kleinern Geschwindigkeit geschossen werden würde. In andern Fällen aber, da eiserne Kugeln geschossen werden, kann die stärkste Ladung auf gleiche Weise folgender Gestalt gefunden werden. Da $k = 4430c$, so setze man $a = \theta c$, so wird

$$A = \frac{13\theta c}{8c} = \frac{3}{5}\theta c,$$

und ferner

$$A = b + \frac{bb}{9\theta c} + \frac{bb}{15c},$$



folglich

$$bb + \frac{45\theta bc}{5+3\theta} = \frac{45\theta Ac}{5+3\theta} = \frac{2700cc}{5+3\theta},$$

und also

$$b = \frac{-45\theta c + 3\theta c \sqrt{(285+36\theta)}}{10+6\theta}.$$

Die Verhältniß des Raums, welcher die Ladung enthält, zum Caliber beruhet also auf der Zahl θ , welche anzeigt, wie viel Caliber lang der Lauf ist. Hieraus ist diese Tabelle gemacht worden:

Wenn die Länge der Seele so viel Caliber beträgt:	So trägt die stärkste Ladung in der Seele so viel Caliber aus:
5	2,46
10	4,46
15	6,17
20	7,71
25	9,10
30	10,39
35	11,60
40	12,73
45	13,81
50	14,83

Wobey zu merken, daß diese Zahlen nicht aufs genaueste, sondern nur bey-läufig mit der Erfahrung übereinstimmen werden, theils weil alle Umstände nicht in die Rechnung gebracht werden können, theils weil sich das Pulver nicht alles auf einmahl entzündet, wie hier angenommen worden, und auch die fortreibende Kraft noch andern Abbruch leidet.

SECHSTE ANMERKUNG

Wir haben versprochen, auch noch zu untersuchen, um wie viel die vorher gefundene Geschwindigkeit vermindert werde, wenn sich nicht alles Pulver zugleich entzündet. Es sey demnach (Fig. 10) wie vorhin die Länge des Raums, welchen anfänglich das Pulver eingenommen, $AC=b$, die Länge der ganzen Canone $AB=a$, und nach einiger Zeit soll sich die Flamme nebst der Kugel schon biß NN ausgebreitet haben. Man setze $AN=x$, und die Geschwindigkeit so wohl der vordersten Scheibe NN als der Kugel sey $=v$, dergestalt daß, indem die Kugel durch $Nn=dx$ fortgetrieben wird, die Höhe v um dv wachse. Wenn also das Gewicht der Kugel durch eine Luft-Säule ausgedrückt wird, deren Länge $=k$, so ist die Kraft, welche zur Acceleration der Kugel erfordert wird, $=\frac{kdv}{dx}$. Da sich aber noch nicht alles Pulver entzündet, so wollen wir annehmen, daß sich der schon allbereits entzündete Theil des Pulvers zur ganzen Ladung verhalte, wie y zu b ; so wird y eine solche aus x und bekannten Zahlen zusammen gesetzte Quantität seyn, welche, wenn $x=b$ gesetzt wird, verschwindet, weil in diesem Fall die Entzündung erst anfängt: hernach wenn sich schon alles Pulver entzündet hat, so muß $y=b$ werden, welches geschehen soll, wenn $x=a$; wenn wir nemlich den Lauf so lang annehmen, daß sich alles Pulver zu entzünden Zeit hat, ehe die Kugel heraus getrieben worden. Solte sich aber in dieser Zeit noch nicht alles Pulver entzündet haben, so muß $y=b$ werden, wenn für x eine grössere Länge als a gesetzt wird. Dieselbe sei $=f$, dergestalt, daß wenn $x=f$, alsdenn werde $y=b$. Hieraus laßt sich nun schon ziemlicher massen abnehmen, wie die Expression für y beschaffen seyn werde: denn es wird ungefehr seyn

$$y = \frac{b(x-b)^{\alpha}}{(f-b)^{\alpha}},$$

als welche Ausdrückung die obgedachten Eigenschaften besitzt. Wenn wir ferner setzen, daß die aus dem schon entzündeten Pulver erzeugte Materie den $\frac{\alpha-1}{\alpha}$ ten Theil desselben einnehme, so wird damit ein Theil des Raums AM erfüllet seyn, dessen Länge $=\frac{(\alpha-1)y}{\alpha}$; hernach nimmt aber das noch nicht entzündete Pulver einen Raum ein, dessen Länge $=b-y$, welches mit den vorigen zusammen macht $b-\frac{y}{\alpha}$. Dahero für die Luft ein Raum übrig bleibt, dessen Länge ist $=x-b+\frac{y}{\alpha}$. Wenn sich aber diese Luft so weit



ausdehnen sollte, biß dieselbe mit der natürlichen einerley Grad der Dichte erhielte, so würde dieselbe einen mit dem Lauf gleich weiten Raum erfüllen, dessen Länge = $244y$; folglich muß dieselbe in gegenwärtigem Fall

$$\frac{244y}{x-b+\frac{y}{a}}$$

mahl dichter seyn, als die natürliche. Wir wollen der Kürze halben für diese Zahl

$$\frac{244y}{x-b+\frac{y}{a}}$$

den Buchstaben s setzen; so wird, wie wir oben gewiesen haben, die Elasticität dieser Luft dem Gewichte einer Luft-Säule gleich seyn, deren Höhe

$$= \frac{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{s}{q}}}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{1}{q}}} \beta h = \beta h \left(s + \frac{ss}{6q} \right),$$

welche Näherung zu unserm Endzweck hinlänglich ist. Es bedeutet aber hier h die Höhe einer Luft-Säule, deren Gewicht der Elasticität der natürlichen Luft gleich ist, und β zeigt an, wie viel mahl die Elasticität durch die Erhitzung vermehrt werde. Da nun die durch die Entzündung schon befreyte Luft einer Luft-Säule gleich ist, deren Höhe = $244y$, so wird zur Acceleration derselben eine Kraft erfordert, welche

$$= \frac{122ydv}{dx}.$$

Diese Kraft ist nemlich, wie aus obigem erhellet, nur halb so groß, als wenn alle diese Luft gleich stark accelerirt werden müßte. Ausser diesem ist noch die grobe Materie zu betrachten übrig, davon ein Theil gleichfalls in Bewegung gesetzt werden muß.

Wir wollen wieder wie oben annehmen, daß die eine Hälfte an dem Boden AA zurück bleibe, die andere aber mit der Kugel fortgestossen werde: und daß dieselbe n mahl dichter sey, als die natürliche Luft; so wird dieselbe seyn

$$= \frac{1}{2} n \left(b - \frac{y}{a} \right),$$

und zur Acceleration derselben wird eine Kraft erfordert, welche

$$= \frac{1}{2} n \left(b - \frac{y}{a} \right) \frac{dv}{dx},$$

dahero die sämtliche zur Forttreibung erforderte Kraft seyn wird

$$= \frac{dv}{dx} \left(k + \frac{1}{2} nb - \frac{ny}{2a} + 122y \right),$$

welche gleich seyn muß der wirklichen Kraft, so vorhanden ist,

$$\beta h \left(s + \frac{ss}{6q} \right),$$

weniger dem Gegendruck der Luft h , und noch über dieses weniger der Resistenz der Luft, welche, weil die Kugel rund ist, durch $\frac{1}{2}v$ ausgedrückt wird. Hieraus bekommt man diese Aequation:

$$dv(2ak + nab - ny + 244ay) = 2a\beta h dx \left(s + \frac{ss}{6q} \right) - 2ahdx - avdx,$$

wo

$$s = \frac{244ay}{a(x-b)+y} \quad \text{und} \quad y = \frac{b(x-b)^\mu}{(f-b)^\mu}.$$

Hieraus wird

$$s = \frac{244ab(x-b)^{\mu-1}}{a(f-b)^\mu + b(x-b)^{\mu-1}}.$$

Wenn also die Zahl $\mu = 1$ wäre, so würde

$$s = \frac{244ab}{af-(a-1)b} \quad \text{und} \quad y = \frac{b(x-b)}{f-b},$$

folglich würde in diesem Fall die elastische Kraft immer einerley seyn. Wir wollen diesen Fall wegen Erleichterung der Rechnung beybehalten, um zu sehen, wie viel derselbe von der Wahrheit abweicht, so wird

$$dv(a(2k+nb)(f-b) + b(244a-n)(x-b)) = adx(f-b) \left(2\beta h \left(s + \frac{ss}{6q} \right) - 2h - v \right)$$

und also

$$\frac{dv}{2\beta h \left(s + \frac{ss}{6q} \right) - 2h - v} = \frac{adx(f-b)}{a(2k+nb)(f-b) + b(244a-n)(x-b)},$$



welche integrirt und auf den gegenwärtigen Fall gerichtet giebt

$$l \frac{2\beta h(s + \frac{ss}{6q}) - 2h}{2\beta h(s + \frac{ss}{6q}) - 2h - v} = \frac{\alpha(f-b)}{(244\alpha-n)b} l \frac{\alpha(2k+nb)(f-b) + (244\alpha-n)b(x-b)}{\alpha(2k+nb)(f-b)}$$

Man setze um abzukürzen

$$2\beta h(s + \frac{ss}{6q}) - 2h = g, \quad \frac{\alpha(f-b)}{(244\alpha-n)b} = v;$$

so wird

$$l \frac{g}{g-v} = v l^{\frac{v(2k+nb)+x-b}{v(2k+nb)}}$$

und folglich

$$\frac{g}{g-v} = \left(1 + \frac{x-b}{v(2k+nb)}\right)^v;$$

dahero

$$v = g - g \left(1 + \frac{x-b}{v(2k+nb)}\right)^{-v}.$$

Aus welcher Gleichung, wenn man setzt $x=a$, die Geschwindigkeit, womit die Kugel herausgetrieben wird, heraus kömmt.

Um diese Ausdrückung auf den schon öfters berechneten Fall zu reduciren, so sey

$$\alpha = \frac{3}{2}, \beta = 4, n = 1000, a = 45, b = 2\frac{5}{8} \text{ und } f = 45 \text{ und } k = 4900 \text{ Engl. Zoll,}$$

so wird

$$s = 14,5^1), \quad g = 114,4h^2), \quad v = -\frac{1}{26} \text{ und endlich } v = \frac{10135}{24850}h^3),$$

woraus eine Geschwindigkeit gefunden wird, welche in einer Secunde 861 Rheinl. Schuh⁴⁾ beträgt. Ohngeachtet nun diese Geschwindigkeit fast um die Helfte kleiner ist, als diejenige, welche aus den Versuchen herausgekommen, so ist doch dieselbe sehr groß, in Ansehung der kleinen Kraft, wodurch die Kugel fortgetrieben wird, als welche von einer Luft herrühret, die nur 14,5¹⁾ mahl dichter ist, als die natürliche, und also durch die Erhitzung nur eine 58²⁾ mahl grössere Elasticität bekömmt. Wir sehen also hieraus, daß wir die Zahl μ

1) Im Original 15,7.

2) Im Original 124h.

3) Im Original $\frac{10509}{24850}h$.

4) Im Original 877 Schuh.

5) Im Original 63.

Berichtigt von F. R. S.

zu groß angenommen; denn je grösser μ angenommen wird, je kleiner wird s , und folglich auch die Geschwindigkeit. Wenn wir aber μ kleiner als 1 setzen, so wird s , und also auch die Geschwindigkeit grösser. Es dürfte also ungefehr seyn $\mu = \frac{1}{2}$, in welchem Fall wird

$$s = \frac{244ab}{b + \alpha\sqrt{(f-b)(x-b)}} \text{ und } y = b\sqrt{\frac{x-b}{f-b}};$$

und da $V(x-b) = \frac{y}{b}V(f-b)$, so ist

$$s = \frac{244abb^*}{bb + \alpha(f-b)y} \text{ und } dx = \frac{2(f-b)ydy}{bb}.$$

Damit aber die Integration um so viel weniger Schwierigkeit habe, so wollen wir die 3 letzten Terminos

$$2\alpha\beta hdx \cdot \frac{ss}{6q} - 2ahdx - avdx$$

weglassen, welches sehr füglich geschehen kann, da wir schon oben gesehen, daß die Wirkung des Widerstands $2ahdx + avdx$ fast nichts austrage, und dieselbe noch über dieses in gegenwärtigem Fall durch den Terminum $\frac{\alpha\beta hssdx}{3q}$ fast aufgehoben wird. Solchergestalt bekommen wir diese Aequation:

$$dv = \frac{2\alpha\beta hsdx}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)y}.$$

Da nun

$$s = \frac{244abb}{bb + \alpha(f-b)y} \text{ und } dx = \frac{2(f-b)ydy}{bb},$$

so wird

$$sdx = \frac{488\alpha(f-b)ydy}{bb + \alpha(f-b)y}$$

und dahero bekommt man

$$dv = \frac{976\alpha^2\beta h(f-b)ydy}{(bb + \alpha(f-b)y)(\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)y)}.$$

Man setze um abzukürzen

$$\frac{976\alpha^2\beta h(f-b)}{bb(n-244\alpha) + \alpha\alpha(f-b)(2k+nb)} = A,$$



so zertheilet sich die gefundene Aequation in diese Gestalt

$$dv = \frac{-Abb dy}{bb + \alpha(f-b)y} + \frac{A\alpha(2k+nb)dy}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)y},$$

wovon das Integrale ist

$$v = C - \frac{Abb}{\alpha(f-b)} l(bb + \alpha(f-b)y) - \frac{A\alpha(2k+nb)}{n-244\alpha} l(\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)y).$$

Diese beständige Quantität C muß aber also beschaffen seyn, daß $v=0$ wird, wenn $x=b$, das ist, wenn $y=0$; dahero hat man

$$v = \frac{A\alpha(2k+nb)}{n-244\alpha} l \frac{\alpha(2k+nb)}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)y} - \frac{Abb}{\alpha(f-b)} l \frac{bb + \alpha(f-b)y}{bb}.$$

Um nun die letzte Geschwindigkeit zu finden, mit welcher die Kugel aus dem Lauf hinaus getrieben wird, so setze man $x=a$; wir wollen aber annehmen, daß auch $f=a$, oder daß sich das Pulver alles entzündet, indem die Kugel durch den Lauf fährt; so wird $y=b$; und in diesem Fall ist also

$$A = \frac{976\alpha^2\beta h(a-b)}{bb(n-244\alpha) + \alpha\alpha(a-b)(2k+nb)}$$

und

$$v = \frac{A\alpha(2k+nb)}{n-244\alpha} l \frac{\alpha(2k+nb)}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)b} - \frac{Abb}{\alpha(a-b)} l \frac{bb + \alpha(a-b)b}{bb},$$

oder

$$v = \frac{-Abb}{\alpha(a-b)} l \left(1 + \frac{\alpha(a-b)}{b}\right) - \frac{A\alpha(2k+nb)}{n-244\alpha} l \left(1 - \frac{(n-244\alpha)b}{\alpha(2k+nb)}\right).$$

Man setze ferner

$$\frac{\alpha(a-b)}{b} = \zeta \quad \text{und} \quad \frac{\alpha(2k+nb)}{(n-244\alpha)b} = \eta,$$

so wird

$$v = - \frac{976\beta\eta bh}{(1+\zeta\eta)(2k+nb)} l(1+\zeta) - \frac{976\beta\zeta\eta^2 bh}{(1+\zeta\eta)(2k+nb)} l \left(1 - \frac{1}{\eta}\right).$$

Damit man nun diesen Fall besser mit demjenigen, da sich alles Pulver im ersten Augenblick auf einmal zu entzünden gesetzt wird, vergleichen könne, so dürfen wir nur in der Differential-Aequation setzen $y=b$, und wenn wir

eben dieselben Terminos als vorher weglassen, so haben wir

$$s = \frac{244\alpha b}{\alpha x - (\alpha-1)b}$$

und

$$dv = \frac{488\alpha^2\beta bh dx}{(\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)b)(\alpha x - (\alpha-1)b)},$$

wovon das Integrale ist

$$v = \frac{488\alpha\beta bh}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)b} l \frac{\alpha x - (\alpha-1)b}{b},$$

und wenn wir setzen $x=a$, so kommt:

$$v = \frac{488\alpha\beta bh}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)b} l \left(1 + \frac{\alpha(a-b)}{b}\right).$$

Setzen wir nun wie vorher

$$\frac{\alpha(a-b)}{b} = \zeta \quad \text{und} \quad \frac{\alpha(2k+nb)}{(n-244\alpha)b} = \eta,$$

so haben wir:

$$v = \frac{488\beta\eta bh}{(\eta-1)(2k+nb)} l(1+\zeta),$$

welche mit der vorigen Expression leichter verglichen werden kann, als diejenige, so wir oben gefunden haben; weil wir alhier in beyden Fällen einerley Terminos weggelassen haben. Derowegen wenn wir die Geschwindigkeit der Kugel, wenn sich das Pulver auf einmal entzündet, setzen $=V$, und die Geschwindigkeit der Kugel, wenn sich das Pulver nach und nach, wie wir angenommen haben, entzündet, setzen $=Vv$, so wird sich verhalten

$$u:v = \frac{1}{\eta-1} l(1+\zeta) : \frac{-2}{1+\zeta\eta} l(1+\zeta) - \frac{2\zeta\eta}{1+\zeta\eta} l \left(1 - \frac{1}{\eta}\right),$$

und da die Logarithmi von allen verschiedenen Tabellen unter sich einerley Verhältnisse haben, so ist hier gleich viel, was man für eine Tabelle gebraucht. Wenn wir nun setzen

$$\alpha = \frac{3}{2}, \quad a = 45, \quad b = 2\frac{5}{8}, \quad k = 4900 \quad \text{und} \quad n = 1000,$$

so wird

$$\zeta = 24,21, \quad \eta = 5,2^1$$

1) Die Rechnung ergibt $\eta = \frac{3550}{317} = 11,2$. Siehe die Anmerkung I p. 200. F. R. S.



und also

$$u : v = \frac{10}{42} / 25,2 : \frac{-100}{6342} / 25,2 + \frac{12580}{6342} / \frac{52}{42}$$

oder

$$u : v = 1 : \frac{1258}{151} / 25,2 - \frac{10}{151} = 1 : \frac{73,25}{151}$$

das ist

$$u : v = 1 : 0,4851 \quad \text{und} \quad \sqrt{u} : \sqrt{v} = 1 : 0,696,$$

folglich verhalten sich diese Geschwindigkeiten beynahe wie 10 zu 7. Nun aber beträgt die Geschwindigkeit, wenn sich alles Pulver auf einmahl zu entzünden gesetzt wird, in einer Secunde 1731 Rheinh. Schuhe, daher für den gegenwärtigen Fall, da sich nicht alles Pulver auf einmahl entzündet, 1212 Schuh heraus kommen. Da nun diese almhliche Entzündung auf dem Werth $\mu = \frac{1}{2}$ beruht: als wir aber vorher $\mu = 1$ gesetzt hatten, eine Geschwindigkeit nur von 877 Schuhen gefunden worden; so sieht man schon, daß wenn man für μ einen noch kleinern Bruch als $\frac{1}{2}$ nehmen sollte, die Geschwindigkeit auch grösser, als 1212 Schuh, heraus kommen und folglich der Wahrheit näher kommen würde. Je kleiner wir aber den Werth von μ annehmen, je plötzlicher entzündet sich das Pulver im ersten Anfange, dennoch aber bleibt die Entzündung im allerersten Augenblick unendlich klein. Weil wir nun versichert seyn können, daß sich gleich im ersten Augenblick schon ein beträchtlicher Theil des Pulvers entzündet, so folgt hieraus, daß die gefundene Geschwindigkeit von 1212 Schuhen viel zu klein seyn müsse: und daß also unsere Meynung, kraft welcher sich das Pulver nicht auf einmahl entzünden soll, mit der Wahrheit sehr wohl bestehen könne. Denn da die plötzliche Entzündung eine Geschwindigkeit von 1795 Englischen Schuhen giebt, durch die Versuche aber nur ungefähr 1650 wahrgenommen worden, so ist der Unterscheid von 145 Schuhen groß genug, daß man daraus eine von der almhlichen Entzündung herrührende Verminderung schliessen kann.¹⁾ Da auch die gefundene Geschwindigkeit von 1795 Schuhen wegen des weggeworfenen Termini $\frac{ss}{6q}$, als welcher in diesem Fall da s sehr groß ist, nicht mehr so wenig austrägt, noch um etwas merkliches

1) Mit Benutzung des richtigen Wertes von η ergibt sich $\sqrt{u} : \sqrt{v} = 1 : 0,718$, ferner als Mündungsgeschwindigkeit bei plötzlicher vollständiger Entzündung des Pulvers 1630 rheinh. oder 1680 engl. Fuß und bei almhlicher Entzündung 1171 rheinh. Fuß. Der Unterschied der für plötzliche Entzündung berechneten und der aus den Beobachtungen ermittelten Mündungsgeschwindigkeit beträgt also nicht 145 sondern nur 30 engl. Fuß. F. R. S.

zu klein ist, so begreift man leicht, daß man davon noch den durch den Spiel-Raum und das Zündloch verursachten Verlust abziehen könne: indem dieser Verlust in einem-Musketen Lauf, da wegen der Fütterung durch den Spielraum fast gar nichts durchdringen kann, kaum merklich seyn wird. Und also wird man keine weitere Ursache mehr finden, an der Wahrheit der hier gegebenen Lehre über die Gewalt des Pulvers zu zweifeln.

SIEBENTE ANMERKUNG

Weil es aber eben so schwehr ist, die almhliche Entzündung des Pulvers in Rechnung zu bringen, als die Rechnung selbst zu vollenden, so kan man sich die Sache dergestalt vorstellen, als wenn sich im ersten Augenblick ein gewisser Theil des Pulvers auf einmahl entzündete, der übrige Theil aber gänzlich unentzündet bliebe. Denn das Pulver mag sich in der That so plötzlich oder langsam, als man immer will, entzünden, so wird es allzeit möglich seyn, eine gewisse Portion zu bestimmen, welche, wenn sie sich im ersten Augenblick auf einmahl entzündete, eben diejenige Wirkung hervorbringen würde. Wir wollen daher in der obigen Rechnung annehmen, daß diese Portion Pulver, welche sich im ersten Augenblick entzündet, und durch ihre Kraft allein die Kugel fortreibt, durch λb aus gedrückt werde, oder daß sich die Portion zur ganzen Ladung verhalte, wie $\lambda : 1$, dergestalt daß λ einen gewissen Bruch andeutet, welcher der Unität um soviel näher kommt, je plötzlicher sich das Pulver in der That entzündet. Daher wird in der vorher gefundenen Aequation seyn $y = \lambda b$ und

$$s = \frac{244\alpha\lambda b}{\alpha(x-b) + \lambda b} \quad \text{oder} \quad s = \frac{244\alpha\lambda b}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b}$$

und

$$\frac{ss}{6q} \quad \text{oder} \quad \frac{ss}{4800} = \frac{12,4\alpha^2\lambda^2b^2}{(\alpha x - (\alpha - \lambda)b)^2}$$

Weil nun

$$dv(\alpha(2k + nb) - (n - 244\alpha)\lambda b) = 2\alpha\beta h dx \left(s + \frac{ss}{6q}\right) - 2ahdx - avdx,$$

so wird durch die Integration gefunden werden



$$v(a(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b) = 488\alpha\beta\lambda b h l \frac{\alpha(x-b) + \lambda b}{\lambda b} \\ - \frac{24,8\alpha^2\beta\lambda^2 b^2 h}{\alpha x - (\alpha-\lambda)b} + 24,8\alpha^2\beta\lambda b h - 2ahx + 2abh - \alpha \int v dx.$$

Weil aber schon ziemlich genau ist

$$v = \frac{488\alpha\beta\lambda b h}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b} l \frac{\alpha(x-b) + \lambda b}{\lambda b},$$

so ist

$$\alpha \int v dx = v(\alpha x - (\alpha-\lambda)b) - \int d v (\alpha x - (\alpha-\lambda)b).$$

Daher ist

$$\alpha \int v dx = \frac{488\alpha\beta\lambda b h (\alpha x - (\alpha-\lambda)b)}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b} l \frac{\alpha(x-b) + \lambda b}{\lambda b} - \frac{488\alpha^2\beta\lambda b h (x-b)}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b}.$$

Man setze nun um abzukürzen

$$\frac{2\alpha b}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b} = m,$$

so wird man finden

$$v = 244\beta\lambda m h l \frac{\alpha x - (\alpha-\lambda)b}{\lambda b} - \frac{12,4\alpha\beta\lambda^2 m b h}{\alpha x - (\alpha-\lambda)b} + 12,4\alpha\beta\lambda m h - \frac{mh(x-b)}{b} \\ - \frac{244\beta\lambda m h (\alpha x - (\alpha-\lambda)b)}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b} l \frac{\alpha x - (\alpha-\lambda)b}{\lambda b} + \frac{244\alpha\beta\lambda m h (x-b)}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b}$$

oder

$$v = 244\beta\lambda m h \left(1 - \frac{m(\alpha x - (\alpha-\lambda)b)}{2\alpha b} \right) l \frac{\alpha x - (\alpha-\lambda)b}{\lambda b} + \frac{12,4\alpha^2\beta\lambda m h (x-b)}{\alpha x - (\alpha-\lambda)b} \\ - \frac{mh(x-b)}{b} (1 - 122\beta\lambda m).$$

Setzt man nun $x=a$, so kommt die Geschwindigkeit heraus, womit die Kugel aus dem Lauf geschossen wird, in welchem Fall man diese Vergleichung erhält:

$$v = 244\beta\lambda m h \left(1 - \frac{m(\alpha(a-b) + \lambda b)}{2\alpha b} \right) l \frac{\alpha(a-b) + \lambda b}{\lambda b} + \frac{12,4\alpha^2\beta\lambda m h (a-b)}{\alpha(a-b) + \lambda b} \\ - \frac{mh(a-b)}{b} (1 - 122\beta\lambda m).$$

Um aber die Geschwindigkeiten mit einander zu vergleichen, welche heraus kommen, wenn man erstlich setzt, daß sich alles Pulver, und hernach daß sich nur ein Theil desselben entzündet, so ist genug, den ersten Terminum allein zu nehmen. Es sey daher $\sqrt{u}$ die Geschwindigkeit, womit die Kugel heraus geschossen wird, wenn sich alles Pulver auf einmahl entzündet; ferner sey $\sqrt{v}$ die Geschwindigkeit, womit die Kugel heraus gestossen wird, wenn sich nur ein Theil des Pulvers, welcher sich zum ganzen verhält, wie λ zu 1, entzündet, so wird man haben

$$u:v = \frac{1}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)b} l \frac{\alpha(a-b) + b}{b} : \frac{\lambda}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b} l \frac{\alpha(a-b) + \lambda b}{\lambda b}$$

oder

$$u:v = 1 : \frac{\alpha\lambda(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b}{\alpha(2k+nb) - (n-244\alpha)\lambda b} \cdot \frac{l \frac{\alpha(a-b) + \lambda b}{\lambda b}}{l \frac{\alpha(a-b) + b}{b}}.$$

Oder um abzukürzen, so setze man, wie oben

$$\frac{\alpha(a-b)}{b} = \zeta \quad \text{und} \quad \frac{\alpha(2k+nb)}{(n-244\alpha)b} = \eta,$$

so wird

$$u:v = 1 : \frac{(\eta-1)\lambda}{\eta-\lambda} \cdot \frac{l(\zeta+\lambda):\lambda}{l(\zeta+1)}.$$

Wenn nun, wie in dem schon oft berechneten Exempel, ist

$$\alpha = \frac{3}{2}, \quad a = 45, \quad b = 2\frac{5}{8}, \quad k = 4900 \quad \text{und} \quad n = 1000,$$

so wird

$$\zeta = 24,21 \quad \text{und} \quad \eta = 5,21;$$

folglich hat man diese Vergleichung

$$u:v = 1 : \frac{4,2\lambda}{5,2-\lambda} \cdot \frac{l \frac{24,21+\lambda}{\lambda}}{l 25,21}.$$

Man setze zum Exempel $\lambda = \frac{3}{4} = 0,75$, so wird

$$u:v = 1 : 0,7078 \frac{133,28}{125,21} = 1 : 0,7687$$

1) Berichtigt durch die Anmerkung 1 p. 199. F. R. S.



und die Geschwindigkeiten selbst werden sich also verhalten:

$$V u : V v = 1 : 0,8767.$$

Da also, wie wir gesehen, die Geschwindigkeit der Kugel, da alles Pulver auf einmahl zu entzünden gesetzt worden, in einer Secunde ungefähr 1800 Schuh betragen, so wird die Geschwindigkeit der Kugel, wenn sich nur $\frac{3}{4}$ vom Pulver entzünden, in einer Secunde austragen 1578 Engl. Schuh. Es ist aber wahrscheinlich, daß man, um mit der Wahrheit überein zu stimmen, einen grössern Theil als $\frac{3}{4}$ für λ annehmen müsse. Setzen wir aber $\lambda = \frac{7}{8}$, so kömmt ungefähr eine Geschwindigkeit von 1689 Schuhen in einer Secunde heraus, welche schon grösser ist, als die Experientz angezeigt. Da nun auch noch etwas wenigens von der forttreibenden Gewalt durch das Zündloch und den Spiel-Raum weggeheth, so wird man ungefähr, wenn das Pulver recht gut ist, wie der Autor gebrauchet, ziemlich sicher für λ diesen Bruch $\frac{9}{10}$ annehmen können. In dem gegenwärtigen Exempel wird aber dahero diese Proportion entstehen:

$$u : v = 1 : 0,88 \frac{127,9}{125,21} = 1 : 0,90765$$

und also

$$V u : V v = 1 : \sqrt{0,90765}.$$

Dahero anjetzo die Geschwindigkeit der Kugel in einer Secunde 1755 Englische Schuh betragen wird. Wenn nun davon 100 Schuh für den Verlust wegen des Spielraums und des Zündlochs abgezogen werden, so kommt die wahre Geschwindigkeit, welche gefunden worden, heraus.¹⁾ Wir können aber aus der letzt integrierten Aequation den Werth von u oder die Geschwindigkeit der Kugel, wenn sich alles Pulver auf einmahl entzündet, genauer bestimmen, als bißher, weil darinnen auch die Resistenz nicht ist aus der Acht gelassen worden. Wir dürfen zu diesem Ende nur $\lambda = 1$ setzen, und da β eine solche Zahl ist, daß nach

1) Weil η nicht gleich 5,2, sondern gleich 11,2 ist, so erhält man

$$\text{für } \lambda = \frac{3}{4} \quad V u : V v = 1 : 0,8916,$$

$$\text{für } \lambda = \frac{7}{8} \quad V u : V v = 1 : 0,9481,$$

$$\text{für } \lambda = \frac{9}{10} \quad V u : V v = 1 : 0,9588;$$

daher ergeben sich für die Mündungsgeschwindigkeit, je nachdem $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ oder $\frac{9}{10}$ des Pulvers verbrannt, 1605, 1705 oder 1726 englische Fuß. F. R. S.

dem Autore $244\beta = 1000^1$), so ist $122\beta = 500$, und $12,4\beta = 50,8$. Ferner ist $n = 1000$, und $a = \frac{3}{2}$, woraus entsteht $m = \frac{b}{\frac{3}{2} + 289\frac{1}{2}}$. Setzen wir weiter

$$\frac{a(a-b)}{b} = \frac{3(a-b)}{2b} = \zeta,$$

so wird

$$u = 1000mh \left(1 - \frac{m(\zeta+1)}{3}\right) l(\zeta+1) + \frac{76,2\zeta mh}{\zeta+1} - \frac{2\zeta mh}{3} (1 - 500m).$$

In unserem Exempel also, da $a = 45$, $b = 2\frac{5}{8}$ und $k = 4900$, haben wir

$$\zeta = 24,2143 \quad \text{und} \quad m = \frac{1}{2155,66},$$

folglich

$$u = \frac{h}{2,15566} \cdot 0,996102 \cdot 125,2143 + 0,033947 \cdot h - 0,005752 \cdot h$$

oder

$$u = 0,46209 h \cdot 125,2143 + 0,028195 \cdot h.$$

Hieraus wird die gesuchte Geschwindigkeit folgender Gestalt bestimmt werden:

$$125,2143 = 1,401647$$

$$11,401647 = 0,146638$$

$$12,302581 = 0,362215$$

$$10,46209 = 9,664723$$

$$0,173576$$

$$\text{Die Zahl} = 1,491340$$

$$0,028195$$

$$1,519535$$

$$11,519535 = 0,181710$$

$$1h = 7,463893$$

$$7,645603$$

$$\text{Die Hälfte} = 3,822802$$

$$14 = 0,602060$$

$$3,220742$$

Die Geschwindigkeit 1662 Rheintl. Schuh oder aber 1711²⁾ Engl. Schuh.

1) Siehe p. 66. F. R. S.

2) Im Original 1705. Berichtigt von F. R. S.



Da nun diese Zahl fast um 100 Schuh kleiner ist, als diejenige, welche vorher, da wir die Resistenz nicht in Betrachtung gezogen haben, gefunden worden, so bleiben nur ungefähr 60 Schuh übrig, welche der Verminderung, so von der allmähigen Entzündung des Pulvers und dem Zündloch, nebst dem Spielraum herrühren, zugeschrieben werden können. Setzt man nun $\lambda = \frac{9}{10}$, so beträgt dieser Abgang ungefähr 40 Schuh, und der übrige Verlust mag 20 Schuh austragen.

ACHTE ANMERKUNG

Da wir in diesen Anmerkungen alle diejenigen Umstände in Erwägung gezogen, welche auf die Bewegung der Kugel, ehe dieselbe aus der Canone heraus getrieben wird, einigen Einfluß haben, nur allein die Verminderung ausgenommen, welche von dem beständigen Verlust der fortreibenden Kraft durch das Zündloch und den Spiel-Raum herkömmt: so wollen wir alhier noch untersuchen, wie viel dieser Umstand austragen könne.

Es sey demnach, wie wir vorher gesetzt haben, die Länge der ganzen Canone (Fig. 10) $AB = a$, die Länge des Raums, welcher anfänglich mit Pulver angefüllt gewesen, $AC = b$, und um die Schwierigkeiten nicht ohne Noth zu vermehren, so wollen wir setzen, daß sich gleich im ersten Augenblick ein Theil des Pulvers, welcher sich zur ganzen Ladung verhalte wie λ zu 1, auf einmal entzündet habe, und daß sich auch nachgehends nichts mehr entzünde. Daher wird der noch unentzündete Theil einen Raum einnehmen, dessen Länge $=(1-\lambda)b$. Ferner sey die aus dem entzündeten Pulver erzeugte gröbere Materie der $\frac{a-1}{a}$ te Theil desselben, welche mit dem unentzündeten Pulver einen Raum einnehmen wird, dessen Länge $=b - \frac{\lambda b}{a}$. Wir wollen nun setzen, daß die beyden Oefnungen des Spiel-Raums und Zündlochs, wodurch die zusammen gepreßte Luft heraus fährt, zusammen genommen den $\frac{1}{m}$ Theil der Höhlung des Stücks, welche durch cc angedeutet wird, austrage. Zu diesem Ende wollen wir das Zündloch ef um etwas grösser annehmen, damit darunter zugleich die Oefnung des Spiel-Raums begriffen werde, und folglich setzen $ef = \frac{cc}{m}$. Dieses voraus gesetzt, so soll nach einiger Zeit die Kugel schon biß MN fortgetrieben worden seyn. Man nenne die Länge $AM = x$, und die Geschwindigkeit sowohl der Kugel, als der vördersten Scheibe

$MN = \frac{1}{v}$, dergestalt daß, indem die Kugel durch $Nn = dx$ fortrückt, die Höhe v um dv wachse. Wenn also das Gewicht der Kugel durch eine Luft-Säule ausgedrückt wird, deren Höhe $= k$, so ist die Kraft, welche zur Acceleration der Kugel erfordert wird, $= \frac{k dv}{dx}$. Wenn hernach die gröbere Materie n mahl dichter, als die natürliche Luft, gesetzt wird, so ist die Kraft, welche zur Acceleration derselben erfordert wird,

$$= \frac{1}{2} n \left(b - \frac{\lambda b}{a} \right) \frac{dv}{dx}.$$

Da aber anjetzo die Kugel nicht mehr von der ganzen Gewalt, welche anfänglich aus dem Pulver erzeugt worden, fortgetrieben wird, indem unterdessen ein Theil derselben durch das Zündloch verlohren gegangen, so wollen wir setzen, daß sich dieser verlohrene Theil zum ganzen verhalte, wie z zu 1; oder, daß dieser Verlust gleich sey einer natürlichen Luft-Säule, deren Höhe $244\lambda bz$. Also wird die in der Canone noch übrige Luft seyn $= 244\lambda b(1-z)$. Da nun dieselbe in der Canone einen Raum einnimmt, dessen Länge $= x - b + \frac{\lambda b}{a}$, so muß dieselbe

$$\frac{244\lambda b(1-z)}{x - b + \frac{\lambda b}{a}}$$

mahl dichter seyn, als die natürliche Luft. Wir wollen, um der Kürze willen für diesen Bruch den Buchstaben s setzen, so wird, wie oben gewiesen worden, die Elasticität dieser Luft dem Gewicht einer Luft-Säule gleichen, deren Höhe

$$= \beta h \left(s + \frac{ss}{6q} \right);$$

und da zur Acceleration dieser Luft eine Kraft erfordert wird

$$= \frac{122\lambda b(1-z)dv}{dx},$$

so ist die völlige zur Acceleration erforderte Kraft

$$= \frac{dv}{dx} \left(k + \frac{1}{2} nb \left(1 - \frac{\lambda}{a} \right) + 122\lambda b(1-z) \right),$$

welche der wirklichen Kraft weniger dem Gegendruck h und der Resistenz der Luft $\frac{1}{2}v$ gleich gesetzt, diese Aequation giebt

$$dv \left(k + \frac{1}{2} nb \left(1 - \frac{\lambda}{a} \right) + 122\lambda b(1-z) \right) = \beta h \left(s + \frac{ss}{6q} \right) dx - h dx - \frac{1}{2} v dx.$$



Um aber den Verlust z zu bestimmen, so wollen wir die Geschwindigkeit, mit welcher diese Luft durch das Zündloch cf heraus dringt, setzen $=Vu$. Indem also die Kugel durch dx fortgeht, so wird durch das Zündloch ein kleiner Cylinder heraus gehen, dessen Länge $= \frac{dxVu}{Vv}$ und dessen Dicke $= \frac{cc}{m}$. Und weil diese Luft s mahl dichter ist, als die natürliche, so wird dieser Verlust eine natürliche Luft-Säule austragen, deren Dicke $= cc$, und deren Höhe $= \frac{sdxVu}{mVv}$. Da nun dieses der Abgang ist von der in der Canone enthaltenen Luft $244\lambda b(1-z)$, so wird

$$244\lambda b dz = \frac{sdxVu}{mVv},$$

wovon das Integrale also genommen werden muß, daß dasselbe verschwinde, wenn $x = b$. Nun ist also noch übrig, die Geschwindigkeit Vu zu bestimmen, welche von der Gewalt der Zusammendrückung abhängt. Weil nun diese Gewalt dem Gewichte einer natürlichen Luft-Säule, so hoch $= \beta h(s + \frac{ss}{6q})$, gleich ist, so wird zu dieser Zusammendrückung eine Höhe von einer gleich dichten Luft, so $= \beta h(1 + \frac{s}{6q})$ erfordert, daher wird der Druck auf das Zündloch eben so groß seyn, als wenn sich darüber eine Säule von einerley Luft, welche s mahl dichter als die natürliche, befände, deren Höhe $= \beta h(1 + \frac{s}{6q})$. In diesem Fall aber würde die Luft durch das Zündloch mit einer Geschwindigkeit heraus getrieben werden, dergleichen ein fallender Körper aus dieser Höhe erlangt, und also wird seyn

$$u = \beta h(1 + \frac{s}{6q}).$$

Wir können alhier den Bruch $\frac{s}{6q}$ als sehr klein sicher weglassen, und bekommen also $u = \beta h$, und folglich

$$244\lambda b dz = \frac{sdxV\beta h}{mVv}.$$

Nun ist

$$s = \frac{244\alpha\lambda b(1-z)}{\alpha x + (\lambda - \alpha)b}$$

oder, da $\alpha > 1$ und $\lambda < 1$, vielmehr

$$s = \frac{244\alpha\lambda b(1-z)}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b}.$$

Wenn wir nun diesen Werth für s setzen, so kommt

$$\frac{dz}{1-z} = \frac{\alpha dx V\beta h}{m(\alpha x - (\alpha - \lambda)b)Vv}.$$

Wir haben aber schon vorher gefunden

$$dv(2\alpha k + nb(\alpha - \lambda) + 244\alpha\lambda b(1-z)) = 2\alpha\beta h dz(s + \frac{ss}{6q}) - 2\alpha h dx - \alpha v dx,$$

und wenn wir hier die drey letzten Terminos, als welche nicht nur sehr klein sind, sondern sich auch beynahe fast aufheben, weglassen, so haben wir

$$dv(2\alpha k + nb(\alpha - \lambda) + 244\alpha\lambda b(1-z)) = \frac{488\alpha^2\beta\lambda b h(1-z)}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} dx.$$

Die obige Aequation aber giebt

$$\frac{\alpha dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = \frac{m dz Vv}{(1-z)V\beta h}$$

und daher bekommen wir

$$dv(2\alpha k + nb(\alpha - \lambda) + 244\alpha\lambda b(1-z)) - 488m\alpha\lambda b dz V\beta h$$

oder

$$dz + \frac{z dv}{2mV\beta h v} = \frac{dv(2\alpha k + nb(\alpha - \lambda))}{488m\alpha\lambda b V\beta h v} + \frac{dv}{2mV\beta h v},$$

welche mit $e^{Vv:mV\beta h}$ multiplicirt, integrirt werden kann, da denn kömmt

$$e^{Vv:mV\beta h} z = \left(\frac{2\alpha k + nb(\alpha - \lambda)}{244m\alpha\lambda b} + \frac{1}{m} \right) \int e^{Vv:mV\beta h} \frac{dv}{2V\beta h v}$$

oder

$$e^{Vv:mV\beta h} z = \left(\frac{2\alpha k + nb(\alpha - \lambda)}{244\alpha\lambda b} + 1 \right) (e^{Vv:mV\beta h} - 1),$$

weil die Quantität z , welche den Verlust der fortreibenden Gewalt ausdrückt, verschwinden muß, wenn $v = 0$, als welches im ersten Augenblick geschieht. Hieraus bekommen wir

1) Das Glied $\frac{dv}{2mV\beta h v}$ fehlt im Original. F. R. S.



$$z = \frac{2ak + nb(\alpha - \lambda) + 244\alpha\lambda b}{244\alpha\lambda b} (1 - e^{-V^{\circ}:mV\beta h})$$

und

$$1 - z = \frac{(2ak + nb(\alpha - \lambda) + 244\alpha\lambda b)e^{-V^{\circ}:mV\beta h} - 2ak - nb(\alpha - \lambda)}{244\alpha\lambda b}$$

ferner

$$l(1 - z) = l\left(\left(1 + \frac{2ak + nb(\alpha - \lambda)}{244\alpha\lambda b}\right)e^{-V^{\circ}:mV\beta h} - \frac{2ak + nb(\alpha - \lambda)}{244\alpha\lambda b}\right).$$

Es sey

$$\frac{2ak + nb(\alpha - \lambda)}{244\alpha\lambda b} = \mu;$$

so ist

$$l(1 - z) = l((1 + \mu)e^{-V^{\circ}:mV\beta h} - \mu)$$

und also

$$\frac{dz}{1 - z} = \frac{(1 + \mu)e^{-V^{\circ}:mV\beta h} dv : 2mV\beta h v}{(1 + \mu)e^{-V^{\circ}:mV\beta h} - \mu}$$

oder

$$\frac{dz}{1 - z} = \frac{(1 + \mu)dv : 2mV\beta h v}{1 + \mu - \mu e^{V^{\circ}:mV\beta h}}$$

Da nun oben gefunden worden

$$\frac{\alpha dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = \frac{dz}{1 - z} \cdot \frac{mVv}{V\beta h},$$

so wird

$$\frac{2\alpha\beta h dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = \frac{(1 + \mu)dv}{1 + \mu - \mu e^{V^{\circ}:mV\beta h}}.$$

Weil aber m gemeinlich eine sehr grosse Zahl ist, so wird der Bruch $\frac{Vv}{mV\beta h}$ sehr klein, und folglich ziemlich genau

$$e^{V^{\circ}:mV\beta h} = 1 + \frac{Vv}{mV\beta h}.$$

Wenn man nun diesen Werth in der obigen Aequation anbringt, so wird

$$\frac{2\alpha\beta h dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = \frac{m(1 + \mu)dv V\beta h}{mV\beta h - \mu Vv},$$

oder da

$$\frac{mV\beta h}{mV\beta h - \mu Vv} = 1 + \frac{\mu Vv}{mV\beta h},$$

so bekommt man

$$\frac{2\alpha\beta h dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = (1 + \mu)dv + \frac{\mu(1 + \mu)dv Vv}{mV\beta h}.$$

Woraus man durch die Integration erhält

$$2\beta h l \frac{\alpha x - (\alpha - \lambda)b}{\lambda b} = (1 + \mu)v + \frac{2\mu(1 + \mu)v Vv}{3mV\beta h}.$$

Solte aber durch das Zündloch nichts von der Gewalt des Pulvers verloren gehen, so würde man haben

$$(1 + \mu)v = 2\beta h l \frac{\alpha x - (\alpha - \lambda)b}{\lambda b},$$

woraus erhellet, daß in dem gegenwärtigen Fall die Geschwindigkeit vermindert wird. Um nun zu finden, wie viel diese Verminderung austrägt, so wollen wir setzen, daß wenn dieser Verlust nicht da wäre, die Geschwindigkeit der Kugel seyn würde $= Vu$; wenn aber der Verlust durch das Zündloch da ist, so sey die Geschwindigkeit der Kugel $= Vv$; und hieraus entspringt diese Aequation:

$$u = v + \frac{2\mu v Vv}{2mV\beta h}$$

und daraus ferner durch die Näherung

$$v = u - \frac{2\mu u Vu}{3mV\beta h} \quad \text{und} \quad Vv = Vu - \frac{\mu u}{3mV\beta h}.$$

Folglich wird sich verhalten

$$Vv : Vu = 1 - \frac{\mu Vu}{3mV\beta h} : 1.$$

Wenn nun Vu durch die Anzahl der Schuhe ausgedrückt wird, welche die Kugel in einer Secunde durchzulaufen vermögend ist, so wird $V\beta h = 2700$ Schuhe, und also

$$Vv : Vu = 1 - \frac{\mu Vu}{8100m} : 1;$$

es ist aber

$$\mu = \frac{2ak + nb(\alpha - \lambda)}{244\alpha\lambda b}.$$



Wenn also die Kugel ohne diesen Verlust mit einer Geschwindigkeit von 1700 Schuhen in einer Secunde heraus getrieben würde, so müste dieser Umstand einen Verlust von $\frac{17\mu}{81m} \cdot 1700$ Schuh in einer Secunde austragen. In dem obigen Exempel, da

$$b = 2,625, \quad k = 4900, \quad n = 1000, \quad \alpha = \frac{3}{2} \quad \text{und} \quad \lambda = \frac{9}{10},$$

wird

$$\mu = 18,82^1),$$

und daher beträgt der Verlust

$$\frac{319,6}{81m} \cdot 1700^2), \quad \text{das ist} \quad \frac{6714}{m}^3) \text{ Schuh.}$$

Sollte nun die Weite des Zündlochs den hundertsten Theil der Weite der Canone austragen, so würde dieser Verlust 67⁴⁾ Schuh in einer Secunde ausmachen: und also die Kugel an statt 1700 nur 1633⁵⁾ Schuh in einer Secunde durchlaufen. Hierbey ist aber zu merken, daß unsere für den Verlust gefundene Expression allzu groß ist, indem wir in der obigen Integration einige Terminos weggelaßen, welche diesen Verlust vermindert haben würden; und dieser Fehler wird um so viel grösser seyn, je grösser das Zündloch, oder je kleiner die Zahl m ist; denn die gebrauchte Näherung gilt nur, wenn m eine sehr große Zahl bedeutet. Dieses erhellet auch ganz deutlich aus dem Verlust $\frac{6714}{m}^3)$; denn wenn zum Exempel m nur 3 wäre, so müste der Verlust 2238⁶⁾ Schuh in einer Secunde austragen. Da nun die ganze Geschwindigkeit nur bey 1700 Schuhen ist, so siehet man wohl, daß sich der Verlust auf weit weniger als 1700 Schuh belaufen müsse: folglich ist klar, daß wenn m keine sehr grosse Zahl ist, der auf diese Art gefundene Verlust immer um ein merkliches zu groß seyn müsse. Dahero wenn in dem Exempel $m = 100$ gesetzt worden, so ist die Verminderung der Geschwindigkeit gewiß viel kleiner, als 67⁴⁾ Schuh. Hernach ist auch der herausgebrachte Verlust aus diesem Grunde zu groß, weil wir angenommen haben, daß durch das Zündloch nur allein die zusammen gepreßte Luft heraus fahre, da doch außer Zweifel auch etwas von der gröbern Materie zugleich mit heraus geht, folglich wird die fortreibende Kraft nicht um so viel vermindert, als in der Rechnung angenommen worden. Denn außer dem, daß die fortreibende Gewalt dadurch keinen so großen Abgang

1) Im Original 17. 2) Im Original $\frac{289}{81m} \cdot 1700$. 3) Im Original $\frac{6065}{m}$. 4) Im Original 60.
5) Im Original 1640. 6) Im Original 2000. Berichtigt von F. R. S.

leidet, so wird dadurch auch die gröbere Materie vermindert, welche sonst mit der Kugel fortgestossen werden müßte. Diesem letzten Mangel kann nun in der gefundenen Formel leicht abgeholfen werden, wenn man das Zündloch um etwas kleiner ansetzt, als solches in der That ist; wobey zu merken, daß wir hier unter dem Zündloch zugleich die Oefnung des Spielraums mit begreifen. Um aber den ersten Fehler zu heben, welches nöthig ist, wenn m keine sehr große Zahl ist, so muß man den Werth von $e^{\frac{1}{2}\mu \cdot m \sqrt{\beta h}}$ näher ausdrücken, und da bekommt man dafür

$$1 + \frac{Yv}{m\sqrt{\beta h}} + \frac{v}{2m^2\beta h} + \frac{vYv}{6m^3\beta h\sqrt{\beta h}} + \text{etc.}$$

und also

$$\frac{2\alpha\beta h dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = \frac{(1 + \mu)dv}{1 - \frac{\mu Yv}{m\sqrt{\beta h}} - \frac{\mu v}{2m^2\beta h} - \frac{\mu v Yv}{6m^3\beta h\sqrt{\beta h}} - \text{etc.}}$$

oder den Bruch weggebracht

$$\frac{2\alpha\beta h dx}{\alpha x - (\alpha - \lambda)b} = (1 + \mu)dv \left(1 + \frac{\mu Yv}{m\sqrt{\beta h}} + \frac{(\mu^2 + \frac{1}{2}\mu)v}{m^2\beta h} + \frac{(\mu^3 + \mu^2 + \frac{1}{6}\mu)v Yv}{m^3\beta h\sqrt{\beta h}} \right).$$

Setzt man nun $\sqrt{u}$ für die Geschwindigkeit, welche die Kugel erhalten würde, wenn nichts von der fortreibenden Gewalt verlohren gieng, so wird

$$u = v + \frac{2\mu v Yv}{3m\sqrt{\beta h}} + \frac{(2\mu^2 + \mu)v^2}{4m^2\beta h} + \frac{(6\mu^3 + 6\mu^2 + \mu)v^2 Yv}{15m^3\beta h\sqrt{\beta h}}$$

und diese Aequation umgekehrt giebt

$$\sqrt{v} = \sqrt{u} - \frac{\mu u}{3m\sqrt{\beta h}} + \left(\frac{1}{36}\mu^2 - \frac{1}{8}\mu \right) \cdot \frac{u\sqrt{u}}{m^2\beta h} + \left(\frac{1}{270}\mu^3 + \frac{1}{20}\mu^2 - \frac{1}{36}\mu \right) \cdot \frac{uu}{m^3\beta h\sqrt{\beta h}}.$$

Weil nun $\sqrt{\beta h}$ eine Geschwindigkeit von 2700 Schuhen ausdrückt, wenn $\sqrt{u}$ gleichfalls in Schuhen genommen, und der Bruch $\frac{\sqrt{u}}{m\sqrt{\beta h}}$ Kürze halber $= r$ genennet wird: so findet man

$$\frac{\sqrt{v}}{\sqrt{u}} = 1 - \frac{1}{3}\mu r + \left(\frac{1}{36}\mu^2 - \frac{1}{8}\mu \right) r^2 + \left(\frac{1}{270}\mu^3 + \frac{1}{20}\mu^2 - \frac{\mu}{30} \right) r^3.$$

Da nun in obigem Exempel $\mu = 18,82^1)$ und $r = \frac{17}{27m}$, so wird

$$\frac{\sqrt{v}}{\sqrt{u}} = 1 - 3,950 \cdot \frac{1}{m} + 2,968 \cdot \frac{1}{m^2} + 10,427 \cdot \frac{1}{m^3}.)$$

1) Im Original 17. 2) Im Original: $\frac{\sqrt{v}}{\sqrt{u}} = 1 - 3,568 \cdot \frac{1}{m} + 2,340 \cdot \frac{1}{m^2} + 8,007 \cdot \frac{1}{m^3}.$

Berichtigt von F. R. S.



Diese Formel dienet nun, wenn m keine sehr große Zahl ist, als etwan unter 60. Denn wenn $m=60$, so giebt der dritte Terminus $2,968 \cdot \frac{1}{m^2}$ mit $Vu=1700$ multipliciret nur $1,4^2$ Schuh. Es sey zum Exempel $m=10$, oder das Zündloch, nebst der Oefnung des Spielraums, betrage den zehnten Theil der gantzen Mündung, so wird $\frac{V_o}{V_u} = 0,64511^3$ und der Verlust an der Geschwindigkeit beträgt 603^4 Schuh, dergestalt, daß die Kugel nur eine Geschwindigkeit von 1097^5 Schuh in einer Secunde erhält. Uebrigens ist hier noch zu bemerken, daß, da $\mu = \frac{2ak + nb(a-k)}{244ab}$, der Abgang an der Geschwindigkeit um so viel grösser werde, je schweher die Kugel, oder je grösser k ist, und hieraus können wir einen von den stärksten Gründen, welche der Verfasser zu Behauptung seiner Meynung, daß sich alles Pulver im ersten Augenblick auf einmahl entzünde, anführet, hinlänglich widerlegen. Denn derselbe sagt, daß, wenn sich nicht alles Pulver auf einmahl entzündete, zwey oder drey Kugeln, welche zugleich geladen werden, nach Proportion eine grössere Geschwindigkeit erhalten müßten, als nur eine, indem dieselben länger im Lauf blieben, und also eine stärkere Gewalt aushielten. Dem ungeachtet aber habe er niemahls finden können, daß solches durch seine Experimente wäre bestätigt worden. Und in der That würde dieser Schluß seine völlige Richtigkeit haben, und die Meynung des Autoris bekräftigen, wenn dieser wegen des Zündlochs hier erklärte Umstand nicht vorhanden wäre. Denn da aus diesem Grunde eine schwerere Kugel einen stärkern Abgang leidet, als eine leichtere, aus dem vorigen Grunde aber das Wiederspiel folget: so kann es leicht geschehen, daß diese zwey widerwärtigen Wirkungen entweder einander völlig aufheben, oder doch so nahe, daß der Unterschied in der Erfahrung nicht bemerkt werden kan.

Wenn man nun alle diese Anmerkungen zusammen nimmt, so wird man in einem jeglichen vorkommenden Fall nicht nur die Ursachen von allen Umständen anzeigen, sondern auch zum voraus die Geschwindigkeit der Kugel durch die Rechnung bestimmen können.

1) Im Original $2,340 \cdot \frac{1}{m^2}$. 2) Im Original 1. 3) Im Original 0,67461.
4) Im Original 553. 5) Im Original 1147. Berichtigt von F. R. S.

ZWÖLFTER SATZ

Die Gewalt zu untersuchen, mit welcher eine Kugel, so von der Ladung merklich entfernt ist, fortgetrieben wird.

Wir haben in verschiedenen von den oben angeführten Experimenten die Kugel nicht unmittelbar vor das Pulver, sondern in einer geringen Entfernung von demselben gesetzt, inzwischen hat doch der ledige Raum zwischen der Ladung und der Kugel immer über anderthalb Zoll betragen: und in diesem Fall haben wir gesehen, daß unsere Theorie noch ziemlich genau mit den Experimenten übereingestimmt. Wenn aber die Kugel noch weiter von dem Pulver, als in einer Entfernung von 12, 18 oder 24 Zoll geladen wird, so finden diejenigen Gründe nicht mehr statt, welche wir oben in dem 7ten Satz, da die Kugel entweder unmittelbar vor das Pulver, oder nicht weit davon, gesetzt worden, gebraucht haben. Denn wir haben in dem vorhergehenden Satze gesehen, daß wenn sich nicht unmittelbar vor dem Pulver ein schwerer Körper befindet, die Flamme sich alsdenn mit einer weit grösseren Geschwindigkeit ausbreite, als dieselbe immer einer Kugel einzudrücken vermögend ist. Da nun das Pulver, indem sich dasselbe durch einen ledigen Raum von 12, 18 oder 24 Zoll ausbreitet, einen sehr beträchtlichen Grad von dieser Geschwindigkeit erhält, so wird die erste Bewegung der Kugel nicht allein von der druckenden Kraft des Pulvers, sondern auch von dem wirklichen Stoß desselben verursacht: und dahero wird der Kugel in dem ersten Augenblick ein weit grösserer Grad der Bewegung eingedruckt, welcher so wohl aus der Gewalt des Stosses, als aus der Ausdehnungs-Kraft des Pulvers, bestimmt werden muß.

Hieraus folget nun, daß die Geschwindigkeit der Kugel, wenn dieselbe ziemlich weit von dem Pulver geladen worden, weit grösser seyn müsse, als diejenige, welche oben in dem siebenten Satze aus der Ausdehnungs-Kraft des Pulvers allein heraus gebracht worden. Wir haben auch diese der Theorie gemäße Vermehrung der Geschwindigkeit der Kugel durch vielerley Versuche bestätigt. Auf diese Art haben wir gefunden, daß eine Kugel, welche in dem mit dem Buchstaben A bezeichneten Lauf $11\frac{1}{4}$ Zoll weit von dem Boden geladen, und mit 12 Drachm. Pulver heraus geschossen worden, eine Geschwindigkeit von 1400 Schuhen in einer Secunde erhalten; da dieselbe doch, wenn sie von der blossen Ausdehnungs-Kraft des Pulvers wäre in Bewegung gesetzt



worden, nur eine Geschwindigkeit von 1200 Schuhen in einer Secunde erlangt haben würde. Eben diesen Umstand haben wir auch in allen andern grösseren Entfernungen (und auch in kleinern, obgleich nicht auf denselben Grad) und mit allen Ladungen der Wahrheit gemäß befunden. Alle diese Wirkungen kommen auch ziemlich genau mit demjenigen überein, was wir in dem vorigen Satz über die Geschwindigkeit der Ausdehnung so wohl der subtilen als der gröbern Theile der Flamme ausgeführt haben.

Hieraus fliesst noch eine andere Betrachtung von sehr großer Wichtigkeit im Gebrauch der Artillerie, welche darinne bestehet, daß man nimmer eine Kugel auf eine merkliche Distanz vor das Pulver laden soll, wenn der Lauf nicht über die maßen stark und fest ist. Denn, wenn eine mäßige Ladung Pulver sich schon durch den ledigen Raum ausgebreitet, und alsdenn erst die Kugel erreicht: so muß sich die Flamme durch die schon erhaltene Geschwindigkeit hinter der Kugel aufhäufen, und dadurch einen weit grössern Grad der Dichtigkeit erhalten; dahero der Lauf, wenn derselbe an diesem Ort keine außerordentliche Stärke hat, von dieser verstärkten Kraft des Pulvers unfehlbar zerspringen wird. Ich habe auch die Wahrheit dieses Schlußes an einer herrlichen und aus zähem Eisen geschmiedeten Mußkete erfahren. Denn als ich dieselbe mit 12 Drachm. Pulver geladen, und die Kugel 16 Zoll weit vom Boden hinein gesetzt hatte, so ist dieser Lauf nach dem Schuß just hinter der Kugel fast zweymahl so dicke aufgeschwollen, und hat daselbst eine Gestalt, als eine aufgeblasene Blatter, bekommen; über dieses waren auch zwey grosse Stücke ungefehr zwey Zoll lang daraus gesprungen.

Da nun die ganze Bewegung einer Kugel, welche ziemlich weit vor das Pulver geladen worden, von zweyerley Kräften, welche darauf wirken, herkommt: nemlich erstlich von dem Stoß der Theile des entzündeten Pulvers, dessen Stärke auf der Geschwindigkeit, welche diese Theile durch die Ausdehnung schon wirklich erhalten haben, beruhet, und denn zweytens von der fortwährenden Kraft der Ausdehnung, womit die Kugel durch die übrige Länge des Laufs fortgetrieben wird; so war ich bemühet, diese zwey verschiedenen Wirkungen von einander abzusondern, und nur die letztere bezubehalten, welche von dem fortwährenden Druck der Flamme herrühret. Zu diesem Ende trieb ich das Pulver nicht mehr auf dem Boden des Laufs zusammen, sondern um die Wirkung des Stosses zu verhüten, so zerstreute ich dasselbe durch den ganzen Raum hinter der Kugel so gleichförmig, als mir möglich war, und bildete mir ein, daß durch dieses Mittel die Geschwindigkeit der Flamme an einem jeglichen Ort durch die Ausdehnung der umliegenden Theile gehemmet

werden würde. Nachdem ich nun die Ladung auf diese Art eingerichtet, so fand ich, daß die Kugel, welche $11\frac{1}{4}$ Zoll weit von dem Boden gesetzt worden, an statt der Geschwindigkeit von 1400 Schuhen in einer Secunde, welche in dem vorhergehenden Experiment heraus gekommen, anjetzo nur eine Geschwindigkeit von 1100 Schuhen bekommen, welche um 100 Schuh kleiner ist, als nach unserer Theorie aus der fortwährenden Druckung des Pulvers allein gefunden wird.

Die Ursache dieses Abgangs war nun außer Zweifel die innere Bewegung der Flamme. Denn aus der Entzündung des Pulvers, welches durch einen weit grössern Raum, als dasselbe anzufüllen vermögend war, zerstreuet gewesen, musten nothwendig mancherley verschiedene Stösse und Zurückprallungen der Flamme entstehen; und durch diese innerliche Bewegungen der subtilen flüßigen Materie muste notwendig der Druck auf die innern Wände, und folglich auch auf die Kugel, wie bey allen andern flüßigen Materien in diesem Fall zu geschehen pflegt, sehr merklich vermindert werden. Um nun diese Ungleichheit der Gewalt zu vermeiden, so habe ich nachgehends in allen Experimenten, welche ich gemacht, das Pulver immer so nahe, als möglich gewesen, sorgfältig zusammen gestossen, wenn auch die Kugel in einer kleinen Entfernung von demselben gesetzt worden.

ANMERKUNG

Die Untersuchung, wovon in diesem Satz gehandelt wird, ist eine von den schweresten Materien, welche immer in der Lehre von der Bewegung flüßiger Körper vorkommen können; und wenn dieser Satz nach aller Schärfe ausgeführt werden sollte, so würden noch zur Zeit weder die bekannten Vortheile der Auflösungskunst, noch die Grundsätze der Wissenschaft selbst, wohin diese Untersuchung gehöret, hinreichend seyn, alle dabey vorkommenden Schwierigkeiten zu überwinden. Es wird nemlich hier der Fall betrachtet, wenn die Kugel nicht unmittelbar auf das Pulver geladen, sondern ein merklicher Raum zwischen dem Pulver und der Kugel ledig gelassen wird. Wenn nun dieser Raum völlig leer wäre und sich darinne auch so gar keine Luft befände, so würde sich gleich nach der Entzündung die dadurch befreyte zusammen gepreßte Luft nach der im vorigen Satze beschriebenen Art so lange gantz frey ausdehnen, biß die vördersten Theile derselben die Kugel erreichten. Und in



diesem Fall würde es so schwehr nicht seyn, so wohl die Ausdehnungs-Kraft der zusammen gedruckten Luft, in dem Augenblick, da dieselbe auf die Kugel zu wirken anfängt, als auch die Geschwindigkeit aller Theile derselben nach den bißher erklärten Regeln zu bestimmen. Und da alsdenn auf die Kugel eine doppelte Gewalt wücket, wovon die erste in der Ausdehnungs-Kraft der zusammengedruckten Luft besteht, und die Kugel so lange fortstößt, biß dieselbe gänzlich zum Lauf hinaus getrieben worden, die andere aber aus der Gewalt des Stoßes entspringt, und gleichsam nur einen Augenblick ihre Kraft auf die Kugel ausübet: so könnte auch noch die Würkung der ersten Kraft nach den hier angeführten Grundsätzen bestimmt werden, wie solches denn auch oben wirklich geschehen ist. Allein es finden sich bey Bestimmung der andern Würkung um so viel grössere Schwierigkeiten, welche noch zur Zeit nicht wohl aus dem Wege geräumt werden können. Diese Sache scheint zwar in die Lehre von der Mittheilung der Bewegung, so durch den Stoß geschieht, zu laufen, und folglich, da diese Lehre schon genugsam ausgeführt ist, keinen so grossen Hindernissen unterworfen zu seyn; allein da in diesem Falle so wohl die Schwere, als die Geschwindigkeit des anstossenden Körpers bekannt sein muß, so sieht man leicht, daß in den gegenwärtigen Aufgaben diese beyden Stücke gänzlich ungewiß sind. Denn weil hier die sich ausdehnende Luft den anstossenden Körper ausmacht, so kann weder das ganze Wesen derselben für die Schwere des anstossenden Körpers, noch die Geschwindigkeit der vordersten Theilchen für die Geschwindigkeit desselben angenommen werden. Um dieses deutlicher zu machen, so darf man nur betrachten, daß, so bald die vordersten Theilchen der zusammen gepreßten Luft auf die Kugel stossen, die hintern nur in so ferne zugleich mit wirken, als die Bewegung derselben gehemmet wird. Da nun dieselben ihre Bewegung noch einiger maßen fortsetzen können, so ist es eben so viel, als wenn ein Theil derselben gar nicht zu dem Wesen des anstossenden Körpers gehörte. Wie groß aber dieser Theil sey, ist eben dasjenige, worinn die größte Schwierigkeit besteht. Inzwischen scheint es doch, daß man von der Wahrheit nicht allzusehr abweiche, wenn man die Helfte, oder ein Drittel für diesen gesuchten Theil annimmt. Wenn wir demnach setzen, daß (Fig. 9) die Kugel anfänglich in ZZ gesetzt worden, und die Ladung den Raum AC erfüllet habe, so nenne man $AC = b$, $AZ = f$: so wird das Gewicht der Ladung ungefehr einer natürlichen Luft-Säule gleichen, deren Höhe $= 1000b$; wenn wir nemlich annehmen, daß das Pulver 1000 mal schwehrr ist, als die Luft, und hiervon wird also die Helfte an die Kugel stossen, deren Gewicht durch eine Luft-Säule, welcher

Höhe $= k$, ausgedrückt worden. Indem sich aber nach der Entzündung die Flamme biß ZZ ausbreitet, so wird dieselbe, wie aus dem vorhergehenden¹⁾ erhellet, eine Geschwindigkeit bekommen, welche aus der Höhe

$$= \frac{2\alpha}{n(\alpha-\lambda) + 244\alpha\lambda} \cdot 244\beta\lambda h l^{\frac{\alpha f - (\alpha-\lambda)b}{\lambda b}}$$

herkömmt, wo $\alpha = \frac{3}{2}$, $n = 1000$, $244\beta = 1000$ und λ den entzündeten Theil des Pulvers bedeutet, wofür wir annehmen wollen $\lambda = \frac{9}{10}$; aber h ist die Höhe einer natürlichen Luft-Säule, deren Gewicht der Elasticität der natürlichen Luft gleich ist. Dahero wird die obige Höhe, wodurch die Geschwindigkeit der Flamme in Z ausgedrückt wird, seyn

$$= \frac{90}{31} h l^{\frac{5f-2b}{3b}}$$

und folglich die Geschwindigkeit selbst

$$= \sqrt{\frac{90}{31} h l^{\frac{5f-2b}{3b}}}$$

Da nun die Kugel anfänglich stille gestanden, so muß man nach den bekannten Regeln diese Vergleichung anstellen: Wie sich verhält die Summa der beyden Körper $500b + k$ zu dem anstossenden $500b$, also verhält sich die Geschwindigkeit des anstossenden Körpers $\sqrt{\frac{90}{31} h l^{\frac{5f-2b}{3b}}}$ zur Geschwindigkeit beyder nach dem Stoß; dahero die Geschwindigkeit der Kugel nach dem Stoß seyn wird

$$= \frac{500b}{k + 500b} \sqrt{\frac{90}{31} h l^{\frac{5f-2b}{3b}}}$$

Wenn man von der Materie des Pulvers einen kleineren Theil als die Helfte genommen hätte, so müßte man auch für $500b$ eine kleinere Zahl setzen. Wollen wir dafür $310b$ annehmen, so giebt $k + 310b$ eben denjenigen Nenner $\alpha(2k + nb) - (n - 244\alpha)\lambda b$, welcher oben in der VIIten Anmerkung zum vorigen Satz gefunden worden, und eben diese Uebereinstimmung scheint auch eine starke Probe zu seyn, dass diese Zahl $310b$ den richtigen Theil an-

1) Nach p. 202, indem man dort $k \rightarrow 0$ setzt, weil die Pulvergase erst für $x = f$ an die Kugel anstoßen. F. R. S.



zeigt. Demnach bekommen wir für die Höhe, welche die Geschwindigkeit der Kugel ausdrückt, diese Expression:

$$\frac{310 \cdot 900 b^2 h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b} = \frac{279000 b^2 h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b}.$$

Wenn aber die Kugel anfänglich unmittelbar vor das Pulver wäre gesetzt worden, so würde dieselbe, nach dem sie biß in ZZ fortgestossen worden, eine Geschwindigkeit erhalten haben, welche aus dieser Höhe

$$= \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5f-2b}{3b}$$

entsteht; folglich wird sich diese Geschwindigkeit zu jener verhalten, wie 1 zu $\sqrt{\frac{310b}{k+310b}}$: und also wird die der Kugel durch den Stoß mitgetheilte Geschwindigkeit weit kleiner seyn, als diejenige, welche sie in Z erlangt haben würde, wenn sie unmittelbar vor das Pulver wäre geladen worden. Wenn nun diese durch den Stoß erlangte Geschwindigkeit richtig ist, so wird es leicht seyn, die folgende Vermehrung derselben durch die Ausdehnungskraft zu bestimmen. Wir dürfen zu diesem Ende nur die oben gefundene Aequation nehmen, welche, nachdem man die kleinen Terminos weggelassen, und für die Buchstaben α , λ , β und n die gehörigen Werthe gesetzt, also beschaffen ist

$$v = \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5x-2b}{3b},$$

und dazu noch eine unveränderliche Quantität setzen, welche so beschaffen seyn muß, daß, wenn man $x=f$ setzt, die Höhe v in

$$\frac{279000 b h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b}$$

verwandelt werde. Es bedeute also v die für die Geschwindigkeit der Kugel gebührende Höhe, nachdem die Kugel biß in MM , da $AM=x$, fortgestossen worden, und da wird man eine solche Aequation haben

$$v = \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5x-2b}{3b} + C.$$

Um nun die Quantität C zu bestimmen, so setze man

$$x=f \text{ und } v = \frac{279000 b h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b},$$

da wird

$$\frac{279000 b h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b} = \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5f-2b}{3b} + C$$

und also

$$C = \frac{-900 b h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b}.$$

Folglich wird man erhalten

$$v = \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5x-2b}{3b} - \frac{900 b h}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b}.$$

Wenn aber die Kugel in ZZ keinen Stoß bekommen hätte, sondern bloß allein von der Ausdehnungskraft wäre fort getrieben worden, so würde

$$C = \frac{-900 b h}{k+310b} l \frac{5f-2b}{3b}.$$

und also

$$v = \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5x-2b}{3b} - \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5f-2b}{3b}.$$

Wenn aber die Kugel anfänglich unmittelbar vor das Pulver wäre geladen worden, so würde heraus kommen

$$v = \frac{900 b h}{k+310b} l \frac{5x-2b}{3b}.$$

Wenn wir nun für x die Länge des ganzen Laufs a , und für das von dem Autore angeführte Exempel setzen

$$a=45, \quad b=2,625, \quad f=11,25, \quad k=4900 \quad \text{und} \quad lh=7,463893,$$

so können wir die dreyerley Geschwindigkeiten folgender Gestalt bestimmen:

$$\frac{900b}{k+310b} = \frac{236250}{571375} \quad , \quad \frac{900bk}{(k+310b)^2} = \frac{490000}{571375} \cdot \frac{236250}{571375} \quad)$$

oder

$$1) \text{ Im Original } \frac{236350}{571375} \quad 2) \text{ Im Original } \frac{490000}{571375} \cdot \frac{236260}{571375} \quad \text{Berichtigt von F. R. S.}$$



$$\frac{900b}{k+310b} = 0,41348^1)$$

$$\frac{900bk}{(k+310b)^2} = 0,35459$$

und

$$\frac{5x-2b}{3b} = 27,905, \quad \frac{5f-2b}{3b} = 6,476^2),$$

folglich

$$l 27,905 = 1,445682$$

$$l 6,476 = 0,811307^3)$$

$$l 1,445682 = 0,160073$$

$$l 0,811307 = 9,909185^4).$$

Man addiere $0,362216^5)$, so kommt

$$ll \frac{5x-2b}{3b} = 0,522289^6)$$

$$ll \frac{5f-2b}{3b} = 0,271401^7);$$

so bekommt man

$$\frac{900b}{k+310b} l \frac{5x-2b}{3b} = 1,37639$$

$$\frac{900b}{k+310b} l \frac{5f-2b}{3b} = 0,77243^8)$$

$$\frac{900bk}{(k+310b)^2} l \frac{5f-2b}{3b} = 0,66242^9).$$

Wenn also die Kugel anfänglich unmittelbar vor das Pulver geladen wird, so wird $v = 1,37639h$, und die Geschwindigkeit beträgt in einer Secunde 1582 Schuh. Wird aber die Kugel anfänglich in ZZ gesetzt, und das Pulver durch den Raum AZ also zerstreuet, daß die Kugel keinen Stoß leidet, so wird $v = 0,60395h^{10)}$ und diese Geschwindigkeit beträgt 1048¹¹⁾ Schuh in einer Secunde. Wenn aber die Kugel in ZZ zugleich den Stoß von dem Pulver erhält, so wird $v = 0,71396h^{12)}$ und diese Geschwindigkeit beträgt 1140¹³⁾ Schuh in einer Secunde.

1) Im Original 0,41438. 2) Im Original 6,375. 3) Im Original $l 6,375 = 0,804470$.
 4) Im Original 10,80448 = 9,905515. 5) Im Original 0,362215. 6) Im Original 0,522288.
 7) Im Original 0,267730. 8) Im Original 0,76592. 9) Im Original 0,65683. 10) Im
 Original 0,61046h. 11) Im Original 1054. 12) Im Original 0,71955h. 13) Im
 Original 1144. Berichtigt von F. R. S.

Es ist aber zu merken, daß die Formel, aus welcher diese Geschwindigkeiten bestimmt worden, etwas zu klein ist, daher die gefundenen Zahlen noch um etwas vermehret werden müssen. Dem ungeachtet aber ist klar, daß die Geschwindigkeit der Kugel im letzten Fall, da dieselbe anfänglich durch den Stoß des Pulvers in Bewegung gesetzt worden, weit kleiner ist, als die Erfahrung ausgewiesen. Wenn wir aber auf die dabey vorgefallenen Umstände Acht haben, so sieht man leicht, daß sich die subtile Materie bey dem Stoß hinter der Kugel sehr stark müsse gehäuffet, und also eine weit grössere Elasticität bekommen haben, wodurch folglich der Kugel auch ein weit grösserer Grad der Geschwindigkeit eingedruckt worden. Was aber die Aufschwellung und Zersprengung des Laufs anlangt, so ist die Ursache davon leicht einzusehen. Denn da der Kugel gleichsam in einem Augenblick ein ziemlicher Grad der Geschwindigkeit durch den Stoß eingedruckt wird, so ist klar, daß eine druckende Kraft, welche in eben dieser kurzen Zeit der Kugel eben diesen Grad der Geschwindigkeit einzudrücken vermögend wäre, erstaunlich groß seyn müsse; und es dürfte vielleicht eine 10 mahl stärkere Kraft, als die ausdehnende Gewalt des Pulvers allein auf die Kugel auszuüben pflegt, nicht hinlänglich seyn, eine solche Wirkung hervorzubringen. Da nun eine Canone oder ein Mußketen-Lauf an einem jeglichen Ort nur so stark gemacht zu werden pflegt, als zu Aushaltung der ordentlichen Ausdehnungs-Kraft des Pulvers erfordert wird, so hat man sich nicht zu verwundern, wenn von diesem grossen Zuwachs der Gewalt ein gewöhnlicher Lauf zerspringet oder auseinander gedehnet wird, wie in dem von dem Autore angeführten Exempel geschehen ist.

Wenn die Kugel diesen Stoß nicht bekommen hätte, so würde dieselbe nach unserer Rechnung eine Geschwindigkeit von 1048¹⁾ Rheinl. Schuhen in einer Secunde erhalten, welche in Englischen Schuhen 1080²⁾ beträgt, und folglich mit 1100, so durch die Experimente heraus gekommen, um so viel mehr genau überein trifft, da die Formel, welche hier gebraucht worden, etwas zu klein ist. Wenn also der Autor für diesen Fall eine Geschwindigkeit von 1200 Schuhen heraus bringt, so muß entweder in seine Rechnung ein Fehler eingeschlichen seyn, oder die Ursache davon steckt, welches wahrscheinlicher ist, in der Unrichtigkeit der Theorie des Autoris selbst; indem er nicht auf die Kraft gesehen, welche zu Forttreibung der Flamme erfordert wird. Da sich nun die Sache also verhält, so fällt auch seine Erklärung, wodurch er

1) Im Original 1054. 2) Im Original 1086. Berichtigt von F. R. S.



die Verminderung der Geschwindigkeit der Kugel in diesem Fall erklären will, weg; als welche außer diesem auch so beschaffen ist, daß daraus die Wirkung, welche der Autor angiebt, nicht folgen kann. Denn ungeachtet dieser Satz unstreitig wahr ist, daß die ausdehnende Kraft einer flüssigen elastischen Materie geringer wird, wenn sich darinne eine innerliche Bewegung unter den Theilen derselben befindet, so ist doch leicht zu erachten, daß diese innerliche Bewegung in der Flamme, wenn das Pulver durch den gantzen Raum hinter der Kugel zerstreuet worden, alsobald aufhören müsse, wenn dieselbe auf die Kugel zu wirken anfängt.

Wir haben aber in demjenigen, was wir vorher von der Bewegung der Kugel, wenn dieselbe nicht unmittelbar auf das Pulver geladen wird, ausgeführt haben, angenommen, daß der Raum zwischen dem Pulver und der Kugel völlig leer sey. Da sich nun darinn eine natürliche Luft befindet, so entsteht daher in den gemachten Schläßen eine geringe Veränderung. Denn, so bald sich nach der Entzündung die Flamme auszubreiten anfängt, so wird die zwischen dem Pulver und der Kugel befindliche Luft zusammen gedrückt, und bekommt folglich eine Kraft die Kugel fortzustossen, dergestalt, daß die Kugel wirklich in Bewegung gesetzt wird, ehe die Flamme dieselbe unmittelbar erreicht und darauf den Stoß ausübet. Und in diesem Umstande scheint die Ursache grösten theils zu stecken, daß die Kugel eine schnellere Bewegung erhält, als durch die obige Rechnung gefunden worden.

DREYZEHENTER SATZ

Die verschiedenen Gattungen von Pulver herzuzehlen, und den sichersten Weg anzuzeigen, um die Güte desselben zu erforschen.

Das Pulver, welches wir bisher betrachtet haben, war von derjenigen Art, welches zum Dienst der Regierung bereitet zu werden pflegt. Außer demselben aber giebt es noch mancherley andere Arten, davon einige besser, andere schlechter sind, von welchen ich mir vorgenommen habe einige Nachricht zu ertheilen, in so fern ich dieselben zu untersuchen im Stande gewesen bin.

Ich muß aber erstlich zum voraus erinnern, daß das Pulver der Regierung, wenn dasselbe wohl zubereitet worden, meines Bedünkens so gut ist, als immer ein Pulver, so zum allgemeinen Gebrauch verfertigt wird, seyn kan. Ich habe dasselbe mit grosser Sorgfalt untersucht, und mit andern Arten von Pulver, welche hier in Engelland gemacht, und für die besten gehalten werden, dergleichen sind das Bataille-Pulver und andere, in Vergleichung gezogen, und ich konnte keinen merklichen Unterschied dazwischen wahrnehmen. Ich habe dasselbe auch durch vielerley Versuche mit einem gewissen Spanischen Pulver, so von St. Jago kommt, verglichen. Und ob ich gleich, wenn ich meine Meynung davon sagen soll, das Spanische Pulver besser befunden: so beträgt doch der Unterscheid nur etwa den funfzigsten oder sechzigsten Theil, und ist demnach allzu klein, als daß man davon mit einer völligen Gewißheit versichert seyn könnte. Wenn ich auch andere Experimente gegen die meinigen halte, so finde ich, daß das Französische Pulver sehr wenig von dem unsrigen unterschieden ist: ungeachtet ich hierüber nicht so gewiß seyn kan, als ich wünschte, indem ich nimmer etwas von diesem Pulver habe bekommen können. Ich muß aber hierbey nochmals wiederholen, daß wenn ich von dem Pulver unserer Regierung spreche, ich solches verstehe, welches nach der verordneten Proportion der Materialien zusammen gesetzt, und wohl durch gearbeitet worden; denn von dieser Art war dasjenige Pulver, dessen ich mich in meinen Versuchen bedienet habe.

Das stärkste Pulver, womit ich jemahls umgegangen, war, wie ich berichtet worden, von einer Art, welche in Holland verfertigt wird. Die Gewalt desselben verhält sich zu der Gewalt des Pulvers unserer Regierung beynabe,



wie 5 zu 4. Allein dieses Pulver ist ohne Zweifel aus den feinsten und aus-erlesensten Materialien bereitet, und allem Ansehen nach noch mit starkem Spiritu gearbeitet worden, dergestalt, daß wenn dasselbe in grosser Menge gemacht werden sollte, die Unkosten, welche darauf verwandt werden müsten, diesen Zuwachs der Gewalt weit überwägen würden.

Das beste Pulver, welches mir nächst diesem vorgekommen, ist in Portugal unter der Aufsicht eines Holländers gemacht worden, welcher seit einigen Jahren bey Lissabon Pulver-Mühlen aufgerichtet. Dieses Pulver ist zwar etwas schwächer, als das vorhergemeldete Holländische, es kommt aber diesem doch näher, als unserem Regierungs-Pulver.

Das gemeine Kram-Pulver, welches hier in Engelland in allen Gewürtz-Läden verkauft wird, ist nicht nur viel schlechter, als das Regierungs- und Batallien-Pulver, sondern auch über die maßen verschieden, je nach dem Gutmücken derjenigen, von welchen dasselbe gemacht wird. Ich habe davon vielerley Arten untersucht, deren Stärke sich zu dem Regierungs-Pulver ungefähr verhalten, wie 2 zu 3; es giebt aber darunter noch andere Gattungen, welche noch schlechter sind. Unter allen verschiedenen Sorten aber ist dasjenige das schlechteste, welches für die Africanische Handlung verfertigt, und insgemein Guinea-Pulver genennet wird. Dergleichen schlechtes Pulver aber ist keiner fleißigen Untersuchung werth, indem bey der Zubereitung desselben keine gewissen und festgesetzten Regeln beobachtet werden.

Dieser Unterscheid nun in der Stärke des Pulvers kan von dreyerley Ursachen herrühren: entweder erstlich von der Beschaffenheit der Materien, aus welchen dasselbe bereitet wird, oder zweytens von der Proportion, welche bey Vermischung desselben beobachtet wird, oder drittens von der Art, wie dasselbe gearbeitet wird.

Das Pulver wird, wie jedermann zur Gnüge bekannt, aus Salpeter, Schwefel und Kohlen zusammen gesetzt. Von diesen Materien sind nun der Schwefel und die Kohlen am wohlfeilsten. Und ob es gleich unter diesen einige Arten giebt, welche vor andern zu diesem Ende tüchtig sind: so trägt doch der Unterscheid, wenn man davon die allerbesten nimmt, in Vergleichung der sammtlichen Kosten, welche bey Verfertigung des Pulvers aufgehen, so wenig aus, daß es sehr ungereimt seyn würde, wenn man Pulver, welches sonst gut seyn könnte, durch schlechten Schwefel und Kohlen verderben wolte.

Die theuerste Materie bey Verfertigung des Pulvers ist der Salpeter, und eben deswegen rühren auch die meisten Mängel des Pulvers hiervon her. Es

ist aber der Salpeter nichts anders, als eine durch die Erde aus der Luft getranke Materie. Denn wenn eine Quantität Erde, aus welcher der Salpeter schon ausgezogen worden, wiederum von neuem der Luft eine Zeitlang ausgesetzt wird, so wird darinn wiedrum Salpeter erzeugt; und dieses geschieht so oft, als man den Versuch auch immer wiederholet.

Der Salpeter ist an sich selbst eine unverbrennliche Materie; denn wenn derselbe in das stärkste Feuer gesetzt wird, so schmilzt er nur, und entzündet sich nimmer, wofern keine verbrennliche Materie damit vermischet wird. Ob derselbe aber gleich für sich selbst und ohne Vermischung mit andern Materien sich weder entzündet noch brennet, so vermehret derselbe doch, wenn er mit verbrennlichen Materien vermischet wird, die Heftigkeit der Entzündung auf eine ganz erstaunliche Art, und thut in diesem Fall eine weit stärkere Wirkung, als die Luft, wenn dieselbe mittelst etlicher Blase-Balge mit dem Feuer vermischet wird, immer hervorzubringen vermögend ist.

Da nun das Pulver erstlich aus Schwefel und Kohlen, welches verbrennliche Materien, und denn aus Salpeter, welches eine unverbrennliche Materie ist, besteht; so ist klar, daß wenn die Quantität des Salpeters in Ansehung der zwey übrigen Materien zu groß genommen wird, alsdenn die Verbrennlichkeit dieser nicht hinlänglich sey, allen Salpeter zu verzehren. Dahero in diesem Fall das Feuer nicht so wirksam, und folglich das Pulver, wie in dem 10ten Satz angemerkt worden, nicht so stark seyn wird, als wenn man einen Theil des Salpeters davon, und an dessen statt eine gleiche Quantität von den andern Materien hinzu thun sollte. Wenn aber im Gegentheile weniger Salpeter unter das Pulver genommen wird, als die beyden übrigen Materien leicht zu verzehren vermögend sind, so ist das Feuer nicht so heftig, als es seyn sollte, indem dasselbe auf keinen so hohen Grad vermehret wird, als geschehen würde, wenn man eine grössere Menge Salpeter zu der Vermischung nehmen sollte.

Hieraus erhellet nun, daß die Güte des Pulvers nicht aus der Menge des damit vermischten Salpeters beurtheilet werden könne, ungeachtet diese Materie der Grund zu seyn scheint der subtilen elastischen Materie, in welcher die ganze Gewalt besteht. Denn da sowohl die Verwandlung des Salpeters in diese subtile elastische Materie, als die daher entstehende Ausdehnungs-Kraft einiger maßen auf der Gewalt des Feuers, womit die Entzündung verknüpft ist, beruhet, so ist klar, daß es eine solche Proportion in der Vermischung dieser Materialien geben müsse, welche zu dem vorgesetzten Endzweck die bequemste ist, und also die beste Art von Pulver hervor bringt.



Wie nun diese Proportion beschaffen seyn müsse, ist durch die Erfahrung ausgemacht worden, und es scheint anjetzo eine allgemeine Regel zu seyn, daß in einer jeglichen Quantität Pulver drey Viertel davon aus Salpeter, das übrige Viertel aber aus gleichen Theilen Schwefel und Kohlen bestehen müsse. Diese Verhältniß wird nicht nur von den Franzosen, sondern auch von den meisten Völkern in Europa beobachtet; wir hingegen massen uns weit genauere Bestimmungen der zu dieser Vermischung erfordernden Theile an, ob dieselben gleich nicht merklich von der gemeldeten verschieden seyn sollen, und ich bin auch nicht versichert, daß dieselben einigen Vorzug verdienen. Zum wenigsten ist so viel gewiß, daß keine von den bißher bey uns in Engelland üblichen Arten das Pulver zu probiren, vermögend ist, den Unterscheid dazwischen anzuzeigen: und andere Arten von Pulver, welche nach den gewöhnlichen Proportionen gemacht werden, geben den unsrigen nicht viel nach.

Um aber gutes Pulver zu machen, so hat man nicht allein nöthig, auf die gehörige Proportion der Materialien zu sehen; sondern die Sache beruhet noch auf einem andern Umstande von nicht geringerer Wichtigkeit, welcher darinne besteht, daß die Materialien sehr wohl untereinander vermischet werden müssen. Denn, wenn hierinne nicht alle Sorgfalt angewandt wird, so geschieht es, daß einige Theile allzu viel, andere aber allzu wenig Salpeter in sich enthalten; in beyden Fällen aber wird die Gewalt des Pulvers geschwächt.

Da nun die Güte des Pulvers auf so vielerley Umständen beruhet, nemlich in der Beschaffenheit und Menge der Materien, aus welchen dasselbe zusammen gesetzt wird, und der Art der Vermischung selbst, so ist es ohne Zweifel eine Sache von sehr grosser Wichtigkeit, daß diejenigen, welche das Pulver in die öffentlichen Magazins empfangen, einen sicheren Weg haben, sich von der Güte desselben zu versichern. Die gemeinste Art zu diesem Zwecke zu gelangen, besteht hier zu Lande, wenn ich recht berichtet worden bin, darinne, daß man einen kleinen Haufen von dem Pulver, welches probirt werden soll, auf einem reinen Brett anzündet, und so wohl auf die Flamme und den Rauch, so dabey entsteht, als auch auf die Marken, welche auf dem Brett zurück bleiben, wohl Acht giebt: aus welchen lehrreichen Umständen die Güte des Pulvers sehr genau, wie man dafür hält, soll können beurtheilt werden. Allein, ausser dieser so ungewissen Manier, welche, so sehr dieselbe auch im Schwange seyn mag, dennoch kein verständiger, wie ich glaube, im Ernst gut heissen wird, pflegen noch bey besondern Gelegenheiten bißweilen andere Proben angestellt zu werden, welche alle eine genaue Verwandschaft mit den gemeinen Pulver-Proben, welche in den Kramläden feil sind, haben. Nur pflegen dieselben

etwas künstlicher ausgearbeitet zu seyn, und an statt einer Feder ein Gewicht zu bewegen, als welches eine gewissere und gleichförmigere Gewalt ist.

Ob aber gleich diese Maschinen einen grösseren Grad der Vollkommenheit besitzen, als die gemeinen Pulver-Proben, so sind dieselben doch auch sehr grossen Unrichtigkeiten unterworfen. Denn da dieselben nur allein durch die erste Gewalt der Flamme in Bewegung gesetzt werden, und die folgende Ausdehnungskraft darauf weiter keinen Einfluß hat, so können auch dieselben die wahre Kraft des entzündeten Pulvers nicht mit der Gewißheit und Gleichförmigkeit anzeigen, als man von dieser Art Versuchen zu fordern pflegt. Derowegen bin ich genöthiget zu glauben, daß die Art, welche in Frankreich im Gebrauch ist, und nach welcher daselbst das Pulver aus den Pulver-Mühlen in Empfang genommen zu werden pflegt, weit richtiger sey. Man verfährt aber daselbst folgender Gestalt: In einem jeglichen Magazin befindet sich ein kleiner gegossener Mörser, mit dem dazu gehörigen Gestell nach einem bestimmten Modell, welches durch das ganze Königreich einerley ist, festgesetzt. Dieser Mörser ist beständig auf 45° gerichtet, und hält accurat drey Unzen Pulver. Hiebey wird nun diese Regel beständig beobachtet, daß kein Pulver in die Magazins angenommen wird, wovon nicht drey Unzen, so in die Kammer des Mörsers geladen werden, eine wichtige Kugel¹⁾ von $7\frac{1}{2}$ Zoll im Diameter zum wenigsten 55 Französische Faden weit herauswerfen.

Man wendet aber gegen diese Art ein, daß wenn man ein jegliches Faß mit Pulver solchergestalt probiren wollte, die Beschwehrlichkeit, sowohl um den Mörser immer zu laden, als die Kugel zurück zu hohlen, unerträglich, und der Zeit-Verlust so groß seyn würde, daß man mit dergleichen Arbeit nicht wohl zu Ende kommen könnte. Wollte man aber eine grosse Anzahl Fässer auf die mit einigen wenigen angestellte Probe hin annehmen, so würde man Gefahr laufen, daß sich einige schlechte darunter befänden, und hierdurch könnte öfters ein grosser Unterschleif vorgehen. Hierzu kommt noch eine andere Schwierigkeit, welche von grösserer Wichtigkeit ist, und diese besteht in der grossen Ungleichheit, welche sich zwischen dem Gewicht der Kugel, und der Menge des Pulvers, womit dieselbe fortgetrieben wird, befindet: dergestalt, daß in diesem Fall das Pulver seine Kraft weit länger ausübet, und sich durch einen weit grösseren Raum ausdehnet, als jemahls bey dem wirklichen Gebrauch desselben zu geschehen pflegt. Da nun hierzu einige Zeit erfordert wird, so nimmt inzwischen die Hitze der Flamme merklich ab, und

1) Im englischen Text *a solid ball*, das heisst eine Vollkugel. F. R. S.



ein grosser Theil desselben entwischt durch das Zündloch und den Spielraum der Kugel, dergestalt, daß die Grösse der Bewegung, welche durch die Entzündung des Pulvers in diesem Fall hervorgebracht wird, nur ein wenig mehr, als halb so groß ist, als dieselbe seyn müßte, wenn das Pulver mit seiner vollen Gewalt auf die Kugel wirkete, und die gedachten Umstände, wodurch die Gewalt geschwächt wird, nicht vorhanden wären. Da nun um dieser Ursachen willen die fortreibende Gewalt des Pulvers nach keinem beständigen Gesetze vermindert wird, so kann es geschehen, daß nach der Beschaffenheit dieser veränderlichen Umstände, die Kugel auf sehr verschiedene Weiten geworfen wird, und also daraus nichts sicheres auf die Gewalt des Pulvers geschlossen werden kann.

Dieser letzte Einwurf fällt nun gänzlich weg, wenn man sich derjenigen Manier bedienen will, wodurch ich die Stärke aller verschiedenen Arten von Pulver untersucht habe, welches durch die Bestimmung der wirklichen Geschwindigkeit, womit eine Kugel durch die gewöhnliche Ladung heraus getrieben worden, geschieht. Da nun diese Geschwindigkeit, so groß dieselbe auch immer seyn mag, aus der Bewegung, welche dem Pendulo durch den Stoß von der Kugel eingedrückt wird, nach den hier oben ausgeführten Grundsätzen leicht bestimmt werden kann, so scheint diese Methode eine herrliche Verbesserung der in Frankreich üblichen Manier zu seyn, um dieselbe an statt dieser einzuführen. Ob ich aber gleich versichert bin, daß diese Probe mit dem Pendulo weit richtiger, und nicht so mühsam seyn, dabey auch viel geschwinder von statten gehen würde, so wollte ich doch zum Gebrauch, weil diese Art keine geringe Aufmerksamkeit und Sorgfalt erfordert, und dadurch in der Ausübung, wenn eine grosse Anzahl Fässer ein jedes insbesondere untersucht werden soll, etwas unbequem fallen dürfte, eine andere Art vorschlagen, welche nicht weniger gewiß, und mit solcher Geschwindigkeit ins Werk gerichtet werden kann, daß der grösste Theil der Arbeit bloß allein in der Abwägung der Quantität Pulver, so aus einem jeden Faß genommen werden muß, bestehen sollte. Und auf diese Art würden drey oder vier Menschen vermögend seyn, in einem Morgen biß auf 500 Fässer zu probiren. Ueber dieses könnten die zu diesem Ende erfordernten Maschinen aus gegossenem Eisen verfertigt, und wegen des wohlfeilen Preises sehr leicht nach Belieben vermehrt werden. Dem sey aber wie ihm wolle, so werde ich vor jetzo die Beschreibung dieser Art das Pulver zu probiren noch zurück halten, und auf eine andere Zeit versparen; inzwischen aber zur Betrachtung des Widerstands der Luft, welches eine Materie von der grössten Wichtigkeit zur Verbesserung und Erweiterung der Artillerie ist, fortschreiten.

ANMERKUNG

Die Gewalt des Pulvers beruhet, wie aus obigem zur Gnüge erhellet, auf diesen zwey Punkten: erstlich auf der Menge der subtilen elastischen Materie, so mit der Luft einerley zu seyn gewiesen worden, welche aus einer gegebenen Quantität Pulver durch die Entzündung erzeugt wird, und zweytens auf der Plötzlichkeit der Entzündung selbst. Je mehr Luft also in dem Pulver enthalten ist, je grösser ist auch die Dichtigkeit derselben, und folglich wird auch die Ausdehnungs-Kraft, worinne die Gewalt des Pulvers bestehet, um so viel grösser. Hierinne ist auch schon zugleich dasjenige enthalten, was oben von der gröberen Materie der Flamme, welche mit in Bewegung gesetzt werden muß, und weswegen die fortreibende Kraft des Pulvers vermindert wird, angeführt worden. Denn je mehr Luft aus einer gegebenen Quantität Pulver erzeugt wird, je kleiner muß nothwendig der Ueberrest, welcher die gröbere Materie ausmacht, seyn. Dahero hat man von einem solchen Pulver, worinne eine grössere Menge zusammen gedruckter Luft enthalten ist, einen doppelten Vortheil zu gewarten: indem daraus nicht nur eine stärkere Ausdehnungs-Kraft entsteht, sondern auch die Menge der gröberen Materie, welche zugleich in Bewegung gesetzt werden muß, um so viel geringer ist. Hiernächst kommt es aber insonderheit auf die Plötzlichkeit der Entzündung an, als wodurch die eingeschlossene Luft von ihren Banden befreyet, und in Stand gesetzt wird, ihre Kraft auszuüben. Je geschwinder sich also die Entzündung durch das gantze Wesen des Pulvers ausbreitet, je grösser wird auch die Kraft, so daraus entsteht, indem gleich im ersten Augenblick eine grössere Gewalt vorhanden ist, welche auf die Kugel wirkt, und auch nachgehends darauf zu wirken fortfährt. Durch die Plötzlichkeit der Entzündung wird aber auch die ausbreitende Gewalt noch aus einem andern Grunde vermehrt; denn je schneller das Pulver Feuer fängt, je grösser ist auch die Hitze, so dabey hervorgebracht wird. Da nun durch die Hitze, wie wir oben gesehen, die Elasticität der Luft sehr merklich vermehrt wird, so entspringt daher auch ein sehr grosser Zuwachs in der Gewalt des Pulvers.

Um also von der Stärke einer jeglichen Art von Pulver eine vollkommene Kenntniß zu erlangen, so ist nöthig, daß man erstlich wisse, wie viel Luft in einer gegebenen Quantität Pulver enthalten sey, und denn zweytens, wie viel Zeit vorbey gehe, indem sich die Entzündung durch alles Pulver ausbreite. Das erstere läßt sich nun auf diejenige Art, welche der Autor in den ersten Sätzen



dieses Capitels ausgeführt, durch Versuche bestimmen; über das letztere aber kan man nicht wohl zu einer völligen Gewißheit gelangen, indem die Zeit, in welcher die gänzliche Entzündung geschieht, allzukurz, und auch auf solchen veränderlichen Umständen beruht, daß dieselbe allem Ansehen nach nicht immer einerley seyn wird. Wir wollen demnach dasjenige, was oben über den ersten Punkt durch Versuche ausgemacht worden, zusammen nehmen, und in Bewegung ziehen.

Der Verfasser hat seine Versuche über diejenige Art von Pulver, welche in Engelland zum Dienst der Regierung gemacht zu werden pflegt, angestellt, und die Menge der darinne eingeschlossenen Luft auf eine doppelte Art bestimmt: erstlich in Ansehung des Raums, und zweytens in Ansehung des Gewichts. Durch die erste Art hat er befunden, daß die in einem cubischen Zoll Pulver enthaltene Luft, nachdem sich dieselbe mit der natürlichen Luft auf einerley Grad der Dichtigkeit ausgebreitet, einen Raum von 244 cubischen Zollen auszufüllen vermögend sey. Da nun in einem cubischen Zoll Pulver 244 cubische Zoll natürliche Luft in einem sehr zusammen gepreßten Zustande enthalten, so ist klar, daß wenn in einer Canonen oder in einem Mußketen-Lauf die Länge des Raums AC (Fig. 9), welche mit Pulver angefüllt worden, $= b$ gesetzt wird, die darinne eingeschlossene Luft einem Cylinder von natürlicher Luft gleich sey, dessen Dicke mit der Weite des Laufes CC einerley, die Länge aber $= 244b$ ist. Nachdem aber der Verfasser das Gewicht dieser in dem Pulver enthaltenen Luft mit dem ganzen Gewicht des Pulvers verglichen, so hat er befunden, daß sich jenes zu diesem verhalte, wie 3 zu 10. Da nun in dem vorigen Fall das Gewicht der eingeschlossenen Luft dem Gewicht einer Luft-Säule gleich war, deren Höhe $= 244b$, so muß das Gewicht der ganzen Ladung von Pulver dem Gewicht einer natürlichen Luft-Säule gleichen, deren Höhe $= \frac{10}{3} \cdot 244b = 813b$. Folglich sind die gröbern Theile, woraus das Pulver besteht, dem Gewicht nach einer Luft-Säule gleich, deren Höhe $= 569b$. Da sich nun diese gröbern Theile bey der Entzündung nicht ausdehnen, wenn wir setzen, daß die Luft in den Pulverkörnern 800 mahl dichter sey, als die natürliche, und folglich anfänglich in dem Raum AC einen Theil eingenommen habe, dessen Länge $= \frac{244}{800}b$, so ist der Ueberrest $= \frac{556}{800}b$, welcher theils von der gröbern Materie der Pulverkörner, theils von der zwischen den Körnern befindlichen Luft eingenommen wird. Wenn wir also setzen, daß die Zwischenräumlein zwischen den Pulver-Körnern den fünften Theil des ganzen Raums austragen, so bleibt für die gröbere Materie des Pulvers allein ein Raum übrig, dessen Länge

$= \frac{396}{800}b$; und so viel Raum muß auch die gröbere Materie des Pulvers nach der Entzündung beständig einnehmen.

Um nun mit dieser Art von Pulver andere Arten zu vergleichen, so laßt uns setzen, daß die in einer andern Art von Pulver enthaltene Luft einer natürlichen Luft-Säule gleich sey, deren Länge $= mb$, wenn nemlich b die Länge des Raums AC andeutet, und daß die Schwehre des sämtlichen Pulvers einer Luft-Säule gleiche, deren Höhe $= nb$. Wenn wir nun ferner annehmen, daß die in den Pori des Pulvers enthaltene Luft beständig 800 mahl dichter sey, als die natürliche, so muß dieselbe vor der Entzündung einen Raum einnehmen, dessen Länge $= \frac{m}{800}b$; folglich, wenn für die Zwischen-Räumlein wiederum der fünfte Theil angenommen wird, so bleibt für die gröbere Materie ein Raum übrig, dessen Länge $= \frac{610-m}{800}b$. Wenn wir nun wissen wollen, was die verschiedenen Werthe der Buchstaben m und n in der Geschwindigkeit der Kugel austragen können, so dürfen wir nur die Rechnung auf diesen Fall richten. Es sey demnach die Länge des ganzen Laufs $AB = a$; k die Höhe einer Luft-Säule, deren Gewicht dem Gewicht der Kugel gleich ist; und h die Höhe einer Luft-Säule, deren Gewicht der Elasticität der natürlichen Luft gleich ist. Man setze $AM = x$, und nachdem die Kugel von CC schon biß in MM fortgetrieben worden, so sey ihre Geschwindigkeit $= Vv$; dergestalt, daß, indem die Kugel durch $Mm = dx$ fortgehet, die Höhe v um dv grösser werde. Um nun diese Vermehrung der Geschwindigkeit in der Kugel hervor zu bringen, so wird dazu eine Gewalt erfordert, welche dem Gewicht einer Luft-Säule, so $= \frac{k dv}{dx}$, gleicht. Da ferner die gröbern und subtilen Theile des Pulvers insgesamt ihrer Schwehre nach einer Luft-Säule gleichen, deren Höhe $= nb$, so wird zur Acceleration dieser Materie eine Kraft erfordert $= \frac{n b dv}{2 dx}$, welche Formel Statt findet, die gröbere Materie mag durch den ganzen Raum AM gleich zerstreuet seyn, oder wie wir oben angenommen, die eine Hälfte davon mit der Kugel fortgestossen werden, die andere aber an dem Boden AA zurückbleiben. Wenn also inzwischen nichts von der sämtlichen Materie des Pulvers durch das Zündloch und Spielraum verlohren gegangen, so ist die Kraft, welche zur Acceleration sowohl der Kugel, als des Pulvers selbst erfordert wird,

$$= \left(k + \frac{1}{2} nb \right) \frac{dv}{dx},$$

das Pulver mag sich auf einmal plötzlich entzündet haben, oder nicht.



Wir wollen setzen, das Pulver habe sich anfänglich alles auf einmahl entzündet, so ist daraus ein Cylinder, dessen Höhe $= mb$, Luft entstanden, welche nebst der gröbern Materie im Raum AM enthalten ist. Da nun die gröbere Materie allein davon einen Platz

$$= \frac{640 - m}{800} b$$

einnimmt, so bleibt für die Luft über

$$x - \frac{(640 - m)b}{800}$$

So vielmahl also diese Grösse $x - \frac{(640 - m)b}{800}$ kleiner ist, als mb , so vielmahl wird die Luft dichter seyn, als die natürliche. Man setze der Kürze halber

$$\frac{800mb}{800x - (640 - m)b} = s,$$

so wird die Dichte der in AM zusammen gedruckten Luft s mahl grösser seyn, als der natürlichen: und folglich ihre Elasticität durch die Höhe einer natürlichen Luft-Säule ausgedrückt werden, deren Höhe

$$= h \left(s + \frac{ss}{6g} \right) = h \left(s + \frac{ss}{4800} \right),$$

wenn wir nemlich für g , als den höchsten Grad der Dichte der Luft, 800 setzen. Diese Höhe muß aber noch wegen der Erhitzung durch den Buchstaben β multipliciret werden, dessen Werth ungefehr 4 ist. Hieraus entspringt also, wenn der Gegendruck und Widerstand der äusseren Luft mit in Betrachtung gezogen wird, diese Vergleichung:

$$\left(k + \frac{1}{2} nb \right) \frac{dv}{dx} = \beta h \left(s + \frac{ss}{4800} \right) - h - \frac{1}{2} v,$$

welche, wenn man die kleinsten Terminos wegläßt, diese Integral-Aequation dargiebt:

$$\left(k + \frac{1}{2} nb \right) v = \beta mb h \int \frac{800x - 640b + mb}{160b + mb}$$

oder

$$v = \frac{\beta mb h}{k + \frac{1}{2} nb} \int \frac{800x - 640b + mb}{160b + mb}.$$

Hieraus sieht man also, daß die Geschwindigkeit um so viel grösser heraus komme und folglich das Pulver um so viel besser sey, je grösser die Zahl m , und je kleiner die Zahl n ist: das ist, je mehr Luft in einer gegebenen Quantität Pulver eingeschlossen, und je leichter zugleich das Pulver selbst ist. Was zwar den letzteren Umstand betrifft, so trägt derselbe sehr wenig aus, und kan gar wohl völlig aus der Acht gelassen werden: weil das Pulver fast alle einerley Schwere hat, und dieselbe nicht wohl vermindert werden kan. Wenn aber auch eine kleine Verringerung der Schwere desselben möglich wäre, so würde doch dadurch keine merkliche Vermehrung in der Geschwindigkeit der Kugel entstehen: dahero es hierbey hauptsächlich auf die Grösze der Zahl m , wodurch die Menge der in dem Pulver eingeschlossenen Luft angezeigt wird, ankommt. Wenn dahero bey allen Arten von Pulver die sämtliche Entzündung in einem Augenblick, wie unser Verfasser behaupten will, geschähe, so würde die Güte des Pulvers nicht richtiger, als aus der Grösze der Zahl m beurtheilet werden können. Da nun derselbe bey Untersuchung des Regierungspulvers den Werth dieses Buchstabens $m = 244$ befunden, so muß man diejenigen Arten von Pulver, in welchen m noch grösser ist, als 244, für besser, diejenigen aber, wo m einen kleinern Werth hat, für schlechter halten. Hieraus könnte man also den richtigsten Weg, die Güte des Pulvers zu erforschen, herleiten, welcher in Anstellung derjenigen Versuche, welche der Autor zu Bestimmung dieser Zahl m vorgeschlagen, bestehen würde; allein die Probe würde wegen der vielen Umstände, welche dabey in Acht genommen werden müssen, allzu weitläufig und beschwerlich fallen.

Wenn sich aber alles Pulver auf einmahl entzündete, wie hier mit dem Verfasser angenommen worden, so würde man noch viel leichter zu diesem Zweck gelangen können. Denn in diesem Fall würde es gnug seyn, auf die allererste Wirkung, welche das Pulver nach der Entzündung ausübet, allein zu sehen: und zu diesem Ende würde man sich der gemeinen Pulver-Proben, vermittelst welcher die Güte des Pulvers aus der Höhe, worauf ein Gewicht durch die Gewalt des Pulvers getrieben wird, beurtheilt zu werden pflegt, mit dem grössten Vortheil bedienen können. Der Autor setzt auch selbst an dieser gemeinen Art das Pulver zu probiren nichts anders aus, als daß dadurch nur die erste Kraft desselben angezeigt werde. Wenn sich aber, wie der Autor selbst behauptet, alles Pulver auf einmahl entzündet, so beruhet die folgende Ausdehnungs-Kraft einig und allein auf der ersten, dergestalt, daß je grösser oder kleiner diese Kraft in dem ersten Augenblick befunden wird, auch die ganze Gewalt des Pulvers um so viel grösser oder kleiner seyn muß. Wenn dahero der Ver-



fasser diese gemeine Art der Pulver-Proben für unrichtig halten will, so widerspricht er sich selbst, indem er dabey die plötzliche Entzündung des Pulvers, welche er doch vorher so hartnäckig behauptet, läugnet, oder zum wenigsten in Zweifel zieht. Ungeachtet wir aber in diesem Stücke das Gegentheil behauptet haben, so können wir doch dieser gemeinen Probirungs-Art, wenn die Maschinen mit gehörigem Fleiß verfertigt sind, nicht allen Nutzen absprechen. Denn, wenn sich auch nicht alles Pulver in dem ersten Augenblick auf einmahl entzündet, so beruht doch die ganze Gewalt meistens auf der Stärke des ersten Stosses, und wenn die Zeit, welche zur völligen Entzündung gleicher Quantitäten Pulver erfordert wird, einerley ist, so kann auch die ganze Gewalt richtig aus dem ersten Stoß beurtheilet werden. Wenn sich aber hierinne eine Ungleichheit befinden sollte, so müste man die gewöhnlichen Pulver-Proben dergestalt verändern, daß das Pulver einige Zeit auf den Körper, welcher in Bewegung gesetzt werden soll, wirken könnte, und eine solche Verbesserung würde allem Ansehen nach nicht schwer ins Werk zu richten seyn.

Vielleicht besteht auch die neue Manier des Verfassers, das Pulver zu probiren, welche er als ein Geheimniß verschweigt, in nichts anders, als in einer bequemen Verbesserung der gemeinen Pulverproben: und es dürfte ein tüchtiger Künstler dieselben nach einigen Versuchen leicht heraus bringen. Die ganze Sach würde nemlich nur darauf ankommen, daß man das untere Gefaße, worin das Pulver gethan wird, etwas tiefer machte, und demselben die Gestalt eines kleinen Cylinders gäbe, damit das Pulver nicht die ganze Höhlung desselben ausfüllte. Ferner müste man das Gewicht, welches in die Höhe getrieben werden soll, in Gestalt eines Propfs verfertigen, daß dasselbe mit dem untern Ende genau in den Cylinder hinein paßte, und biß auf das Pulver hinein gesteckt werden könnte. Auf diese Art würde nicht nur die Gewalt des Pulvers im ersten Augenblick auf dieses Gewicht wirken, sondern auch so lange fortdauern, biß dasselbe gänzlich aus dem Cylinder heraus getrieben worden. Und da dieses Gewicht in Ansehung der geringen Quantität Pulver, welche zu der Probe gebraucht wird, sehr groß ist, und folglich in keine so schnelle Bewegung gesetzt werden kann: so kann gnug seyn, wenn nur das unterste Ende sehr kurz in Gestalt eines Propfs formirt wird, indeß, ehe dasselbe aus dem unteren Cylinder heraus getrieben wird, schon so viel Zeit vorbey geht, daß sich inzwischen alles Pulver, oder doch zum wenigsten nach Proportion so viel, als in Canonen zu geschehen pflegt, entzünden kann.

DAS ZWEYTE CAPITEL

VON DEM WIDERSTANDE DER LUFT
UND DEM WEGE WELCHEN EINE KUGEL ODER BOMBE
IN DER LUFT BESCHREIBET

Ehe ich die Ausführung der Materie, wovon in diesem Capitel gehandelt werden soll, mit allem Fleiß unternehme, so wird nöthig seyn zu erinnern, daß fast alle Autores, welche hiervon geschrieben, als eine gewisse und unumstößliche Regel angenommen haben, daß, so lange sich ein Körper in eben derselben flüssigen Materie bewegt, der Widerstand, welchen derselbe antrifft, beständig den Quadraten der Geschwindigkeit desselben proportional sey. Das ist, wenn die Geschwindigkeit eben desselben Körpers an einem Ort seines Laufs drey-mahl so groß ist, als an einem andern, so müsse der Widerstand an dem ersten Orte neun mahl grösser seyn, als an dem letztern. Wenn aber die Geschwindigkeit an einem Orte 4 mahl so groß wäre, als an einem andern, so müßte der Widerstand der grösseren Geschwindigkeit 16 mahl grösser seyn, als der kleinern, und so weiter. Ob nun gleich diese Regel, wenn sie als allgemein angenommen wird, sehr stark von der Wahrheit abweicht, wie im folgenden deutlich dargethan werden soll, so ist dieselbe doch der Wahrheit gänzlich gemäß, wenn sie in gewisse Gränzen eingeschränket wird. Und dahero werden wir uns in unsern künftigen Untersuchungen derselben als einer richtigen Regel bedienen können, wenn der Unterscheid zwischen den verschiedenen Geschwindigkeiten des Körpers, welcher dem Widerstande ausgesetzt ist, sehr klein ist. Wenn wir also in dem folgenden sagen werden, daß der Widerstand der flüssigen Materie je nach der Veränderung der Geschwindigkeit grösser oder kleiner werde, so muß hierunter nicht die Vermehrung oder Verminderung des Widerstands, welche kraft dieser Regel Platz



findet, verstanden werden; sondern wir wollen alsdenn so viel sagen, daß der Widerstand des Körpers grösser oder kleiner sey, als derselbe nach dieser Regel seyn sollte: oder man muß hierunter eine Vermehrung oder Verminderung der widerstehenden Kraft der flüssigen Materie selbst verstehen, dergleichen verursacht zu werden pflegt, wenn die Dichte derselben flüssigen Materie entweder vermehret oder vermindert wird. Denn die fürnehmste Absicht unsers gegenwärtigen Vorhabens bestehet darinne, daß wir unumstößlich beweisen wollen, daß je nach den verschiedenen Gründen sowohl der Zusammendrückung der flüssigen Materie, als der Geschwindigkeit des darinne bewegten Körpers, solche Veränderungen in der widerstehenden Kraft derselben entstehen können, dergleichen nach den insgemein angenommenen Grundsätzen kaum würden hervorgebracht werden können, wenn man auch die Dichte dreymahl grösser annehmen wollte. Und diesen Satz werden wir in der folgenden Abhandlung auf eine solche überzeugende Art behaupten, daß nicht der geringste Zweifel dagegen übrig bleiben soll.

ERSTER SATZ

Die allgemeinen Grundsätze des Widerstands, welchen flüssige Materien auf harte Körper, so sich darinne bewegen, ausüben, zu beschreiben und fest zu setzen.

Um sich von dem Widerstande der flüssigen Materien, welchen die darinne bewegten Körper leiden, einen deutlichen Begriff zu machen, so ist nöthig, daß man nachfolgende zwey Arten von flüssigen Materien wohl von einander unterscheide. Die erste Art begreift in sich alle diejenigen flüssigen Materien, welche durch ein aufliegendes Gewicht dergestalt zusammen gedrückt sind, daß dieselben den Raum, welchen ein Körper darinn verlässt, immer auf das schnellste ausfüllen, und keinen Augenblick leer lassen. Zu der andern Art gehören solche flüssige Materien, welche entweder gar nicht, oder nicht so stark zusammen gedrückt sind, daß der Raum, welchen ein darinne bewegter Körper hinter sich zurück läßt, nicht einige Zeit sollte leer bleiben können. Aus diesem Unterscheid zwischen den flüssigen Materien entstehen nun sehr merkwürdige Veränderungen in den Gesetzen, nach welchen der Widerstand bestimmt wird; und es ist insonderheit unumgänglich nöthig, daß man den-

selben wohl in Betrachtung ziehe, wenn man die Wirkung der Luft auf die Kugeln und Bomben ausfindig machen will. Denn es finden sich in der Luft die beyden vorher gemeldten Eigenschaften, je nachdem sich ein Körper darinne geschwinder oder langsamer bewegt.

Wenn eine flüssige Materie also beschaffen wäre, daß sich alle Theilchen derselben in einer Entfernung von einander befänden, und keine Wirkung auf einander ausübten, so würde man den Widerstand, welchen ein Körper in einer solchen flüssigen Materie anträffe, aus der Bewegung, so daher in den Theilchen derselben verursacht wird, leicht ausrechnen können. Denn, wenn sich, zum Exempel, ein Cylinder seiner Länge nach in einer solchen flüssigen Materie bewegte, so würde derselbe die Theilchen, welche er antrifft, mit einer gleichen Bewegung gerade vor sich herstossen; wenn man nemlich annimmt, daß weder der Cylinder, noch die Theilchen der flüssigen Materie, elastisch seyn. Derowegen, wenn sowohl die Geschwindigkeit, als der Diameter des Cylinders, als bekannt angenommen werden, und über dieses auch die Dichtigkeit der flüssigen Materie gegeben wird, so läßt sich daher die GröÙe der Bewegung, welche den Theilchen dieser flüssigen Materie mitgetheilet wird, bestimmen, welche, da eine jede Wirkung der Gegenwirkung gleich ist, dem Verlust, welchen der Körper inzwischen an seiner Bewegung leidet, gleich seyn muß: und folglich wird auf diese Art die GröÙe des Widerstands, welchen ein Cylinder in dieser flüssigen Materie leidet, erkannt werden.

Wenn also die flüssige Materie solcher gestalt beschaffen ist, daß die Theilchen derselben unter sich nicht verbunden, sondern von einander abgesondert sind: so kann ein jegliches Theilchen die Bewegung, so demselben eingedrückt worden, zum wenigsten einige Zeit lang fortsetzen, ohne die übrigen um sich befindlichen Theilchen, in ihrem Zustand zu stören. Dahero, wenn an statt des Cylinders, welcher sich seiner Länge nach in der flüssigen Materie zu bewegen gesetzt worden, ein anderer Körper angenommen wird, welcher auf die Theilchen dieser flüssigen Materie schief aufstößt, so wird die Richtung, nach welcher diese Theilchen in Bewegung gesetzt werden, mit derjenigen, nach welcher sich der Körper selbst bewegt, nicht einerley seyn, sondern die Direction eines jeglichen Theilchens wird auf die Oberfläche des Körpers, von welcher dasselbe fortgestossen wird, perpendicular seyn. Und in diesem Fall muß also der Widerstand des Körpers nicht aus der gantzen Bewegung, welche den Theilchen der flüssigen Materie mitgetheilet wird, sondern nur aus demjenigen Theil derselben, welcher mit der Bewegung des Körpers einerley Direction hat, geschätzt werden. In solchen flüssigen Materien also, wo die



Theilchen von einander abgesondert sind, beruhet die Grösse des Widerstands hauptsächlich auf der Figur und Schiefe des vordersten Theils der Oberfläche des Körpers, und ist daher sehr großen Veränderungen, nach der verschiedenen Beschaffenheit dieser Oberfläche, unterworfen; wenn auch gleich der Durchschnitt des Körpers, so auf seine Direction perpendicular gemacht wird, in allen Fällen einerley ist. Und der Herr ISAAC NEWTON hat ins besondere dargethan, daß, wenn sich eine Kugel in einer solchen flüssigen Materie bewegt, der Widerstand derselben nur halb so groß seyn müsse, als eines Cylinders, welcher mit der Kugel einerley Diameter hat, und sich seiner Länge nach mit einer gleichen Geschwindigkeit in eben derselben flüssigen Materie bewegt.¹⁾

Ob aber gleich die Betrachtung einer solchen flüssigen Materie zur Erklärung der Natur des Widerstandes sehr nützlich ist, so ist uns doch keine einzige flüssige Materie von dieser Art, welche in der Welt wirklich anzutreffen wäre, bekannt. Denn alle flüssigen Materien, von welchen wir einige Kenntniß haben, sind so beschaffen, daß ihre Theilchen entweder einander wirklich berühren, oder doch zum wenigsten dergestalt auf einander wirken, als wenn sie sich in einer solchen Verknüpfung befänden. Bey solchen Umständen kann sich also kein Theilchen, auf welches ein Körper stößt, bewegen, ohne zugleich eine grosse Anzahl anderer Theilchen, deren einige ziemlich davon entfernt sind, in Bewegung zu setzen. Ferner kann auch die Bewegung, welche solchergestalt einem Theil der flüssigen Materie eingedruckt wird, keine bestimmte Direction haben, sondern dieselbe muß in einem jeglichen Theilchen anders beschaffen seyn, je nach der Verschiedenheit der Lage in Ansehung der übrigen Theilchen, von welchen die Bewegung herkömmt. Da sich nun eine grosse Anzahl solcher Theilchen nach sehr verschiedenen Directionen bewegen werden, so wird dadurch die Grösse des Widerstandes, welchen ein darinne bewegter Körper leidet, und welcher aus der Grösse der der flüssigen Materie eingedruckten Bewegung, nur in so ferne dieselbe mit der Bewegung des Körpers einerley Direction hat, bestimmt werden muß, ganz anders heraus kommen, als in dem vorigen Fall, und die Berechnung des Widerstandes wird folglich auch bey diesen Umständen weit schwehrer und verworrener werden.

Wenn eine flüssige Materie durch das Gewicht der über sich befindlichen Theile zusammen gedruckt ist, in dergleichen Zustande sich alle uns bekannte

1) I. NEWTON, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Editio tertia, Londini 1726, p. 322. F. R. S.

flüssige Materien, nur allein ihre Oberfläche ausgenommen, befinden, und wenn ferner die Geschwindigkeit eines darinne bewegten Körpers kleiner ist, als diejenige, mit welcher die Theilchen der flüssigen Materie kraft ihrer Zusammendrückung in einen leeren Raum hinein zu dringen vermögend sind, so ist klar, daß in diesem Fall immer der Raum, welchen der bewegte Körper hinter sich verläßt, in einem Augenblick von der flüssigen Materie wiederum angefüllt werde, und daß die Theilchen derselben, auf welche der Körper mit seinem vordern Theil stößt, an statt daß dieselben vorwärts getrieben werden sollten, ihre Direction nach und nach verändern, und ihren Weg gegen den hintern Theil des Körpers nehmen, und solchergestalt das Gleichgewicht wiederum herstellen müssen, welches sonst durch den beständigen Zufluß der flüssigen Materie in die von dem Körper verlassenen Oerter gestört werden würde. In diesem Fall muß also die vorwärts gerichtete Bewegung der flüssigen Materie, und daher auch der Widerstand des Körpers, welcher darauf beruhet, viel kleiner seyn, als in dem erst angeführten Fall, in welchem allen Theilchen der flüssigen Materie eine gleiche Bewegung mit dem Körper selbst, und nach eben derselben Direction eingedruckt worden. Der Herr ISAAC NEWTON hat nun bewiesen, daß der Widerstand, welchen ein Cylinder, der sich seiner Länge nach in einer zusammen gedruckten flüssigen Materie bewegt, dergleichen wir hier zuletzt betrachtet haben, viermal kleiner sey, als der Widerstand, welchen eben dieser Cylinder leiden würde, wenn sich derselbe mit einer gleichen Geschwindigkeit in einer solchen flüssigen Materie bewege, dergleichen wir anfänglich beschrieben haben: wenn nemlich in beyden Fällen die Dichtigkeit der flüssigen Materie gleich groß angenommen wird.²⁾

Ueber dieses ist der Widerstand, welchen ein Körper in dergleichen zwey verschiedenen flüssigen Materien antrifft, nicht nur der Grösse nach so sehr unterschieden, sondern es befindet sich auch ein grosser Unterschied, nachdem die Figur der darinn bewegten Körper verschieden ist.

Wir haben gewiesen, daß in einer flüssigen Materie, deren Theilchen von einander abgesondert sind, dergleichen wir zu erst beschrieben haben, die Schiefe der vordersten Oberfläche des Körpers sehr viel zur Verminderung des Widerstandes beytrage. Allein in zusammen gedruckten flüssigen Materien

1) I. NEWTON, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Editio tertia, Londini 1726, p. 327. F. R. S.

LEONHARDI EULERI Opera omnia II 14 Ballistik



findet diese Regel nicht mehr statt; zum wenigsten entsteht daher kein so beträchtlicher Unterschied. Denn in zusammen gedrückten flüssigen Materien beruhet die Grösse des Widerstands hauptsächlich auf der grösseren oder kleineren Leichtigkeit, mit welcher die flüssige Materie, welche durch den vordern Theil des Körpers fortgestossen wird, ihre Bewegung nach dem hintern Theil desselben umlenket. Da nun dieser Umstand, wenn derselbe ja etwas beyträgt, durch die Figur des bewegten Körpers sehr wenig verändert wird, und beynahe einerley bleibt, der Körper mag eine cylindrische, conische, oder Kugel-runde Figur haben, so folgt daraus, daß, wofern nur der Quer-Durchschnitt des Körpers, und folglich die Menge der flüssigen Materie, welche in Bewegung gesetzt werden muß, einerley bleibt, die Verschiedenheit der Figur keine merkliche Veränderung in der Grösse des Widerstands verursachen könne.

Dieser Widerstand nun, welchen ein in einer solchen zusammen gepreßten flüssigen Materie bewegter Körper leidet, wenn die Geschwindigkeit desselben viel kleiner ist, als diejenige, welche die Theilchen der flüssigen Materie, kraft ihrer Zusammendrückung, erlangen können; dieser Fall, sage ich, ist von dem Herrn ISAAC NEWTON sehr vollständig ausgeführt worden, als welcher die Grösse dieses Widerstands nach der verschiedenen Grösse der darinn bewegten Körper, und nach der Dichtigkeit der flüssigen Materie, mit allem Fleiß bestimmt hat. Er erinnert aber dabey ganz ausdrücklich, daß die Regeln, welche er dazu angenommen, nicht allgemein wären, und ohne Einschränkung mit der Wahrheit nicht bestehen könnten: sondern, daß die Zusammendrückung der flüssigen Körper um so viel grösser gesetzt werden müsse, je grösser die Geschwindigkeit der darinn bewegten Körper wäre. Inzwischen haben doch einige unwissende Schriftsteller, welche diesem grossen Mann gefolget, und diese Erinnerung aus der Acht gelassen, seine Bestimmungen ohne Unterschied auf alle Grade der Geschwindigkeit, welche ein harter Körper in einer flüssigen Materie immer haben kann, gezogen, ohne auf die verschiedenen Grade der Zusammendrückung der flüssigen Materien zu sehen, von welchen der Widerstand herkommt: und auf diese Art haben sie den Widerstand der Luft auf Mußketen- und Canonen-Kugeln dreymahl kleiner angegeben, als ich denselben durch die Erfahrung wirklich zu seyn befunden habe.

Es erhellet aber aus allem demjenigen, was bißher gesagt worden, deutlich genug, daß die widerstehende Kraft einer flüssigen Materie vermehrt werden müsse, wenn sich der Körper so geschwind bewegt, daß die flüssige Materie nicht geschwind genug die hinter dem Körper ledig gelassenen Plätze einnehmen, und ihren Druck auf denselben ausüben kann. Denn, wenn dieses

geschieht, so wird der Körper des Drucks von hinten, wodurch sonst der Widerstand einiger maassen im Gleichgewicht gehalten wird, beraubt, und er muß auf dem vordern Theil das ganze Gewicht der entgegen druckenden Gewalt noch ausser der Bewegung, welche den Theilen der flüssigen Materie mitgetheilet wird, ertragen. Und weil über dieses die Bewegung dieser Theile, welche vor dem Körper hergetrieben werden, von der zusammendrückenden Kraft der flüssigen Materie in diesem Fall nicht so stark hinterwärts gelenket werden kann, so weicht auch ihre Direction weniger ab von derjenigen, nach welcher sie unmittelbar von dem Körper fortgestossen werden: und um dieser Ursache willen kommt diese Art des Widerstands derjenigen, welche wir zuerst betrachtet haben, je länger je näher, wo die Theilchen der flüssigen Materie keine Verbindung untereinander hatten, sondern die ihnen eingedruckte Bewegung ohne Hinderniß fortsetzen könnten. Derothalben, da wir schon vorher angemerkt haben, daß der Widerstand einer solchen nicht zusammen gedrückten flüssigen Materie auf einen Cylinder, so sich seiner Länge nach darinn bewegt, viemahl grösser sey, als der Widerstand einer gleich dichten aber genugsam zusammen gedrückten flüssigen Materie, so folget daraus, daß der Widerstand einer flüssigen Materie, wenn ein lediger Raum hinter dem Körper gelassen wird, bey nahe viemahl grösser werden könne, als von eben derselben flüssigen Materie entstehen würde, wenn kein solcher lediger Raum hinter dem Körper Statt fände. Denn wenn der Raum, welchen der Körper hinter sich verläßt, nicht sogleich wiederum angefüllt wird, so haben wir gesehen, daß der Widerstand fast von eben der Natur seyn müsse, als wenn die Theilchen der flüssigen Materie gänzlich von einander abgesondert wären.

In diesen Umständen scheint sich nun ein Cylinder zu befinden, welcher sich mit sehr verschiedenen Graden der Geschwindigkeit in einer zusammen gedrückten flüssigen Materie bewegt: dergestalt, daß wenn derselbe seine Bewegung mit einer sehr grossen Geschwindigkeit anfangt, und darinne so lange fortläuft, biß seine Geschwindigkeit fast gänzlich zernichtet worden, alsdenn die widerstehende Kraft der flüssigen Materie bey dem Anfang der Bewegung beynahe viemahl grösser, als bey dem Ende seyn wird. In einer Kugel aber wird der Unterschied nicht so groß seyn, weil wegen der Schiefe seiner Oberfläche, der Widerstand in einer nicht zusammen gedrückten flüssigen Materie nur ungefähr zweymahl grösser ist, als in einer hinlänglich zusammen gedrückten; denn die Schiefe seiner Oberfläche vermindert den Widerstand nur in einem Fall, und nicht in dem andern. Unterdessen da die zusammendrückende Kraft der flüssigen Materie, wenn auch hinter dem Körper ein leerer



Raum zurück bleibt, dennoch die schiefe Bewegung der Theilchen der flüssigen Materie, welche vor dem Körper her gestossen worden, einiger massen zurück lenken kann, und weil sich auch in diesen Theilchen, wenn die flüssige Materie elastisch ist, ein grösserer Grad der Dichtigkeit befindet: so ist sehr wahrscheinlich, daß der Widerstand einer Kugel, welche sich mit einer sehr grossen Geschwindigkeit in einer zusammen gedrückten flüssigen Materie bewegt, ungefehr ein Mittel seyn werde zwischen dem Widerstand einer Kugel und eines Cylinders in einer nicht zusammen gedrückten flüssigen Materie. Wenn also die Geschwindigkeit groß genug ist, so können wir annehmen, daß die widerstehende Kraft mehr als zweymahl, und doch weniger als viermahl grösser sey, als wenn sich eben dieselbe Kugel mit einem geringen Grad der Geschwindigkeit in eben derselben flüssigen Materie bewegte. Wir werden dahero vielleicht nicht viel fehlen, wenn wir annehmen, daß eine Kugel, wenn dieselbe mit der grössten Geschwindigkeit bewegt wird, bey nahe, in Ansehung der Geschwindigkeit, einen drey-mahl grössern Widerstand antreffe, als wenn dieselbe langsam fortgehet.

Weil also diese Vermehrung der widerstehenden Kraft Platz findet, wenn die Geschwindigkeit des bewegten Körpers so groß ist, daß derselbe einen vollkommen ledigen Raum hinter sich zurück läßt, so müssen bey kleineren Geschwindigkeiten einige Grade der Vermehrung sehr merklich werden. Denn wenn auch durch die zusammendrückende Kraft der flüssigen Materie der Raum, welchen der Körper hinter sich verläßt, in einem Augenblick aufgefüllt wird, so müssen dennoch, wenn die Geschwindigkeit, womit die flüssige Materie in den von dem Körper verlassenen Raum hinein dringet, nicht viel grösser ist, als diejenige, womit sich der Körper selbst bewegt, die obgemeldten Gründe, welche wir auf den Fall eines vollkommen ledigen Raums angeführt haben, noch einiger maßen auch in diesem Fall, obgleich nicht in einem so hohen Grad, statt finden. Und derohalben können wir nicht setzen, daß dieser Zuwachs des Widerstandes, dessen wir bisher Erwähnung gethan haben, plötzlich verschwinde, so bald die zusammen drückende Kraft der flüssigen Materie just vermögend ist, dem leeren Raum hinter dem bewegten Körper vorzubeugen: sondern wir müssen bedenken, daß in diesem Fall der gedachte Zuwachs nur vermindert werde, je nachdem die Geschwindigkeit, mit welcher die Theile der flüssigen Materie dem Körper nachfolgen, diejenige, womit der Körper fortgehet, mehr oder weniger übertrifft.

Hieraus schließen wir nun, daß wenn eine Kugel in einer solchen flüssigen Materie mit einer weit grösseren Geschwindigkeit fortgetrieben wird, als die

Theilchen derselben kraft ihrer Zusammendrückung in einen leeren Raum hineinzudringen vermögend sind, dergestalt, daß hinter der Kugel in ihrer Bewegung nothwendig ein leerer Raum zurück gelaßen wird, daß, sage ich, alsdenn in diesem Fall der Widerstand, welchen die Kugel antrifft, beynahe drey-mal grösser in Ansehung ihrer Geschwindigkeit seyn werde, als derselbe nach der von Herrn ISAAK NEWTON für langsame Bewegungen gegebenen Regel gefunden wird. Wir können auch ferner sicher schließen, daß die widerstehende Kraft der flüssigen Materie mit der Geschwindigkeit des Körpers nach und nach abnehme, biß dieselbe endlich, wenn die Bewegung allbereit so schwach worden, daß dieselbe in Ansehung der Geschwindigkeit, womit die flüssige Materie zu folgen vermögend ist, beynahe für nichts zu achten ist, sich völlig nach des Herrn ISAAK NEWTONS Regel richte, welche er für zusammen gedruckte flüssige Materien gegeben hat.

Aus dieser Bestimmung ersehen wir also, wie sehr sich diejenigen betrogen, welche behaupten, daß der Widerstand einer jeglichen flüssigen Materie auf alle darinne bewegte Körper allzeit den Quadraten der Geschwindigkeit proportional sey. Denn aus demjenigen, was hier angeführt worden, erhellet klarlich, daß diese Regel nur alsdenn der Wahrheit nahe komme, wenn die Veränderungen in der Geschwindigkeit des Körpers sehr klein sind, und daß dieselbe, ohne sehr gröblich zu fehlen, nimmer gebraucht werden könne, wenn für sehr verschiedene Grade der Geschwindigkeit der Widerstand bestimmt werden soll.

Nachdem wir nun diese Gründe fest gesetzt haben, so wollen wir jetzt weiter fortschreiten, und den Widerstand der Luft ins besondere durch Experimente zu bestimmen uns bemühen. Hieraus wird man überführet werden, wie genau diese Betrachtungen mit der vermittelst der Versuche wirklich entdeckten Wirkung der flüssigen Materien übereinstimmen; und man wird auch daraus erkennen, wie sehr sich alle diejenigen Lehrer¹⁾ betrogen haben, welche sich eingebildet, daß der Widerstand der Luft, welchen aller Gattung Kugeln und Bomben darinn antreffen, kaum einiger Aufmerksamkeit werth sey.

1) Im englischen Original *theorists*. F. R. S.