
ANNALEN DER PHYSIK.

VIERTER BAND, VIERTES STÜCK.

I.

VERSUCHE UND BEMERKUNGEN
über die Kraft des entzündeten Schieß-
pulvers,

von

Herrn Grafen VON RUMFORD
in London.

(Beschluß, Annalen, IV, 257.)

Versuche über die Expansiv-Kraft des Pulverdampfes.

„Der Zweck, den ich bei folgender Reihe zusammenhängender Versuche vor Augen hatte, war: durch sie zu einer Reihe von Thatfachen zu gelangen, aus denen sich mit Sicherheit *erstens* auf die Expansiv-Kraft des elastischen Pulverdampfes in verschiedenen Zuständen der Verdichtung, und auf das Gesetz, wonach diese Expansiv-Kraft sich mit der Dichtigkeit des Dampfes ändert, schließen ließe; und *zweitens* durch einen entscheidenden Versuch den höchsten Grad der Expansiv-Kraft des Pulver-

dampfs, wo möglich, noch genauer, als mittelst des zweiten vorläufigen Versuchs zu bestimmen.

Die Versuche wurden unter meiner Direction von Herrn Reichenbach, Vorsteher des Künstler-Corps beim bairischen Militär, und vom Grafen Spreti, Premierlieutenant der Artillerie, die sich darin schon geübt hatten, mit möglichster Sorgfalt angestellt. Zwar verhinderte Kränklichkeit meine persönliche Gegenwart; allein ich erhielt stündlichen Bericht, und ordnete alles an. Wegen der außerordentlichen und ganz unerklärbaren Verschiedenheit in den Resultaten, nach Verschiedenheit der Jahreszeit, hatte ich mir indess doch vorgenommen, diese interessanten und neuen Versuche insgesammt selbst zu wiederholen, ehe ich sie bekannt machte; allein Kränklichkeit und Geschäfte verhinderten dieses, und ich muß dazu Andere auffordern, die sich in einer günstigen Lage befinden.

Zu den ersten 85 Versuchen diente ein und derselbe Lauf. Die Bohrung desselben war an der Mündung 0,25 Zoll weit, enthielt sammt der Zündröhre, (den Raum für die Lederscheibe abgerechnet,) einen Inhalt von 0,08974 Kubikzoll, nach der Schwere des Quecksilbers zu urtheilen, welches ihn füllte, *) und faßte folglich von dem

*) Er war daher nicht in seiner ganzen Ausdehnung gleich weit, da, wenn man den Inhalt durch die Länge dividirt, das einen Durchmesser von 0,2281 Zoll giebt. Allein das thut nichts zur Sache.

Pulver, wovon ein wohlgeschüttelter Kubikzoll 272,68 Gran Troy-Gewicht wog, völlig geladen 25,641 Gran deutsches Apotheker- oder $24\frac{1}{2}$ Gran Troy-Gewicht. Wenn man geringere Ladungen in Theilen dieses Volums als Einheit ausdrückt, z. B. 1 Gran durch 0,039, so geben diese Zahlen zugleich die *relative Dichtigkeit* des erzeugten Pulverdampfs, in Beziehung auf die größtmögliche Dichtigkeit, als Einheit an, und erleichtern die Vergleichung.

Nur die kleinsten Ladungen ausgenommen, wurden zu Gewichten, deren Last den Lauf verschliessen sollte, Kanonen von verschiedener Größe genommen, die man auf die stählerne Halbkugel mit ihrer Traube senkrecht setzte, so daß sich der Lauf noch mit Kugeln füllen, und dadurch ihre Schwere, den Umständen nach, verändern liefs. Die Versuche wurden schrittweise mit allen Ladungen, von Gran zu Gran, von 1 bis 18 Gran ange stellt, und zwar so, daß man das Gewicht so lange vermehrte oder verminderte, bis es endlich dem Pulverdampfe so stark widerstand, daß es zwar etwas gehoben, aber die Lederscheibe nicht hinausgeschleudert wurde. Dieses zu finden, erforderte gewöhnlich 4 bis 8 Versuche, deren Resultate Graf Rumford in einer Tafel insgesammt mittheilt, aus der ich hier jedoch nur die ausziehe, bei denen das Gewicht die gehörige Größe hatte, so daß es zwar etwas, doch nicht bis zum Entwischen des Dampfs gehoben wurde. Denn nur diese Gewichte kön-

nen die *Expansiv Kraft* des erzeugten Pulverdampfs messen.

Da der Durchmesser der Mündung des kleinen Laufs genau $\frac{1}{4}$ Zoll, die Mündung also selbst 0,049088 Quadratzoll betrug, so war der mittlere Luftdruck auf die Mündung 0,7563₁ Pfund Averdupois-Gewicht, indem er auf einen Quadratzoll ungefähr 15 solcher Pfunde beträgt. Das Gewicht der Kanone in Averdupois-Pfunden mit 0,7563₁ dividirt, giebt folglich, wie vielmahl stärker der Druck des Pulverdampfs, als der mittlere Luftdruck war, und dieses steht in der letzten Columnne.

Zeit, wenn der Versuch angestellt wurde, 1793.	St. Min.	Zustand der Luft.	Thermo- meter- stand nach Fahrenheit.	Barome- terstand in englischen Zollenn.	Pulverladung. Gran. Averd. Gew. in Theilen des Inhalts des Laufs.	Gewicht, welches den Pulverdampf eben zu- rückhält, in Pfunden, Averd. Gew.	Expansio- n-Kraft des Pulverdampfes durch den mittlern Luftdruck gemessen.	berechnet.	
									beobachtet.
Febr.,	25ten 4	A	57	28,37	1	57,4	77,86	74,8	
	26ten 10	M	34	28,1	2	134,2	182,3	164,5	
	4	A	48	28,31	3	212,24	288,2	269,2	
	27ten 3	A	50	28,36	4	281,57	382,4	391,6	
	28ten 3	A	48	28,35	5	413,27	561,2	541,6	
	25ten 11	M	37	28,56	6	504,8	685,6	717,8	
	25ten 3	A	59	28,34	7	597,66	811,7	927,3	
	2ten 9	M	50	28,32	8	857,64	1164,8	1176,2	
	10	M	50	28,32	9	1142,3	1551,3	1471,4	
	9	M	32	28,2	10	1387,5	1884,3	1821,1	
März,	9	M	32	28,2	11	1634	2219	2234,8	
	10	M	32	28,2	12	1895,1	2573,7	2723,8	
	11	M	36	28,34	13	2422	3288,3	3300	
	6ten 11	A	42	28,3	14	2951	4008	3980	
	4	A	43	28,31	15	3477	4722,5	4783	
	9ten 11	M.	43	28,31	16	5220	7090	5727	
	0	M.	70	28,2	18	8081	10977	8140	
	3ten 4	M	68	28,3		8700	11815		
	April,								
	4ten 3	M	68	28,3					
5ten 4	M	68	28,3						

Bei diesem letztern Versuche wurden von 18 Gran Ladung 8081 Pfund, mit einem heftigen Knalle, stärker als ein Musketen-Schufs, gehoben, indess 17 Gran dieses Gewicht nicht zu heben vermochten. Als es auf 8700 Pfund vermehrt wurde, borst die Zündröhre, mit einem lauten Knalle, weshalb diese Versuche beendigt werden mußten.

Diese Versuche schienen dem Grafen Rumford hinreichend, um über den einen Hauptpunkt, worauf es ihm bei dieser Untersuchung ankam, nämlich über das Gesetz, nach welchem die Elasticität des Pulverdampfs von der Dichtigkeit desselben abhängt, Licht zu erhalten. So viel fällt aus ihnen in die Augen, daß die Elasticitäten in viel größerm Verhältnisse als die Dichtigkeiten, und zwar nach einem variablen steigenden Verhältnisse zunehmen; so daß, wenn man die Dichtigkeiten mit x , die Elasticitäten mit y bezeichnet, nicht etwa y einer constanten, sondern veränderlichen Potenzen von x proportional ist. Graf Rumford glaubt aus ihnen noch weiter schließen zu dürfen, daß der veränderliche Exponent dieser Potenz nie kleiner als 1 seyn könne, (besonders weil y zugleich mit x verschwindet,) - und daß daher die wahre Form der Abhängigkeit zwischen Elasticität und Dichtigkeit des Pulverdampfs sich folgendermaßen ausdrücken lasse, $y = x^1 + z$. Von vielen Wegen und Rechnungen, die er eingeschlagen habe, um die Abhängigkeit zwischen x und z den Versuchen möglichst entsprechend zu bestimmen, leiste, behauptet

tet er, keine jenen Versuchen so gut Genüge, als wenn man $z = \frac{4}{10000} x$ setzt; vorausgesetzt, daß die Dichtigkeiten x in solchen Theilen ausgedrückt werden, wovon 1000 auf die größtmögliche Dichtigkeit gehn, (wenn die Ladung die Kammer ganz anfüllt.) Ist dieses der Fall, so wäre $y = x^1 + 0,0004 \cdot x$ das allgemeine Gesetz, wonach die Elasticität des Pulverdampfs, y , von der Dichtigkeit desselben, x , abhinge, diese in Tausendtheilchen der größtmöglichen Dichtigkeit, und jene, (die Elasticitäten y ,) in Zahlen ausgedrückt, welche mit 1,841 multiplicirt, sich auf den *mittlern Luftdruck* als Einheit beziehen, so wie mit 27,615 multiplicirt, den Druck des Pulverdampfs auf 1 *Quadratzoll* Fläche in Averdupois-Pfunden geben: oder es ist nach der Rumfordschen Formel die Elasticität des Pulverdampfs, auf *den mittlern Luftdruck als Einheit bezogen*, $= 1,841 \cdot x^1 + 0,0004 \cdot x$.

Wegen der Richtigkeit dieser Bestimmung beruft sich Graf Rumford auf die große Uebereinstimmung der danach berechneten Elasticitäten des Pulverdampfs bei den verschiedenen Ladungen von 1 bis 18 Gran, mit den wirklich beobachteten bei den vorigen Versuchen, wie sie in der letzten Columne der obigen Tabelle neben einander gesetzt sind. „Einige dieser Versuche,“ fügt er hinzu, „besonders die, welche mit den stärksten Pulverladungen angestellt wurden, scheinen zwar anzuzeigen, daß die Exponenten z in der Formel

$y = x^1 + z$ nicht mit x gleichförmig, sondern nach viel stärkeren Verhältnisse wachsen; aber bei weitem der grösste Theil der Versuche und mehrere Gründe, die in der Natur der Sache liegen, bestätigen jene Voraussetzung, worauf mein Gesetz für die Elasticität des Pulverdampfs fußt. Dieses zeigt noch besser die geometrische Construction dieses Gesetzes und obiger Versuche, in Fig. 3, Taf. V. Hier sind die den Ladungen entsprechenden Dichtigkeiten des Pulverdampfs als Abscissen auf AB , und die dazu gehörigen Elasticitäten des Dampfs als senkrechte Ordinaten aufgetragen. Die punktirte krumme Linie AC ist der Ort für die beobachteten; die ausgezogene AD für die nach Rumford's Formel berechneten Elasticitäten; und die gerade Linie AB für die Elasticitäten, wie sie Robins bestimmt, der annimmt, daß sie gleichförmig mit den Dichtigkeiten wachsen, und daß die grösste 1000mahl so groß sey, als der mittlere Luftdruck. *)

*) Für die Ladungen von 2 bis 15 Gran Pulver, oder von 0,039 bis 0,585 des Rauminhalts der Kammer, stimmt in der That das Rumfordsche Gesetz für die Abhängigkeit der Elasticität des Pulverdampfs von dessen Dichtigkeit, so gut mit der Erfahrung überein, daß es sich innerhalb dieser Grenzen mit großer Wahrscheinlichkeit als das Wahre annehmen läßt. Allein über diese Grenzen hinaus weicht es für grössere Dichtigkeiten von der Erfahrung so schnell und zusehends ab, daß es hier keine

Es dauerte bis in den Juli, ehe die Versuche fortgesetzt werden konnten. Der Lauf war reparirt und gereinigt, dabei aber die Mündung desselben etwas erweitert worden, so daß nun der Vierundzwanzigpfünder von 8081 Pfund, auf den Lauf einen Druck ausübte, der nicht mehr 10977, sondern nur noch 9431mahl so stark als der mittlere Luftdruck war. Dieselben, welche die vorigen Versuche gemacht hatten, stellten auch diese an; und da sie in ihnen schon geübt waren, so sieht Graf Rumford diese Versuche als eben so zuverlässig an, als wäre er bei ihnen gegenwärtig gewesen, ob er gleich damahls nicht in München war.

Gültigkeit mehr haben kann. Zur größtmöglichen Dichtigkeit $x = 1000$, würde danach eine größtmögliche Elasticität gehören, welche nur 29178mahl so groß als der mittlere Luftdruck wäre, indess Graf Rumford sie in diesem Falle auf mehr als 54752mahl so groß als den mittlern Luftdruck, seinen vorläufigen Versuchen gemäß, fand, (*Ann.*, IV, 276, a.) Soll z diesem Falle entsprechen, so müßte es $= 0,00049 \cdot x$ seyn. Dieses zeigt hinlänglich, daß man mit einem so einfachen Gesetze nicht ausreicht, und daß für größere Dichtigkeiten wahrscheinlich noch ein oder mehrere Glieder zu der Rumfordschen Formel hinzu kommen müssen, wenn man überhaupt diese Form der Abhängigkeit beibehalten will. Doch ist es überhaupt wohl noch zu früh, an dieses Gesetz zu denken, bevor man nicht die Anomalien in den gleich folgenden Versuchen gehörig ins Helle gebracht hat. *d. H.*

Zeit, wenn der Versuch angestellt wurde Jul. 1793. St. M.	Zustand der Luft.		Pulverladung.		Ein Gewicht von 3081 Pf. Av. d. P., das 9431- mahl so stark als der mittlere Luftdruck lastete, wurde beim Verfuche
	Ther- mo- meter- stand. Fahr.	Baro- meter- stand. Engl. Zoll.	in Gran Av. d. Pois- Gew.	in Thei- len des In- halts des Laufs.	
1ste 4 — A	88°	28,37	17	0,663	gehoben mit gewal- tigem Knalle
4 30 —	—	—	17	0,663	} bei allen 3 Ladun- gen gehoben, mit einem lau- ten Knalle
4 45 —	—	—	16	0,624	
5 — —	—	—	15	0,585	
5 30 —	—	—	12	0,468	nicht gehoben
6 — —	—	—	13	0,507	eben gehoben mit sehr schwachem Knalle
2te 9 — M	71°	28,38	13	0,507	gehoben mit lautem Knalle
9 30 —	—	—	12	0,468	gehoben mit schwa- chem Knalle
10 — —	—	—	—	—	gehoben mit sehr schwach. Knalle
10 30 —	80°	—	11 $\frac{7}{8}$	0,463	eben gehoben ohne Knall
3te 10 — M	70°	28,55	12	0,468	nicht gehoben
10 30 —	—	—	13	0,507	nicht gehoben
11 — —	75°	—	14	0,546	eben gehoben mit schwach. Knalle
4te 9 — M	70°	28,56	14	0,546	nicht gehoben
9 30 —	—	—	14	0,546	nicht gehoben
10 — —	72°	—	15	0,585	gehoben mit schwa- chem Knalle
10 30 —	—	—	15 $\frac{1}{2}$	0,605	gehoben mit schwa- chem Knalle
5te 9 — M	74°	28,42	15 $\frac{1}{2}$	0,605	gehoben mit gewal- tigem Knalle
9 30 —	—	—	13	0,507	gehoben mit star- kem Knalle
10 45 —	85°	—	12	0,468	eben gehoben mit schwach. Knalle
17te 9 0 M	75°	28,4	12	0,468	wie zuvor
9 45 —	—	—	12	0,468	nicht gehoben
10 30 —	—	—	11 $\frac{1}{2}$	0,439	eben gehoben ohne Knall
11 — —	—	—	11 $\frac{1}{2}$	0,439	wie zuvor.

Bei der vorigen Reihe von Versuchen, welche in einer kälteren Jahreszeit angestellt wurden, wäre eine Ladung von etwa 17 Gran Pulver erfordert worden, um einen 9431mahl grössern Druck als den mittlern Luftdruck auszuüben. Bei diesen Versuchen in der heißen Jahreszeit übte unter günstigen Umständen eine Ladung von 12 Gran, ja unter den günstigsten eine Ladung von $11\frac{1}{3}$ Gran, diesen Druck aus. *) Nun aber folgt aus dem im Herbste 1792 angestellten Versuche, wo, bei ganz gefülltem Laufe, der Lauf zerfrang, daß damals, bei kaltem Wetter, der Druck der vollen Ladung 55000mahl so groß, als der mittlere Luftdruck seyn mußte. Bei warmem Wetter wird dieser Druck daher noch um sehr vieles größer seyn. **)

*) Diese außerordentliche Verschiedenheit in der Kraft des Pulvers, wovon am 1ten bei 80° Wärme $11\frac{1}{3}$ Gran den Vierundzwanzigfünder hoben, am 4ten bei 70° Wärme eine Ladung von 14 Gran ihn nicht hob, und am 17ten gar eine Ladung von $11\frac{1}{3}$ Gran ihn bei 75° Wärme hob; und die Umstände, von der diese Verschiedenheit abhängen, verdienten gewiß gar sehr genauere Untersuchungen.
d. H.

**) Da zu einer Ladung von 12 Gran eine Dichtigkeit x von 468 Tausendtheilen der größtmöglichen gehört, so war, nach der Formel ($y = x^{1+0,004 \cdot x}$), für diesen Fall $y = 468^{1,1872} = 1479,5$. Nun aber ist die Expansivkraft einer entzündeten Ladung, welche den Vierundzwanzigfünder hob, 9431mahl so stark, als der mittlere Luftdruck; folglich

Versuche über das allmähliche Entzünden des Pulvers.

Vielleicht macht man mir, sagt Graf Rumford, gegen diese Behauptungen über die Kraft des Schießpulvers folgende Einwendung, die auf den ersten Anblick sehr triftig scheint, sich aber leicht heben läßt: „Wenn die Kraft des Schießpulvers in der

war in diesem Falle der für γ gefundene Werth mit $\frac{9431}{1479,5}$, d. h. mit 6,3744, zu multipliciren, um die Elasticität des Pulverdampfs im mittlern Drucke der Atmosphäre als Einheit ausgedrückt zu haben. Da nun, wenn der Lauf voll Pulver ist, nach Rumford's Formel $\gamma = 1000^{1/4} = 15849$ ist, und dieses, mit jener Zahl multiplicirt, 101201 giebt; so muß, schließt Graf Rumford, in der heißen Jahreszeit, bei günstigen Umständen, der Druck einer vollen Ladung, (und mithin der anfängliche Druck in jedem Geschütze,) wenigstens 101201mahl stärker, als der mittlere Luftdruck seyn. Wie wir aber in der vorigen Anmerkung gesehen haben, bleibt Graf Rumford's Formel bei diesen großen Dichtigkeiten beträchtlich unter der Wahrheit, und giebt bei voller Ladung statt eines Drucks von 54752, nur einen von 29178 Atmosphären; folglich würde die Kraft des Pulverdampfs in diesem Versuche vielmehr $\frac{54752}{29178} \cdot 101201$, d. i. 190922mahl höher als der mittlere Luftdruck zu schätzen seyn. Und das wäre noch nicht einmal die größte Kraft des Pulvers, da in einem der Versuche gar $11\frac{1}{4}$ Gran Ladung den Druck von 9431 Atmosphären ausübte. d. H.

That so unglaublich groß ist, *wie kömmt es, daß das Feurgewehr, das sicher nicht darauf berechnet ist, einer so erstaunlichen Kraft zu widerstehn, beim Gebrauche nicht allesammt zerpringt?*“ Hierauf möchte ich mit einer andern Frage antworten, woher es nämlich gekommen sey, daß bei meinen Versuchen ein Lauf, der im Verhältnisse seiner Bohrung über 10mahl so stark, als das stärkste Geschütz war, durch die Kraft des Pulvers gesprengt wurde, wäre diese Kraft nicht bei weitem größer, als man bisher geglaubt hatte. Doch es ist hierbei keine solche Ausflucht vonnöthen; sondern jene Frage wird genugthuend beantwortet seyn, wenn ich zeigen kann, daß sich *das Schießpulver viel langsamer, als man bisher glaubte, entzündet.*

Robins nimmt bei seiner Theorie der Artillerie an, daß die gesammte Pulverladung nicht bloß entzündet, sondern auch schon verbrannt, und in einen elastischen Dampf verwandelt sey, *bevor die Kugel merklich aus ihrer Stelle gerückt ist.* Ich habe schon vorhin, (*Ann.*, IV, S. 279,) mehrere Gründe aufgestellt, warum ich zweifle, daß, wenn gleich die *Entzündung* des Pulvers sehr schnell geschieht, doch die *Verbrennung* so *augenblicklich* vor sich gehe, als man annimmt. Ich will nun noch mehrere Versuche nachtragen, welche diese Sache außer allen Zweifel setzen.

Es ist eine bekannte Sache, daß beim Abbrennen aller Feurgewehre, es sey Kanonen, Mörser oder Musketen, immer eine beträchtliche Menge

nicht verzehrter Pulverkörner mit hinaus geworfen wird; und, was besonders merkwürdig ist, diese nicht verzehrten Pulverkörner fahren nicht bloß zur *Mündung*, sondern auch zum *Zündloche* oder zur *Zünderöhre* hinaus, obgleich durch diese das Feuer, das die Ladung entbrennt, hineinkömmt, wie das viele wissen, die das Unglück gehabt haben, mit dem Gesichte nahe beim Zündloche einer losgeschossenen Flinte zu stehn.

Nun aber scheint es mir höchst unwahrscheinlich, wo nicht völlig unmöglich, daß ein Pulverkorn, welches wirklich in der Pulverkammer, und ringsum mit Feuer umgeben ist, *unentzündet* durch die Wirkung dieses Feuers zur Zünderöhre könnte hinausgetrieben werden. War aber das Korn wirklich beim Hinausfahren entzündet, und findet sich doch *unverzehrt* in einiger Entfernung vom Geschütze; so ist, wie ich glaube, dieses ein entscheidender Beweis, daß das Schießpulver sich lange so schnell nicht entzündet, als man allgemein glaubt, ja daß, so unglaublich dieses auch scheint, ein ringsumbrennendes Pulverkörnchen, wenn es *mit einer sehr großen Geschwindigkeit* durch die kalte Luft getrieben wird, verlöschen, und der Ueberrest desselben unverändert, und noch eben so entzündlich als zuvor herabfallen könne. Diese sonderbare Thatfache wurde durch folgenden Versuch aufser allen Zweifel gesetzt.

Ich verschaffte mir von einer Pulvermühle unweit München Pulver von einerlei Beschaffenheit,

aber sehr verschieden gekörnt, einiges so fein wie das feinste Pirschpulver, anderes fast so grob als Erbsen. Ferner spannte ich in 5 doppelte, mit Charnieren versehene Rahmen, die sich zusammenklappen ließen, sehr dünnes Papier, setzte diese Rahmen senkrecht und parallel in Entfernungen von 12 Zoll hinter einander, lud dann eine gewöhnliche Flinte mit jenem Pulver, bald mit, bald ohne Werk, und feuerte es gegen das vordere Papier ab, um daran die Wirkung und die Menge der nicht verzehrten Pulverkörner wahrzunehmen. Die Mündung des Flintenlaufs stand in einigen Versuchen 8, in andern 10 oder 12 Fuß vom vordern Papiere ab. Auch die Ladung wurde auf mannigfaltige Art abgeändert. Den interessantesten Versuch gab ein grobes Korn, das mit einer Menge feiner Körner losgeschossen wurde. Dieses grobe Korn erreichte jedesmahl das Papier, und, ob es gleich manchmahl bei der Explosion in mehrere Stücke zertrümmert zu seyn schien, so erreichte es doch häufig das erste Papier noch ganz; und ging manchmahl durch alle 5 Papiere durch, ohne zu zerfallen. Wurde es von einer starken Ladung, und mithin sehr geschwind getrieben, so brannte es selten, wenn es das erste Papier erreichte, wie daraus klar war, daß es dieses nicht in Brand steckte, (wie das zu andern Zeiten geschah,) und es pflegte dann, nachdem es alle 5 Papiere durchbohrt hatte, in einem dahinterstehenden Brette aus weichem Holze entweder selbst zu stecken, oder dort Spuren gelassen zu haben,

dafs es dagegen getroffen und zerftiebt fey. Man fand die Stücke deffelben häufig am Boden, und fehr oft zeigte ihre Gestalt, Gröfse und Ausfehen deutlich, dafs die kleine Pulverkugel gebrannt, und ihren Durchmesser dadurch vermindert hatte, ehe es in der kalten Luft verlöfcht war. Auch fchiene die Löcher, die das Pulverkügelchen in die Papiere fchlug, zu beweifen, dafs es kleiner geworden fey. Dafs fie beim Losbrennen wirklich entzündet waren, daran läfst fich kaum zweifeln; in einigen Verfuchen kamen fie wirklich noch entzündet an die Papiere, und fetzten fie in Flammen; war die Ladung klein, fo fah man fie in ihrem Flusse brennen, und dann blieb keine Spur derfelben fichtlich. Manchmahl gingen fie durch die vordern Papiere durch, ohne fie in Flammen zu fetzen, entzündeten eins oder mehrere der hintern, und fchlugen dann in das Brett ein.

Diefe Verfuche beweifen zur Genüge, dafs das Pulver keinesweges fo augenblicklich verzehrt wird, als man es fich dachte. Noch mehr in die Augen fallend ift indess folgender Verfuch. In den Lauf einer gewöhnlichen, unter einem Winkel von 45° geneigten Piftole, wurde ein Stückchen rothglühendes Eifen hinabgelaffen. Als man darauf eins von den Pulverkörnern von der Gröfse einer Erbfe hinabrollen liefs, wurde es entzündet, und durch den elastifchen Dampf, der fich dabei entwickelte, in die Luft hinaufgeworfen, wobei es einen fchönen Lichtftreifen hinter fich liefs, und gleich einem Stern-

Sternschnupfen plötzlich verschwand. Ich wiederholte diesen ergötzenden Versuch häufig, und mit Pulverkörnern von verschiedener Größe. Sehr kleine waren mehrentheils verzehrt, ehe sie aus dem Laufe hinaus kamen; wurden ihrer aber mehrere zugleich in den Lauf hinabgelassen, so wurden gewöhnlich einige entzündt in die Luft hinausgeworfen.,

Da es hauptsächlich an diesem allmählichen Verzehren des entzündeten Pulvers liegt, warum man die außerordentliche Kraft desselben bisher nicht gehörig wahrgenommen hat; so sieht man, daß das einfachste Mittel, die Gewalt des Pulvers zu vermehren, darauf beruht, ein schnelleres Entzünden und Verbrennen der Pulverladung zu bewirken. Ueber mehreren Wegen, auf denen dieses zu bewerkstelligen ist, kenne ich keinen leichtern und wirksamern, als die Ladung, mittelst eines Schusses aus einem kleinen Feuegewehre, durch eine enge Oeffnung zu entzünden. Vor vier oder fünf Jahren liefs ich eine solche Vorrichtung zum Abfeuern der Kanonen ausführen, und sie wurde bei wiederholten Versuchen nützlich, brauchbar und zuverlässig befunden. Sie überhöhe uns, bei jedem Schusse Pulver auf die Pfarne zu schütten, auch der Zündröhren und der Luntens, und würde dadurch für See- und Landkriege von Nutzen seyn.

Eine zweite untrügliche Art, die Wirkung des Pulvers im Schiefsgewehre beträchtlich zu erhöhen, besteht darin, die Gewehre so einzurichten, daß die Kugel ihre Bewegung, wenigstens an der Stelle,

wo sie vor der Ladung fest liegt, vollkommen ohne Lücken ausfüllte. Denn sonst entwischt nicht nur im Augenblicke des Entzündens eine Menge elastischen Pulverdampfs durch die Zwischenräume, sondern, was noch schlimmer ist, zugleich fliegt auch eine Menge noch unverzehrtes Pulver aus der Kammer mit hinaus, welches, so lange die Kugel im Laufe ist, vor ihr abbrennt, und dadurch ihre Geschwindigkeit mindert. In manchen Fällen geht dadurch unglaublich viel Kraft verloren, wie sich das leicht durch Versuche zeigen läßt.

Feuert man einmahl aus einer gewöhnlichen Pistole eine lose darin liegende Kugel mit einer so schwachen Ladung ab, daß sie in einer gewöhnlichen, 6 Fuß entfernten Tannenbrette nicht einmahl stecken bleibt; so wird dieselbe Kugel, wenn keine Oeffnung zwischen ihr und dem Laufe bleibt, mit derselben Ladung aus derselben Pistole geschossen, nicht bloß durch das Tannenbrett durchschlagen, sondern noch in ein zweites dahinter liegendes eindringen. Dieses habe ich oft versucht.

Ich besitze eine Flinte, aus der ich mit einer gewöhnlichen Flintenladung zwei Kugeln zugleich abschiesse, und beiden die Geschwindigkeit geben kann, die eine einzige Kugel von einer gewöhnlichen Muskete mit derselben Ladung erhält. Der ganze Vortheil beruht darauf, daß der Lauf, da, wo er an die Pulverkammer anschließt, sich so verengert, daß die hintere Kugel ihn ringsum genau ausfüllt, und darin fest sitzt, und daß man zugleich

Mittel anwendet, alle Zwischenräume zwischen Lauf und Kugel zu verstopfen.

Berechnung der Expansiv-Kraft der Wasserdämpfe im entzündeten Pulver.

Zum Beschluß füge ich noch *eine Berechnung* bei, aus der man sehn kann, daß, so ungeheuer auch die Kraft des Pulverdampfs ist, sie sich doch vollkommen aus meiner Hypothese erklären läßt, nach der sie einzig und allein *der Elasticität der Wasserdämpfe* zuzuschreiben ist. (*Annal.*, IV. 277.)

Man weiß, besonders mittelst der sehr gut durchgeführten Versuche des Ritters von Betancourt, die 1790 in Paris bekannt gemacht wurden, daß bei jeder Zunahme der Temperatur um 30° Fahr. vom Frost- bis zum Siedepunkte, die Elasticität der Wasserdämpfe verdoppelt wird. Nun aber ist ihre Expansivkraft bei 212° nach Fahrenheit dem mittlern Luftdrucke gleich, und ich sehe nicht ab, warum dieses Gesetz nicht auch über den Siedepunkt hinaus gelten sollte. *) Folglich müßte sie bei 212° + 30° 2mahl, bei 212° + 2. 30° 4mahl, und bei 212 + 30 . x Grad, 2^x mahl größer als der mittlere Luftdruck seyn. Das gäbe z. B. für Waf-

*) Ist dieses gleich zweifelhaft, so erhellt aus des Grafen Berechnung doch wenigstens so viel, daß sich die unglaubliche Kraft des entzündeten Pulvers völlig aus der Expansiv Kraft der im Entzünden sich entwickelnden und stark erhitzten Wasserdämpfe erklären lassen.

d. H.

ferdämpfe, die bis 722° nach Fahrenheit, ($= 212 + 17.30$) $^{\circ}$ erhitzt würden, einen $27 = 131072$ mahl größern Druck, als den mittlern Luftdruck.

Nun schmelzt das Schießpulver bei seiner Entzündung Kupfer, das in kleinen Stücken darunter gemischt ist; um Kupfer zu schmelzen, wird aber, wie bekannt, eine Hitze von 3807 Fahrenheitischen Graden, d. h. eine mehr als fünfmahl'größere Hitze, als die zum Beispiel angenommene von 722° , erfordert. Auch ist diese letztere Hitze nur um 122° größer, als die Siedehitze des Quecksilbers und des Leinöls, und noch um 355° kleiner, als die Hitze des am Tage roth glühenden Eisens. Sicher findet also beim Entzünden des Pulverdampfs noch eine viel größere Hitze als die angenommene statt, so daß die Wasserdämpfe, die sich in einem eingeschlossenen Raume aus dem entzündeten Pulver entwickeln, wahrscheinlich einen Druck ausüben, der noch viel stärker als 131072 mahl so groß, als der mittlere Luftdruck ist.

Nun wäre aber noch die Frage, ob im Pulver Wasser genug vorhanden ist, um die Pulverkammer im Augenblicke der Entzündung mit Wasserdämpfen anzufüllen? Darauf läßt sich jedoch leicht antworten. Das beste Schießpulver, dergleichen ich zu meinen Versuchen brauchte, besteht dem Gewichte nach aus 70 Theilen Salpeter, 18 Theilen Schwefel und 16 Theilen Holzkohle, enthält folglich in 100 Theilen, $67,1$ Theil Salpeter, $17,5$ Schwefel und $15,4$ Kohlen. Nach Kirwan sind aber in

100 Theilen Salpeter 7 Theile, mithin in 100 Theilen Pulver 4,711 Theile KrySTALLIFATIONS - WASSER. Da nun von gut geschütteltem Pulver 1 Kubik-Zoll 253,175 Gran Troy - Gewicht wiegt, (S. 266, a;) so muß 1 Kubik - Zoll vom trockensten Pulver zum wenigsten 10,927 Gran Wasser enthalten.

Aber aufer diesem KrySTALLIFATIONS - WASSER im Salpeter enthält das Pulver in der Regel noch eine Menge Feuchtigkeit, die sich daraus durch Abdampfung forttreiben läßt. Holzkohlen verschlucken an der Luft fast $\frac{1}{8}$ ihres Gewichts an Wasser, und aus meinen Versuchen, die ich mit Pulver anstellte das ich trocknete und dann wieder der Luft aussetzte, habe ich Grund, zu schliessen, daß die Kohle diese Eigenschaft, Feuchtigkeit zu verschlucken, im Pulver ungeschwächt behält. Setzen wir indefs auch nur $\frac{1}{8}$ verschluckter Feuchtigkeit in der Kohle, so gäbe das auf 1 Kubik-Zoll Pulver 4,875 Gran Feuchtigkeit. Daß dieses sicher nicht zu viel gerechnet ist, beweist Graf RUMFORD dadurch, daß 1160 Gran Pulver, mitten aus einem Haufen, der völlig trocken schien, genommen, und einer bis 200° erwärmten Luft ausgesetzt, in 15 Minuten, 11 Gran an Gewicht verloren hatten. Der Kubik-Zoll Pulver hatte also schon, 2,4 Gran Feuchtigkeit verloren, und doch enthielt er wahrscheinlich noch mehr Feuchtigkeit, als die bereits verdunstete.

Berechnen wir nun auch die Wassermenge, welche, in Dampf verwandelt, beim mittlern Luftdru-

cke 1 Kubik-Zoll Raum einnehmen würde, so zeigt sich, daß sowohl das Krytallisations-Wasser des Salpeters, als auch die wenige Feuchtigkeit im Pulver, hierzu mehr als hinreichen muß. Denn ist gleich die Dichtigkeit des Wasserdampfs noch nicht so genau bestimmt, als man wohl wünschen könnte; so ist doch so viel gewiß, daß er wenigstens 2000mahl dünner als Wasser ist, wenn beide die Temperatur von 212° haben. Einige halten ihn für 10000mahl dünner als Wasser, und mehrere Versuche scheinen das zu bestätigen; doch wollen wir lieber die Dichtigkeit desselben so hoch als möglich annehmen. Da nun 1 Kubik-Zoll Wasser 255,175 Gran wiegt, so beträgt das Gewicht von 1 Kubik-Zoll Wasserdampf bei einer Temperatur von 212° , höchstens 0,1266 Gran, und mithin enthält 1 Kubik-Zoll Pulver 86mahl mehr Krytallisations-Wasser und 38mahl mehr Feuchtigkeit, als nöthig ist, um 1 Kubik-Zoll Wasserdampf zu geben.

Gewiß ist also im Pulver viel mehr Wasser vorhanden, als erfordert wird, um aus dessen Verwandlung in Dampf die ungemaine Kraft des entzündeten Schießpulvers ableiten zu können; selbst dann, wenn auch während der Entzündung kein Wasser durch Zusammenetzung entsteht. Ja die zu große Menge von Wasser im Pulver ist wahrscheinlich der Wirkung nachtheilig; und diese würde vermuthlich viel größer seyn, könnte man diese Wassermenge vermindern.

Man sieht aus dieser Berechnung, daß das Schwierige bei meiner Erklärung nicht sowohl darin besteht, die Kraft, welche das Pulver wirklich ausübt, zu erklären, als vielmehr den Grund anzugeben, warum diese Kraft nicht noch viel größer ist. *)

*) Bemerkungen über diese Berechnung und über die bisherigen Theorien des Schießpulvers im Vergleich mit der Rumsford'schen, verspare ich für einen eignen Aufsatz im nächsten Stücke. *d. H.*
