

---

I. *Ueber das Glühen und Schmelzen von Metall-  
drähten durch Elektricität; von Peter Riefs.*

(Auszug aus einer am 5. Juni 1845 in der Acad. der Wissensch.  
gelesenen Abhandlung.)

---

Die von den Alten erzählten auffallenden Wirkungen des Blitzes, als deren Typus der in unverletzter Scheide geschmolzte Degen genannt werden kann, haben zu einer merkwürdigen Hypothese über die Schmelzung durch den Blitz, oder durch Elektricität überhaupt geführt. Franklin stellte im Jahre 1747 <sup>1)</sup> die Ansicht auf, daß der Blitz die Cohäsion eines Metalles ohne Hülfe der Wärme löse und eine kalte Schmelzung desselben zu Wege bringe. Als indeß ein durch den Blitz geschmolzter Glockendraht die Diele eines Zimmers versengt, und Kinnersley an künstlicher Elektricität die Entdeckung gemacht hatte, daß dieselbe ein Metallstück desto stärker erhitze, je kleiner der Querschnitt desselben ist, daß daher der Blitz der Spitze eines Degens die Schmelzhitze geben könne, ohne den übrigen Theil der Klinge bedeutend zu erwärmen, — da nahm Franklin seine Ansicht zurück <sup>2)</sup> und tadelte sich selbst heftig, dieselbe auf ein nicht gehörig constatirtes Factum gegründet zu haben. Offenbar ist der große Mann ungerecht gegen seine 15 Jahre früher gehegte Vorstellung gewesen; mag Senecas Erzählung der Anlaß zur Aufstellung und Fassung seiner Hypothese gewesen seyn, die Stütze derselben war nicht sie, sondern die Meinung, daß das Schmel-

1) *Experiments and observations* \* Lond. 1774. p. 52.

2) *Ibidem*, p. 419.

zen durch Feuer verschieden von dem durch Elektricität sey. Es kann daher nicht befremden, daß die Vorstellung einer kalten Schmelzung etwa 40 Jahre später von Berthollet wieder aufgenommen wurde <sup>1)</sup>, der jede elektrische Einwirkung auf eine Substanz durch Auseinandertreibung der Partikel derselben erklärte und die bei der Schmelzung auftretende Wärme, die er, durch ungenügende Versuche verleitet, freilich viel zu gering anschlug, als ein secundäres Phänomen auffaßte.

Die Hypothese einer durch primäre Wirkung der Elektricität hervorgebrachten Schmelzung hat das schlimme Schicksal gehabt, theils vergessen, theils wie die Anekdote vom Fische Karls des Zweiten, dazu benutzt zu werden, vor Hypothesen zu warnen. Einer neuen Hypothese über die elektrische Schmelzung glaubte man nicht zu bedürfen. Nachdem van Marum mit großen Mitteln eine Reihe schätzenswerther Versuche über die Wirkungen der verstärkten Elektricität angestellt hatte, begnügte man sich, diese Versuche rubricirt neben einander zu stellen. Man ging sogar einen Schritt hinter van Marum zurück. Wenn der holländische Physiker über einige der elektrischen Wirkungen seine Verwunderung ausdrückt, so deutet er damit an, daß er ein Band zwischen ihnen gesucht habe, und daß ein solches zu suchen sey. In den physikalischen Lehrbüchern aber wird ohne weitere Bemerkung ausgesagt, daß die Elektricität Hitzewirkungen äußere, und hierzu wird das Glühen, Schmelzen und Zerstäuben der Metalle gerechnet, daß sie mechanische Wirkungen hervorbringe, wobei das Zersprengen unvollkommener Leiter angeführt wird, und endlich, daß sie chemische Zersetzungen veranlasse. Eine solche Trennung der Erscheinungen ist nicht geeignet eine richtige Erkenntniß der Wirkungsart der elektrischen Entladung zu geben, ja sie konnte sogar diese Erkenntniß lange Zeit vereiteln. Sah man nämlich Glühen

1) Chemische Statik \*. Berl. 1811. Bd. 1, S. 270.

und Schmelzen durch Elektricität als eine unmittelbare Folge der erregten Wärme an, so erschien es genügend, die Gesetze der elektrischen Wärmeerregung zwischen irgend welchen Temperaturgraden zu untersuchen, die, bei der hier nothwendigen Anwendung des Luftthermometers, nicht weit von der Lufttemperatur entfernt gewählt werden konnten.

Ich habe die Wirkung steigender elektrischer Entladungen auf Drähte einer neuen Untersuchung unterworfen, und habe gefunden, dafs von einer gewissen Stärke der Entladung an die thermischen und mechanischen Erscheinungen an einem Drahte stets gleichzeitig vorhanden sind, und daher die Hypothese Franklin's einer kalten Schmelzung sich von der Wahrheit nicht weiter entfernt als die allgemein angenommene einer nur heifsen Schmelzung. Zugleich stellte sich eine Verschiedenheit der Fortpflanzungsart der Elektricität in guten Leitern heraus, die mir beachtenswerth erscheint, da sie über vielfache, bisher vereinzelt dastehende elektrische Wirkungen Aufschluß giebt. In dem folgenden Auszuge sind die Versuche ausführlicher beschrieben, von welchen die Drähte, mit Bernsteinfirnis auf Papier befestigt, aufbewahrt worden sind. Eine Abbildung dieser Probestücke schien mir nicht vollkommen genug gegeben werden zu können, um die Deutlichkeit der Beschreibung zu erhöhen.

#### Berechnung eines Schmelzpunktes aus beobachteten Erwärmungen.

Ein dünner Platindrath, in die Kugel eines Luftthermometers eingeschlossen, wurde in vier successiven Versuchsreihen von verschiedener Länge genommen, und die Erwärmung beobachtet, welche durch verschieden starke Entladungen einer elektrischen Batterie in demselben erregt wurde. Diese Erwärmungen konnten auch

nach der von mir früher aufgestellten Formel <sup>1)</sup> berechnet werden, nachdem die beiden Constanten der Formel bestimmt waren. Es ergab sich folgende genügende Uebereinstimmung der Beobachtung und Berechnung:

Länge des Drahts.	Temperatur für Einheit der Ladung	
	nach Beobachtung.	nach Formel.
141,6 Linien	0,270 C.	0,2688
91,66	0,338	0,3419
48,75	0,449	0,4461
34,75	0,495	0,4953.

Die kleinste Drahtlänge war noch zu groß, um durch eine Entladung der hier gebrauchten Batterie geschmolzt zu werden, ich verkürzte den Draht daher bis auf 15 Linien, und konnte ihn nun durch die in vier Flaschen angehäuften Elektrizitätsmenge 38, oder die in fünf Flaschen befindliche Menge 42 gänzlich schmelzen. Wird die Formel auf diese Fälle angewendet, so erhält man für die Temperatur des zerstörten Drahtes 211,8 und 207,0 Grad der hunderttheiligen Skale, Temperaturen, die nicht zum Glühen, geschweige denn zum Schmelzen des Platins hinreichen.

Diese Temperaturen konnten auch nach anderen Beobachtungen berechnet werden. Es befand sich nämlich bei allen Versuchen im Schließungsbogen der Batterie unveränderlich ein dicker Platindraht, dessen Erwärmungen beobachtet wurden, die nach der erwähnten Formel ein bestimmtes Verhältniß zu den Erwärmungen des dünnen Drahtes haben. Auch diese Berechnung giebt eine genügende Uebereinstimmung mit der Beobachtung.

1) Poggendorff's Annalen, Bd. 45, S. 23.

Länge d. Drahts.	Erwärmungen des dünnen Drahts	
	nach der Erwärmung des dicken Drahts berechnet.	beobachtet.
141,6	0,2792	0,270
91,66	0,3346	0,338
48,75	0,4427	0,449
34,75	0,4906	0,495
15,0	0,6792.	

Die Temperatur des dünnen Drahts bei einer Länge von 15 Linien würde hiernach bei der Einheit der Ladung 0,6792 betragen, und für die Zerstörung desselben 239,6 und 245,2 Grade ergeben. Es ist bemerkenswerth, daß diese Temperaturen keinesweges geringer sind, als die vorhin gefundenen. Wenn nämlich, wie es der Fall ist, die Beobachtungen am dicken Drahte eine größere Temperatur des dünnen Drahtes geben, als die Beobachtungen am dünnen Drahte selbst, so ist dadurch die Vermuthung widerlegt, daß der Verzögerungswerth des dünnen Drahtes mit Verkürzung desselben nicht stetig abnehme, sondern nur bis zu einer Gränze, die oberhalb von 15 Linien läge. Beiläufig ist zu merken, daß alle angegebenen Temperaturen bei der Zerstörung dieses Drahtes eher zu groß, als zu klein sind, da die Entladung mit der ganzen, in der Batterie befindlichen Elektrizitätsmenge in Rechnung gebracht ist, obgleich, wie sich später zeigen wird, ein nicht unbeträchtlicher Theil dieser Menge nach der Entladung in der Batterie zurückbleibt.

Es bedarf keiner weitläufigen Auseinandersetzung, um zu zeigen, daß eine Temperatur von 245 Graden (es ist dieß die höchste, die aus einem einzelnen Versuche berechnet wurde) nicht die sey, welche das durch Elektrizität geschmolzte Platin wirklich besitzt. Durch eine geringere Elektrizitätsmenge, als die hier gebrauchte, schmilzt Platindraht zu kleinen glänzenden Kugeln, die oft an der Wandung einer in  $\frac{1}{4}$  Zoll Entfernung gehaltenen Glasröhre so fest anschnolzen, daß sie nur mit

Verletzung des Glases gelöst werden konnten. Aus den beigebrachten Versuchen folgt aber, daß die elektrische Schmelzung der Metalle kein secundäres Phänomen ihrer Erwärmung ist, und daß lange zuvor, ehe ein Metall durch Steigerung seiner Erwärmung schmelzen würde, es wirklich schmilzt. Wir müssen demnach in der Schmelzung eine elektrische Wirkung erkennen, die von der Erwärmung durch Elektrizität gänzlich getrennt ist, und deren Gesetze gesondert studirt werden müssen. Diese Trennung der beiden Erscheinungen, die hier indirect gefunden wurde, ergibt sich auf sehr augenfällige directe Weise, wenn man bei dem Uebergange von der normalen Erwärmung zur Schmelzung auf den Zustand des der elektrischen Entladung ausgesetzten Drahtes sein Augenmerk richtet. Ehe die Stärke der Entladung erreicht ist, die den Draht zum Glühen bringt, treten eigenthümliche Aenderungen im Ansehen des Drahtes ein, und gleichfalls, ehe man das Schmelzen desselben erhält, erfährt er Einwirkungen, die keine Aehnlichkeit mit den der Erwärmung zugehörigen haben.

Erscheinungen, die dem Glühen vorangehen und dasselbe begleiten.

#### Erschütterung, Dampf.

Die bisher gebrauchte Batterie, aus fünf Flaschen bestehend, deren jede  $1\frac{1}{2}$  Quadratfuß belegte Fläche enthielt, ertrug die Ladungen nicht, welche zu vielen der nachfolgenden Versuche nöthig sind; ich ersetzte sie daher durch eine andere von sieben Flaschen mit 2,6 füßiger Belegung. Diese Flaschen stehen auf einer durch Glasfüße isolirten, mit Stanniol bekleideten Holzplatte von 27 Zollen Durchmesser, und tragen *f*-förmige, mit ihrem Innern verbundene und in Charnieren bewegliche Metallstücke, durch welche sie in beliebiger Anzahl mit einander zu verbinden sind. Die Maassflasche, durch

welche die Ladung dieser Batterie gemessen wurde, war die frühere mit  $\frac{1}{2}$  Quadratfuß Belegung; ihre Kugeln waren, wie früher, bis auf  $\frac{1}{2}$  Linie einander genähert, nur nahm ich jetzt die zweien Explosionen entsprechende Elektrizitätsmenge zur Einheit an. Diese Einheit ist im Folgenden gleichfalls zu verstehen bei Versuchen, die mit der alten Batterie angestellt sind, in welchem Falle die Flaschenzahl mit einem Asterisk bezeichnet werden soll.

In den Schließungsbogen der Batterie wurde ein Platindraht von 34 Linien Länge und 0,0209 Lin. Radius mittelst zweier starken Federn aus Glockenmetall eingeschaltet. Bei der Entladung von steigenden Elektrizitätsmengen wurden folgende Erscheinungen an dem Drahte bemerkt:

Versuch 1.

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	
4 *	5	der Draht erzittert.
	7	ein Dampfstreifen steigt von ihm auf.
	9	kein Dampf. Schwache Einbiegung im Drahte.
	11	die Einbiegung verstärkt; eine neue.
	13	der Draht glüht; er ist vielfach eingebog.
	15	derselbe weißglühend. Mit vielen Einbiegungen, so daß er straff gezogen ist.

Versuch 2. Ein anderer Platindraht von 0,0261 Radius, 16 Lin. Länge, gab folgende Erscheinungen:

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	
4	6	Funke an der inneren Seite des Drahts (die dem Innern der Batterie zunächst liegt).
	8	Dampfstreifen am ganzen Drahte.
	9	Dampf. Funke an der äußeren Seite.

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	
4	10	dasselbe.
	11	weder Funke, noch Dampf. Starke Einbiegung.
	12	Funke an äußerer Seite. Einbiegung verstärkt.
	13	der Draht glüht.

Versuch 3. An einem anderen bedeutend dickeren Drahte (*rad* 0,04053) wurde Folgendes bemerkt:

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	
4	12	
	14	Funke an der äußeren Seite.
	16	Sprühfunke an der äußeren Seite.
	18	Einbiegung am Drahte.
	20	dieselbe verstärkt.
	22	mehrere Einbiegungen.
5	24	dieselben verstärkt.
	26	dasselbe.
	27	der Draht glüht.
	28	glüht hell, viele tiefe Einbiegungen.

Lange zuvor, ehe die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge erreicht ist, zeigen sich also am Drahte Erscheinungen, die ein gewaltsames Eindringen der Elektricität in denselben bekunden. Der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben. Oft geschieht gleichzeitig mit dem Auftreten der Funken das Losreißen größerer Metalltheile, die fortgeschleudert und erglühend dem Funken ein sprühendes Ansehen geben. Diese Erscheinungen fehlen zwar niemals, aber sie sind, in Betracht ihrer Stärke, nicht constant. Die Erschütterung ist um so sichtlicher, je beweglicher der Draht ist, und die Gröfse der Funken an



den Enden hängt vom Materiale des Drahts und von der Form und dem Materiale der Befestigungen ab. Hier, wo der Draht in abgerundeten Klemmen aus Glockengut lag, erschienen die Funken kräftig bei Drähten aus Platin, Palladium, Neusilber, minder glänzend bei Silber und Messing; bei Kupfer sind sie nicht bemerkt worden. Das Sprühen der Funken hängt von der Sprödigkeit des Metalles und von seiner Oxydirbarkeit ab; es ist bei Silber nicht eingetreten, bei anderen Metallen nur mit kurzen Strahlen, bei dem Eisen aber in größter Ausdehnung. Viel constanter als das Auftreten der Funken ist die Bildung der Dampf Wolke, die bei keinem Metalle gefehlt hat. Die Leichtigkeit, mit der der Dampf gebildet wird, variirt zwar von einem Metalle zum andern, aber in nicht höherem Maasse, als es bei verschiedenen Drähten desselben Metalles der Fall ist. Eine gewisse Sorte Platindrath gab so reichlichen Dampf, daß sich bei der ersten Entladung jedesmal ein Dampfstreifen von der ganzen Länge des Drahtes bildete, bei anderen Sorten kamen nur einzelne abgegränzte Dampflocken zu Stande. Zuweilen findet die Dampfbildung nur bei Einer Entladung statt und fehlt bei den folgenden Entladungen; zuweilen tritt sie auch bei aufeinanderfolgenden steigenden Entladungen ein, dann aber in abnehmender Stärke. Dieselbe wird wesentlich befördert durch eine gewisse Oberflächenbeschaffenheit des Drahtes und die größere oder geringere Anzahl von Furchen, welche das Ziehseisen auf dem Drahte zurückläßt, scheint einen bedeutenden Einfluß auf sie auszuüben. Ich habe einigemal bemerkt, daß nach sorgfältigem Poliren eines Drahtes die Dampfbildung in geringerem Maasse eintrat, als sie sonst der Drahtsorte eigen war.

#### Einbiegungen des Drahtes.

Die angeführten Erscheinungen am Drahte sind beachtenswerth, weil sie die Gewaltsamkeit zeigen, mit der

das Metall lange vor dem Glühen von der elektrischen Entladung erfasst wird, aber das Stadium ihres Auftretens und ihre Stärke sind, wie bemerkt worden, von manchen Zufälligkeiten abhängig. Ein besser gezogener, inniger befestigter Draht wird die Funken, den Dampf, vielleicht auch die Erschütterungen erst bei Anwendung einer größeren Elektrizitätsmenge zeigen, wie ein anderer weniger sorgfältig behandelter Draht. Es lässt sich daher aus dem Eintreten einer solchen Erscheinung im Allgemeinen nicht schließen, daß man durch eine bestimmte Steigerung der Entladung das Glühen eines Drahtes bewerkstelligen werde. Anders ist es mit der nun zu erwähnenden bleibenden Aenderung am Drahte, die mit dem Glühen wesentlich zusammenhängt und kurz vor demselben eintritt. Es ist die winklige Einbiegung des Drahtes, die bei einer Entladung plötzlich, wie von einem kantigen Instrumente eingedrückt, erscheint. Bei der ersten Entladung erscheint diese Einbiegung nur als Unterbrechung der glänzenden Lichtlinie, die ein polirter Draht im Tageslichte zeigt; durch Wiederholung derselben Entladung oder durch Steigerung derselben vertieft sich die Biegung immer mehr und es bildet sich ein meßbarer Winkel. Ein Platindraht (*rad* 0,021) war folgenden Entladungen ausgesetzt worden <sup>1</sup>):

Versuch 4.

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	
3	8	an der äußeren Seite des Drahts Funken, Dampf.
	9	Erschütterung, Einbiegung.
	10	letztere vertieft.
	10	dasselbe, neue Biegungen.

Man sieht an diesem Drahte, in weiter Entfernung

1) Die durch die Entladung veränderten Drähte wurden, mit Bernsteinfirnis auf Papier befestigt, hier und in der Folge in Natur vorgelegt.

von seinen Befestigungen, einen tief eingedrückten Winkel und auf der rechten Seite desselben mehrere schwache Einbiegungen. Vier andere Platin- und zwei Eisendrahte, die gleichfalls nur wenigen Entladungen ausgesetzt waren, erhielten gleichfalls tiefe Einbiegungen. Ueberall, wo die Einbiegung ungehindert stattfindet, ist sie stumpfwinklig; ich habe sie in mehreren Fällen gemessen und wenig von  $110^\circ$  verschieden gefunden. Weder die Dimensionen, noch das Material des Drahtes bringen hierin einen Unterschied hervor, wie die Winkel in einem dicken Platindrahte ( $\text{rad } 0,0405$ ), in einem Eisendrahte und in einem Kupferdrahte zeigen. Erschwert und theilweise verhindert wird die Winkelbildung, wenn der Draht in gerader Linie ausgespannt, oder in einem stark gewölbten Bogen einer bedeutenden Spannung ausgesetzt ist. Alsdann entstehen, statt der tiefen Einbiegungen, nur schwache Verdrückungen in großer Zahl, die leicht der Beobachtung entgehen; zuweilen auch reißt der Draht an der Stelle, wo sich der Winkel gebildet haben würde und der Draht nachzugeben verhindert ist. Aus gleichem Grunde ist der schon gebildete Winkel dem neu sich bildenden ein Hinderniß, und es entstehen so die mannigfachen Verzerrungen des Drahts, von welchen sogleich die Rede seyn wird. Die Einbiegungen entstehen bei der Entladung einer geringeren Elektrizitätsmenge, als die zum Glühen erforderliche; es ist zwar hier das am Tage sichtbare Glühen als Norm genommen, ich habe mich aber davon überzeugt, daß in vollkommener Finsterniß die Bildung der ersten Einbiegung mit keiner Lichterscheinung verbunden ist (die zuweilen auftretenden Funken an den Befestigungspunkten des Drahtes abgerechnet). Läßt man nach der ersten Einbiegung immer stärkere Entladungen durch den Draht hindurch, so treten stets neue Biegungen auf, die durch die vorhandenen beschränkt oder sie verzerrend, Krümmungen und Winkel in verschiedenen Ebenen hervorrufen und dem

Drahte zuletzt ein geripptes wellenförmiges Ansehen geben. Dieß wellenförmige Ansehen wird auch durch wiederholte Entladungen der Elektricitätsmenge hervorgebracht, die den Draht in's Glühen versetzt.

Alle vorgezeigten Drähte hingen beim Glühen in einem weiten Bogen; hätte man sie an dem einen Ende aufgehängt und an dem andern Ende mit einem Gewichte beschwert, so würden nicht Einbiegungen, sondern nur sehr schwache Einreifungen an ihnen bemerklich geworden seyn. Hierdurch wird der auffallende Umstand erklärlich, dafs, soviel man sich auch früher mit der elektrischen Schmelzung beschäftigt hat, doch erst in neuester Zeit die Erscheinung der Einbiegungen entdeckt worden ist. Ich selbst glaube der Erste gewesen zu seyn, der (im Jahre 1837) auf die winkligen Einknickungen eines Drahts durch elektrische Entladungen aufmerksam gemacht hat <sup>1)</sup>. Zwei Jahre später <sup>2)</sup> erwähnt zwar der jüngere Becquerel die wellenförmigen Einbiegungen sehr dünner Platindrähte (er hat sie nur bei Drähten von 0,016 Linie *rad.* hervorbringen können), die einem mehrmaligen Glühen ausgesetzt worden sind, erkennt aber ihre Bedeutung gänzlich, indem er sie als eine Folge des Glühens, und von ihnen unabhängig die Verkürzung der Drähte annimmt, zu der wir jetzt übergehen.

#### Scheinbare Verkürzung von Drähten.

Nairne machte 1780 die Entdeckung <sup>3)</sup>, dafs Drähte durch elektrische Entladungen, die sie glühend machen, verkürzt werden. Ein Eisendraht von 0,06 Lin. Radius und 10 Zollen Länge mafs, nachdem 15 starke Entladungen einer kräftigen Batterie durch ihn hindurchge-

1) Poggendorff's Annalen \*, Bd. 40, S. 340.

2) *Annales de chimie*, 2 Sér., T. LXXI, p. 44. — Poggendorff's Annalen \*, Bd. 48, S. 549.

3) *Philosoph. transact. f.* 1780 \*, p. 334.

gangen waren, nur noch 8,9 Zoll, war also um mehr als 1 Zoll verkürzt worden. Der Draht hatte sein Gewicht unverändert behalten, aber zwischen den Spitzen eines Tasterzirkels geprüft, schien er dicker geworden zu seyn.

van Marum verkürzte einen 18 Zoll langen Eisendraht von 0,109 Lin. Radius durch eine einzige Entladung um  $\frac{1}{4}$  Zoll und nahm ohne Prüfung an <sup>1)</sup>, daß der elektrische Entladungsstrom den Draht seitwärts ausgebreitet habe, wodurch dieser nothwendig kürzer geworden sey.

Nach diesen wenigen oberflächlichen Versuchen zögerte man nicht, ganz allgemein auszusprechen, daß Metalldrähte durch Elektrizität in die Dicke ausgedehnt und dadurch verkürzt werden <sup>2)</sup> Selbst in neuester Zeit hat der jüngere Becquerel, dem doch die Krümmungen der Drähte bekannt waren, ein Gesetz gesucht über die Verkürzung von Platindrähten nach Maaßgabe ihrer Halbmesser, und ohne Weiteres angenommen, daß die verkürzten Drähte dicker geworden sind <sup>3)</sup>. Ich habe über diesen Gegenstand neue Versuche anzustellen für nöthig gefunden.

Versuch 5. In den Federklemmen des Schließungsbogens wurde horizontal ein Platindraht von 0",02089 Radius befestigt, dessen Länge genau zu 42,66 Lin. bestimmt wurde. Die in 4 \* Flaschen angehäuften Elektrizitätsmenge 5 wurde elf Mal und die Elektrizitätsmenge 7 sechs Mal durch den Draht entladen. Die Entladungen der geringeren Elektrizitätsmenge hatte keinen sichtbaren Einfluß auf den Draht, durch die der größeren erhielt er zwei tiefe Einbiegungen. Nachdem derselbe

1) Beschreibung einer großen Elektrisirmaschine, erste Fortsetzung \*. Leipzig 1788. S. 13.

2) Gehler's neues Wörterb. \*, Bd. 8, S. 541. — Biot, Lehrbuch von Fechner, Bd. 2, S. 266.

3) Poggendorff's Annalen \*, Bd. 48, S. 549.

straff gezogen worden war, fand sich seine Länge genau 42,63 Lin., also wie zu Anfange.

Versuch 6. Ein Platindraht gleicher Dicke wurde schlaff in die Klemmen gelegt, nach jeder Entladung mäßig straff gezogen und gemessen.

Flaschen- zahl.	Elektrici- tätsmenge.	Erscheinung am Draht.	Länge desselb. in Linien.
			38,16
4 *	10	Einbiegungen	38,11
	—	Funke an d. Enden, Einbiegung	37,86
	—	dasselbe	37,76
	12	der Draht glüht schwach	37,51
	—	dasselbe	37,41
	14	hellglühend	37,21
	—	dasselbe	36,86

Hier war also der Draht um 1,3 Lin. verkürzt worden; das zackige Ansehen desselben, das durch das Straffziehen nicht beseitigt werden konnte, zeigte aber, daß diese Verkürzung nur scheinbar war. Als der Draht durch die Finger gezogen war, betrug seine Länge 37,21 und nach nochmaliger Glättung 37,41. Auch jetzt noch unterschied Gesicht und Gefühl die unebene Oberfläche des Drahts, die nur durch Druck gegen einen harten Körper hätte beseitigt werden können.

Versuch 7. Ein Platindraht von 0,0286 Radius wurde zehn Mal durch Entladungen zum Glühen gebracht; vor dem Versuche betrug seine Länge 77,5, nach demselben 72,3 Linien. Die scheinbare Verkürzung um 5,2 Linien wurde größtentheils beseitigt, als der Draht einmal durch die Finger gezogen war, wonach er 75,9 Linien maß. Es ist nicht zweifelhaft, daß die noch zurückbleibende Verkürzung um 1,6 Linien durch sehr feine Einbiegungen verursacht worden ist.

Versuch 8. Endlich habe ich den Versuch noch an einem Eisendrahte von 0",0266 Radius und 98,2 Linien Länge angestellt, und zwar in der Weise, wie er von

Andern ausgeführt worden ist. Der Draht nämlich, durch ein kleines birnförmiges Gewicht ( $12\frac{1}{2}$  Grammen) beschwert, wurde vertical gehängt, die Spitze des Gewichts aber durch ein mit einer Grube versehenes Metallstück gestützt. Nachdem der Draht acht Mal durch Entladungen in mäßiges Glühen versetzt war, maß er 90,7 Linien, zeigte also eine scheinbare Verkürzung von  $7\frac{1}{2}$  Linien. Durch sorgfältige wiederholte Glättung erhielt er eine Länge von 95,2 und 96,5 Linien, so daß also nur eine Verkürzung von 1,7 Lin. zurückblieb. Eine weitere Glättung, die dem Drahte unzweifelhaft seine erste Länge wieder gegeben hätte, würde die Anwendung von Feuer nöthig gemacht haben.

Die Drähte, welche zum 7. und 8. Versuche gedient haben, sind aufbewahrt worden; der Anblick derselben durch die Lupe zeigt sie mit einer großen Menge kleiner Biegungen bedeckt, welche die Verkürzung von nahe 2 Linien vollkommen erklärlich machen.

Es folgt aus diesen Versuchen, daß die bisher behauptete Verkürzung von Drähten durch Vergrößerung ihres Durchmessers, welche von starken elektrischen Entladungen bewirkt werden soll, in der Natur nicht stattfindet, und daß die scheinbare Verkürzung von Einbiegungen herrührt, die unter Umständen klein genug seyn können, um sich der oberflächlichen Betrachtung zu entziehen. Diese wenig merklichen Einbiegungen entstehen, neben anderen größeren, an stark gespannten Drähten und durch Entladungen, die den Draht in's Glühen versetzen. Schlaffhängende Drähte erhalten, wie S. 491 gezeigt worden ist, Einbiegungen durch elektrische Entladungen, die selbst in vollkommener Dunkelheit kein Glühen verursachen, und diese Entladungen wären hinreichend, jene Drähte scheinbar zu verkürzen, wenn nicht der größte Theil der Biegungen so stark wäre, daß sie von Keinem bei der Messung übersehen werden könnten.

Unter den Wirkungen des elektrischen Glühens wird

auch die Verlängerung von Drähten genannt, die durch Gewichte stark gespannt sind. Kinnersley hat dies 1761 zuerst ausgeführt, indem er eine 24 Zoll lange Klaviersaite, mit einem Pfundgewichte beschwert, aufhängte und durch eine elektrische Entladung glühend machte, wonach dieselbe über 1 Zoll verlängert war <sup>1)</sup>). Beccaria hat den Versuch in complicirter Weise angestellt <sup>2)</sup>). Eine Metallstange wurde auf eine Horizontalebene um einen Endpunkt drehbar gelegt, während das fein gezahnte Ende derselben auf ein mit einem Zeiger versehenes Zahnrad wirkte. Gegen die Stange drückte eine starke Feder, deren Wirkung aber durch einen an der Stange befestigten gespannten Eisendraht von 8 Zoll Länge gehemmt ward. Kam der Eisendraht durch einen elektrischen Schlag in's Glühen, so gab der Zeiger eine Bewegung der Stange in der Richtung der wirkenden Feder und daher eine Verlängerung des Eisendrahtes an, und zwar erschien die dauernde Verlängerung kleiner, als sie im Augenblicke des Glühens war. Es ist hierdurch klar, daß hier keine primäre elektrische Wirkung, sondern eine mechanische Wirkung auf einen glühenden Draht vorliegt. Ich habe deshalb nur einen Versuch dieser Art angestellt, in welchem jedoch der Draht sogleich zerrifs, weil ich ein zu großes Gewicht oder eine zu starke elektrische Ladung angewendet hatte.

#### Gesetze des elektrischen Glühens.

##### Frühere Angaben.

Ueber die Gesetze, nach welchen das Glühen eines Drahtes durch eine elektrische Entladung eintritt, ist bisher keine Erfahrung vorhanden. Es haben sich zwar mehrere Physiker mit den Hitzewirkungen der Elektrizität

1) Franklin, *experiments and observations*, 3. ed. \*, p. 399.

2) *Elettric. artific.* Torin 1772 \*. p. 301.



tät beschäftigt, sie haben aber das Schmelzen der Metalle zum Augenmerk genommen, und sind hierbei unter einander in Widerspruch und überhaupt zu keiner klaren Einsicht der Erscheinung gekommen. Das Schmelzen eignet sich nicht zu einem festen Anhaltspunkte, da es verschiedene Stufen desselben giebt, und ihm, wie sich unten zeigen wird, eine elektrische Wirkung vorangeht, die gleichfalls die Zerstörung des Drahts herbeiführt. Die große Verschiedenheit der Angaben jener Physiker rührt theils hiervon, theils aber davon her, daß eine Frage gelöst werden sollte, die, allgemein gestellt, keine bestimmte Lösung hat.

van Marum <sup>1)</sup> lud eine Batterie von 135 und eine von 225 Flaschen zu gleichem Grade, und fand in drei Versuchen, daß die damit zu schmelzenden Längen eines Eisendrahts sich wie 3 zu 5 verhielten. Hiernach würde bei gleicher Dichtigkeit die Elektrizität ihrer Menge proportionale Drahtlängen schmelzen. Die Längen verschieden dicker Drähte, die durch eine constante Ladung geschmolzt wurden, hatten kein bestimmtes Verhältniß zu den Durchmessern der Drähte <sup>2)</sup>).

Cuthbertson bestritt die Richtigkeit der Versuche v. Marum's, und gab an, daß bei gleicher Dichtigkeit eine doppelt so große Elektrizitätsmenge die 4fache Länge, eine  $1\frac{1}{2}$  Mal so große, die 3fache Länge des Drahtes schmelze, der durch die einfache Menge schmilzt <sup>3)</sup>).

Brooke nahm an <sup>4)</sup>), daß die Wirkung der Elektrizität auf Drähte zunimmt, wie die Quadrate der angewandten Elektrizitätsmenge, so daß zwei Flaschen, zu irgend einem Grade geladen, einen vier Mal längeren Draht schmelzen, als eine zu demselben Grade geladene Flasche.

1) Beschreibung u. s. w. <sup>\*</sup>, erste Fortsetzung, S. 3.

2) Ebendasselbst, S. 9.

3) Gilbert's Annalen <sup>\*</sup>, Bd. 3, S. 13.

4) *New experiments in electricity*. — *Encyclop. metropolit. Lond.* 1830 • *electr. p.* 116.

Singer <sup>1)</sup> giebt das quadratische Gesetz nur bis zu einer mäßigen Drahtlänge zu, da bei längeren Drähten ein Theil der in der Batterie angesammelten Elektrizität verloren gehe. Eine gegebene Elektrizitätsmenge soll ferner dieselbe Drahtlänge schmelzen, sie mag in einer oder in zwei Flaschen angehäuft gewesen seyn.

Eine Discussion dieser Angaben, von welchen keine allgemein gültig seyn kann, ist darum nicht möglich, weil keine Rechenschaft über den angewandten Schließungsbogen, das heist über den nicht geschmolzenen Theil desselben, gegeben ist. Zur Zeit, als jene Versuche angestellt wurden, herrschte die Meinung, daß die Wirkung der elektrischen Batterie allein von der Elektrizitätsmenge und der Zahl und Beschaffenheit der angewandten Flaschen abhängt, eine Meinung, die, obgleich sie noch in neuester Zeit hie und da wiederholt worden, keiner besonderen Widerlegung bedarf, da sie durch jeden sorgsam angestellten Versuch mit bewegter Elektrizität widerlegt wird.

Die Gesetze des Glühens lassen sich in einfachster Weise durch die Erwärmungen ausdrücken, welche ein gleichzeitig mit dem glühenden Drahte im Schließungsbogen befindlicher constanter Draht erfährt. Ich fügte deshalb bei allen folgenden Versuchen in den Schließungsbogen ein elektrisches Thermometer ein, dessen Erwärmung beobachtet wurde. Der Platindraht im Thermometer mußte von solcher Dicke gewählt werden, daß er bei der stärksten der angewandten Entladungen unversehrt blieb. Um bei den sehr verschiedenen Ladungen eine gleiche Zuverlässigkeit der Angabe zu erhalten, konnte nicht in allen Versuchen dasselbe Instrument gebraucht werden; ich benutzte die beiden Thermometer, deren Dimensionen in Poggendorff's Annalen, Bd. 43, S. 49 und Bd. 63, S. 485, angegeben sind, und versah dieselben mit verschiedenen Platindrähten, deren Radius

1) Elemente d. Electricitätslehre. Breslau 1819. S. 116, 117.

von 0,058 bis 0,116 Lin., und deren Länge von 60 bis 97 Lin., je nach dem Bedarfe, variirte. In Versuchen, die direct mit einander verglichen werden sollten, blieb das angewandte Thermometer unverändert.

Glühen nach der Stärke der Ladung.

In einiger Entfernung vom Thermometer wurde ein Platindraht im Schließungsbogen angebracht, und die Kugel des Thermometers durch Schirme vor jeder äußeren Einwirkung geschützt. Eine bestimmte Zahl von Flaschen der Batterie wurde mit steigenden Elektricitätsmengen geladen, bis eine Entladung erreicht war, die den Draht in ein am Tage sichtbares Glühen versetzte, jedesmal aber die Erwärmung im Thermometer beobachtet. So wurde mit verschiedener Flaschenzahl verfahren. Die folgenden Beobachtungsreihen geben die Ladungen, die zum Glühen hinreichten, und die dabei beobachteten Erwärmungen des Thermometers.

Versuch 9.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung des Thermometers.
5	12	20,9
	—	20,0
3	10	
2	8	20,3
3	10	21,6
4	11	21,8
5	12	20,2
	—	20,7.

Versuch 10. Ein neuer Platindraht ergab Folgendes:

2	8	20,7
7	14	20,4
2	8	20,2
	—	20,7.

Versuch 11. An einem dritten Platindrahte wurde das Glühen bei folgenden Ladungen bemerkt:

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung im Thermometer.
3	7,5	20,0
	7,5	20,0
7	11	20,6
3	7,5	20,4.

Es folgt hieraus, dafs das Glühen eines Drahtes eben so wie die Erwärmung desselben, abhängig ist von dem Producte der angewandten Elektricitätsmenge in die Dichtigkeit derselben. Hat man daher in einem bestimmten Schliessungsbogen die zum Glühen eines Drahtes nöthige Elektricitätsmenge und Flaschenzahl gefunden, so ist die Gröfse jenes Productes gegeben, und es läfst sich für eine beliebige Flaschenzahl die Elektricitätsmenge berechnen, die zum Glühen desselben Drahtes nöthig ist. In den Versuchen 9 und 10 ist jenes Product im Mittel = 31, wonach:

für 2 3 4 5 7 Flaschen

die Elektricitätsm. 7,9 9,6 11 12,4 14,7 gefund. werden. In Versuch 11 giebt das Product 18 für 3 und 7 Flaschen die Elektricitätsmengen 7,4 und 11,2. Diesen berechneten Elektricitätsmengen schliefsen sich die beobachteten so genau an, wie es sich bei der Natur der Versuche erwarten läfst. Aber das angegebene Gesetz wird in viel genauerer Weise bestätigt durch die Beobachtungen des Thermometers, die bei allen Ladungen eine für Versuche dieser Art (wo die Empfindlichkeit des Auges und die Beleuchtung wesentlich einwirken) überraschende Constanz zeigen. Von den Erwärmungen eines constanten Drahts im Schliessungsbogen haben meine früheren Versuche gelehrt <sup>1)</sup>, dafs sie den Producten der Elektricitätsmenge in die Dichtigkeit derselben proportional sind, und wir hätten daher, auch ohne von den verschiedenen Entladungsströmen die Elektricitätsmenge und Dichtigkeit gemessen zu haben, aus den Beobachtungen des Thermometers allein, das oben ausgespro-

1) Poggendorff's Annalen \*, Bd. 40, S. 342.

chene Gesetz abgeleitet. Doch war diese zwiefache Bestimmung hier darum nicht überflüssig, weil bisher, wo die Gesetze der Erwärmung im Schließungsbogen angewandt wurden, kein Theil desselben eine bedeutende Erhitzung erfuhr.

Auch in der Folge werden die Wirkungen des Entladungsstroms mit den durch denselben erregten Erwärmungen verglichen werden; wir wollen daher, der Kürze des Ausdrucks wegen, den Strom durch seine erwärmende Kraft messen, und überall unter *Stärke des Entladungsstroms* die Größe der Erwärmung verstehen, die derselbe in einem constanten, im Schließungsbogen befindlichen Drahte hervorbringt.

Das Resultat dieses Paragraphs läßt sich dann so aussprechen: Kommt ein Draht im Schließungsbogen der Batterie durch die Entladung in's Glühen, so geschieht dasselbe bei allen Aenderungen der Flaschenzahl und Elektrizitätsmenge, welche die Stärke des Entladungsstromes ungeändert lassen.

#### Glühen eines Drahtes nach seiner Länge.

In dem 9. Versuche ist ein Platindraht von 26,6 Lin. Länge zum Glühen gebracht worden durch einen Entladungsstrom, dessen Stärke im Mittel 20,8 betrug, in Versuch 10 kam ein Draht gleicher Länge durch einen Strom von 20,4 in's Glühen, und in Versuch 11, wo die Länge des Drahts nur 10,7 Lin. betrug, wurde die Stärke des Stroms 20,3 gefunden. Ich nahm einen ähnlichen Draht, 49,5 Lin. lang, und fand, dafs er zuerst erglühete, wenn das Thermometer 20,8 anzeigte. In diesen, mit verschiedenen Drahtlängen angestellten Versuchen wurde also nahe dieselbe Stromstärke gefunden.

Versuch 12. Ein Platindraht, 15,7 Lin. lang, kam in's Glühen bei:

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Stärke der Entladung.
4	12	8,3
	12	8,0
7	15	7,7.

Versuch 13. Als ein ähnlicher Draht 77,5 Lin. lang war, fand sich bei seinem Erglühen:

4	22	8,3
	22	8,0
	22	8,0

Ein Draht von 15,7 Lin. Länge glühte also durch den Strom 8,0, und bei einer Länge von 77,5 durch einen Strom gleicher Gröfse, obgleich im letzten Falle eine viel gröfsere Elektricitätsmenge entladen wurde, als im ersten. Es folgt hieraus:

Die zum Glühen eines Drahtes erforderliche Stärke des Entladungsstromes ist von der Länge des Drahts unabhängig.

Nach den beiden vorigen Paragraphen läfst sich die vorher erwähnte Aufgabe (S. 497) übersehen, mit deren experimenteller Lösung (wenn wir nämlich statt der Schmelzung den geringeren elektrischen Effect, das Glühen, setzen) sich einige Physiker beschäftigt haben. Es sey  $\theta$  die Anzeige eines im constanten Theile des Schliessungsbogens befindlichen Thermometers,  $\lambda$ ,  $\rho$ ,  $x$  Länge, Radius und Verzögerungskraft eines hinzugesetzten Drahtes,  $q$  die Elektricitätsmenge, und  $s$  die Flaschenzahl, die bei den Versuchen angewendet werden. Da die Anzeige des Thermometers der Temperatur des darin ausgespannten Drahtes proportional ist, so hat man, wenn  $a$  und  $b$  vom constanten Theil des Schliessungsbogens abhängige Constanten bedeuten:

$$\theta = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda'x}{\rho^2}} \cdot \frac{q^2}{s}$$

Es komme durch diese Entladung der zugesetzte Draht, dessen Länge  $\lambda$ , in's Glühen, und es werde nach der Länge

$\lambda'$  gefragt, die durch die in  $ns$  Flaschen angehäuften Elektrizitätsmenge  $nq$  glühen werde. Die Thermometeranzeige wird dieselbe, wie vorhin, seyn müssen, man hat daher:

$$\Theta = \frac{na}{1 + \frac{b\lambda'x}{q^2}} \cdot \frac{q^2}{s}$$

und hieraus:

$$\lambda' = n\lambda + (n-1)\frac{\vartheta^2}{bx}$$

Zwei Flaschen zu irgend einem Grade geladen, werden also mehr als die doppelte Länge eines Drahtes in's Glühen bringen, der bei Anwendung einer Flasche glüht, aber um wie viel mehr, ist allgemein nicht zu bestimmen. Die Länge  $\lambda'$  hängt nämlich von der Beschaffenheit des zu glühenden Drahtes und von der GröÙe der Constante  $b$  ab, die mit der Beschaffenheit des Schließungsbogens variirt. Je dünner der zu glühende Draht ist, und aus je besser leitenden Stücken der Schließungsbogen besteht, desto näher kommt das gesuchte Verhältniß dem Verhältnisse der zu dem Versuche gebrauchten Flaschen, hier also dem 2 zu 1, indess es im entgegengesetzten Falle sich von demselben weit entfernen kann. Eine genauere Angabe der zum Glühen gebrachten Längen wird die obige Formel nicht leisten, da, wie weiter unten gezeigt wird, die Wärmeformeln nicht mehr in aller Strenge gelten, wenn ein Theil des Schließungsbogens glüht.

#### Glühen von Drähten nach der Dicke derselben.

Drei Platindrähte von zunehmender Dicke wurden successiv neben dem Thermometer angebracht; ich beobachtete bei behutsamer Steigerung der Ladung das erste Glühen der Drähte und die gleichzeitige Thermometeränderung.

## Versuch 14.

Draht.	Radius in Linien.	Thermometeränderung.	Mittel.
1	0,0181	8,7	9,0
		9,0	
		9,4	
		9,0	
2	0,02089	20,0	20,2
		20,0	
		20,6	
		20,4	
3	0,0261	42,5	43,0.
		41,8	
		44,8	

Das Thermometer wurde mit einem weniger empfindlichen vertauscht, und die Beobachtung an drei anderen Platindrähten angestellt.

## Versuch 15.

3	0,0261	5,6	5,8
		6,0	
		6,2	
		5,6	
4	0,02857	8,0	8,1
		8,3	
		8,0	
5	0,04053	31,3	31,0.
		30,8	
		31,0	

Die Vergleichung der Thermometeränderungen mit den Radien der glühenden Drähte zeigt, daß die ersteren den Biquadraten der letzteren proportional sind. Nimmt man nämlich als Mittelzahlen 9394 Grade für das erste und 1202° für das zweite Thermometer an, bei welchen ein Platindraht von 0,1 Lin. Radius so eben glühen würde, so hat man für die Thermometeränderung  $\theta$  oder die Stärke des Entladungsstromes, der einen Draht von  $r$  Zehntellinie Radius in's Glühen bringen würde, die Gleichung:



$$\theta = \frac{9394}{1202} \} r^2$$

wonach sich folgende Zusammenstellung ergibt:

Draht	Stärke des Entladungsstromes beim Glühen. Berechnet.	Beobachtet.
1	10,0	9,0
2	17,9	20,2
3	43,9	43,0
3	5,6	5,8
4	8,0	8,1
5	32,4	31,0.

Die Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung muß genügend genannt werden, da zu den andern bedeutenden Fehlerquellen bei diesen Versuchen noch die Schwierigkeit hinzukommt, bei verschiedenen dicken Drähten über einen gleichen Grad des Glühens zu entscheiden.

Die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie, die zum Glühen eines Drahtes erfordert wird, ist dem Biquadrate des Radius desselben proportional.

#### Glühen von Drähten verschiedener Metalle.

Die Schwierigkeit, einen bestimmten Grad des Glühens an verschiedenen Drähten zu beobachten, wird noch bedeutend erhöht, wenn die Drähte aus verschiedenem Metalle bestehen. Nicht allein dafs die Farbe des Metalls, seine gröfsere oder geringere Oxydirbarkeit die Beobachtung unsicher machen, so tritt noch ein Umstand hinzu, von dem S. 511 die Rede seyn wird. Es ist nämlich bei einigen Metallen nicht leicht, den Draht glühend und unverletzt zu erhalten, wie es zu dem hier vorliegenden Zweck unerläfslich ist. Die Drähte, an welchen die folgenden Versuche angestellt wurden, sind ohne weitere chemische Prüfung angewandt worden. Nur ein Draht, der angeblich aus Gold bestand und ein auffallendes Resultat geliefert hatte, wurde chemisch unter-

sucht, und da er sich als sehr unrein erwies, verworfen. Jeder Draht wurde behutsam gesteigerten Entladungen ausgesetzt, und die Thermometerangabe bei dem ersten am Tage sichtbaren Glühen desselben bemerkt. Wenn der Versuch an demselben Drahte wiederholt wurde, so sind in der folgenden Tafel die Thermometerangaben dicht zusammengedrückt; Versuche an verschiedenen Drähten sind durch einen Zwischenraum getrennt. Die in die zweite Verticalreihe gestellten Temperaturangaben sind größtentheils mehrere Wochen später gefunden, als die der ersten Reihe.

	Metall des Drahts.	Radius in Lin.	Thermometerangabe bei dem Glühen.	Mittel.
Vers. 16	Platin	0,03958	25,3 24,8 24,9 24,9	25,0
17	Neusilber	0,04030	25,5 25,6	25,55
18	Eisen	0,04006	19,0 19,4 19,8 19,4 19,5	19,42
19	Palladium	0,03951	26,3 26,4 26,8	26,5
20	Messing	0,02461	10,9 10,4 10,8	10,7.

Die folgenden Versuche wurden mit einem empfindlicheren Thermometer angestellt.

Vers. 21	Silber	0,02641	60,0 63,5 60,0 63,4 56,3 63,5 59,6 58,5	60,6
----------	--------	---------	--	------

Metall des Drahts.	Radius in Lin.	Thermometerangabe bei dem Glühen.	Mittel.
Vers. 22 Eisen	0,0266	11,1 11,4	11,3
		10,8 11,4	
		11,3 11,8	
		11,6	
		11,3 11,4	
		11,0	
		11,1	
		11,2	
23 Kupfer	0,0253	61,5 63,4	61,5
		63,0 61,0	
		62,7 59,8	
		60,7	
		60,2	
24 Platin	0,0258	10,9	11,2
		11,4	
		11,2	
	0,03879	57,0	56,9
		56,8	
25 Messing	0,02461	21,2	21,4.
		22,2	
		21,2	
		21,0	

Um den Einfluß der verschiedenen Dicke der Drähte fortzuschaffen hat man nach S. 505 jede Thermometerangabe durch das Biquadrat des Halbmessers des zugehörigen Drahtes zu dividiren. Man erhält dadurch Werthe der Erwärmung eines im Schließungsbogen befindlichen Thermometers und relative Werthe der Stärke des Entladungstromes, die zum Glühen von Drähten gleicher Dicke und verschiedenen Metalles erfordert wird.

Nach den aus den Versuchen abgeleiteten Mittelzahlen ergibt sich die folgende Reihe der Metalle nach zunehmender Stromstärke geordnet, für welche der dem

Platin zukommende Entladungsstrom zur Einheit genommen ist.

Es glüht:	bei der Stromstärke $i$
Eisen	0,816
Neusilber	0,950
Platin	1
Palladium	1,07
Messing	2,59
Silber	4,98
Kupfer	5,95.

Mit Hülfe dieser Tafel kann man, wenn das Glühen eines Drahtes und die dabei stattfindende Thermometeranzeige beobachtet ist, die Thermometerangabe berechnen, die bei dem Glühen eines anderen Drahtes eintreten wird. Es sey Thermometerangabe, Radius, relative Stromstärke

für den ersten Draht  $\theta \quad r \quad i$   
für den zweiten Draht  $\theta' \quad r' \quad i'$ ,

so besteht die Relation:

$$\theta' = \frac{i'}{i} \left( \frac{r'}{r} \right)^4 \theta.$$

Hat man zum Beispiel im Schließungsbogen ein elektrisches Thermometer, das um 25,5 Grade sinkt, während an einer anderen Stelle des Bogens ein Neusilberdraht von  $r$  Linie Radius durch die Entladung glüht, so wird, wenn ein Kupferdraht von  $r'$  Linie Radius in's Glühen kommen soll, das Thermometer um  $\frac{5,95}{0,95} 25,5 \left( \frac{r'}{r} \right)^4$  Grade sinken müssen.

Obgleich den Zahlen der mitgetheilten Reihe, der Natur der Versuche nach, keine große Genauigkeit zugeschrieben werden kann, so ist doch ersichtlich, daß sie von der elektrischen Verzögerungskraft abhängen, und im Allgemeinen wachsen, wenn diese abnimmt. Außerdem hat die Wärmecapazität und das spezifische Gewicht auf dieselben einen Einfluß, der jedoch keines-

wegs nach den Gesetzen auftritt, die ich bei der reinen Wärmeerregung gefunden habe <sup>1)</sup>). Wäre dieß nämlich der Fall, so müßte die Stromstärke in die Verzögerungskraft multiplicirt und durch das Product der Wärmecapacität in das specifische Gewicht dividirt, bei jedem Metalle nahe denselben Quotient geben, was nicht geschieht. Es sind bei dem Glühen der Metalle noch andere Eigenschaften derselben, als die genannten, von Einfluß, die nicht in Rechnung gesetzt werden können. Wahrscheinlich sind dieß die Sprödigkeit und die Leichtigkeit, mit der die Metalle den Sauerstoff der Luft aufnehmen. (Die leichter oxydirbaren Metalle, wie Eisen, Messing, Kupfer, laufen vor dem Glühen mit verschiedenen Farben an.) Die Zahlen der obigen Reihe können daher nur für Constanten gelten, die empirisch bestimmt werden müssen.

#### Erscheinungen, die dem Glühen folgen.

##### Die Zerreißung.

Ein Platindraht von 0,0209 Lin. Radius und 10 Lin. Länge wurde in den Auslader eingelegt und steigenden Entladungen ausgesetzt.

##### Versuch 26.

Flaschen- zahl.	Elektricitäts- menge.	
4 *	9	der Draht glüht so eben.
	10	derselbe rothglühend.
	11	stark weißglühend.
	12	er reißt in der Mitte ab.
Ein neuer Draht von denselben Dimensionen.		
4 *	12	der Draht stark weißglühend.
	12 $\frac{1}{2}$	ein Drahtstück $\frac{3}{4}$ " lang bleibt in der innern (mit dem Innern der Batterie verbundenen) Klemme, der übrige Draht in drei Stücke zerrissen.

1) Poggendorff's Annalen, Bd. 45, S. 23.

Versuch 27. Ein 16 Lin. langer Platindraht von 0,0261 Radius gab folgende Erscheinungen:

Flaschen- zahl	Elektricitäts- menge.	
4	12	der Draht glüht.
	14	derselbe heftig glühend.
	15	weifsglühend.
	16	in drei hakige Stücke zerrissen.

Aehnliche Versuche gaben dieselben Resultate. Platindrähte wurden durch Entladung einer bestimmten Elektricitätsmenge glühend, bei gesteigerter Menge weifsglühend, und wurden dann von ihren Befestigungen losgerissen. Diese Zerreiſung findet häufiger in der Nähe der Befestigungen statt, als entfernt davon, die zurückbleibenden vor den Klemmen hervorragenden Drahtstücke sind gewöhnlich nur kurz, zuweilen fehlen sie ganz. Der Anblick der Enden der zerstückten Drähte lehrt, daß hier überall eine Zerreiſung, keine Zerschmelzung vorliegt, wovon unten noch andere Beweise gegeben werden.

Ich will hier beiläufig einige irrige Angaben früherer Beobachter berichtigen. Wenn man das heftige Erglühen eines Drahtes durch die Entladung beobachtet, so scheint es, als ob die Gluth an einem Ende des Drahtes anfangte, und bis zum andern Ende fortschreite. Cavallo <sup>1)</sup> giebt dieſes Fortschreiten stets vom positiven Ende des Drahts (dem der positiv geladenen Belegung der Batterie zunächst liegenden) zum negativen Ende an, und sieht darin eine Oculardemonstration der Theorie Einer elektrischen Materie. Ich wurde auf die Erscheinung aufmerksam, ehe ich jene Notiz kannte, merkte aber, bis auf Einen Fall, stets das entgegengesetzte Fortschreiten der Gluth an, nämlich von der negativ geladenen (äußeren) Belegung der Batterie zur inneren positiven. Um keinen Zweifel übrig zu lassen, daß hier eine durch Stellung des Apparates bedingte Augentäu-

1) *Treatise of electricity* \*. Lond. 1795. Vol. I, p. 311.

schung stattfindet, lud ich eine Batterie mit positiver Elektrizität, und bemerkte deutlich das von der äusseren nach der inneren Seite des Drahts fortschreitende Glühen, und ganz dasselbe, als ich die Batterie mit negativer Elektrizität geladen hatte.

van Marum will gefunden haben, dafs wenn ein Draht zum Theil zerstört wird (er nimmt überall eine Schmelzung an), stets der der positiven Belegung der Batterie zunächst liegende Theil zerstört ist, und der übrigbleibende mit der negativen Belegung in Verbindung bleibe; auch er findet dies durch die Annahme Einer elektrischen Materie erklärlich. Ich habe indess bei positiver Ladung der Batterie die Drähte theils an der äusseren, theils an der inneren Seite abgerissen gefunden, so dafs gleichgültig die positive oder negative Klemme das übriggebliebene Drahtstück trug.

Aus den S. 509 mitgetheilten Versuchen folgt, dafs die zur Zerreiſung eines Platindrahtes nöthige Elektrizitätsmenge um einen bedeutenden Theil gröfser ist, als die, welche zum ersten Glühen des Drahtes hinreicht. Diese Elektrizitätsmenge mufs sogar noch etwas vermehrt werden, wenn sie gleich bei der ersten Entladung eine Zerreiſung bewirken soll. Ein Platindraht nämlich, der schon einige Stufen der Glühung durchgemacht hat, wird durch eine Entladung zerrissen, die einen neuen Draht erst in heftiges Weifsglühen versetzen würde. Ferner müssen alle Drähte, an welchen Glühversuche angestellt werden, im Schließungsbogen schlaff liegen, da straff gespannte Drähte oft durch geringe Elektrizitätsmengen vor dem Glühen zerrissen werden, wie schon oben (S. 491) bemerkt worden ist.

Auch Drähte anderer Metalle, die durch Entladung einer bestimmten Elektrizitätsmenge glühen, werden durch eine gröfsere Menge von ihren Befestigungen abgerissen;

1) Beschreibung einer grofsen Elektrisirmaschine • Erste Fortsetzung, S. 11.

aber der Theil, um den zu diesem Effecte die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge vermehrt werden muß, ist nach den Metallen verschieden. Während derselbe bei Platin und Palladium ziemlich groß gefunden wurde, ist er bei Kupfer kleiner, bei Silber und Eisen noch geringer, und bei Messing und Neusilber außerordentlich klein. Bei Drähten der beiden zuletztgenannten Metalle kommt es daher häufig vor, daß wenn an ihnen eine Elektricitätsmenge das erste unzweideutige Glühen hervorbringt, die folgende Entladung derselben Menge schon eine Zerreißung bewirkt. Selbst bei neuen Messing- und Neusilberdrähten kam es vor, daß eine Steigerung der entladenen Elektricitätsmenge um kaum  $\frac{1}{8}$  das anfangende Glühen in ein Zerreißen verwandelte.

#### Die Zersplitterung.

Setzt man Drähte einer stärkeren Entladung aus, als der zu ihrer Zerreißung nöthigen, so zersplittern sie unter Lichterscheinung in eine größere oder geringere Menge kleiner Stücke, die bis in einige Entfernung verstreut werden. An den aufgesammelten Stücken läßt sich erkennen, daß die Zerstückelung des Drahtes von einer Zerschlitzung und Zersplitterung herrührt, und daß eine Schmelzung, wo sie auftritt, nur secundär erscheint. Ich werde von meinen Versuchen hierüber vorzugsweise die herausheben, bei welchen die Drahtstücke aufbewahrt wurden, und daher noch jetzt der Prüfung vorliegen.

Versuch 28. Ein Platindraht, 0,079 Linie dick, 16 Linien lang, wurde, mit einer Glasröhre von  $7\frac{1}{4}$  Lin. Weite umgeben, im Schließungsbogen befestigt. Die Entladung der in sieben Flaschen angehäuften Elektricitätsmenge 22 brachte diesen Draht so eben in's Glühen und die Elektricitätsmenge 35 zerriß ihn in Stücke, die in der Röhre gefunden wurden. Diese Stücke hatten an der Oberfläche deutliche Zeichen von Schmelzung und vier der größten von ihnen erschienen zu einer verschlun-

ge-



genen Figur zusammengelöthet, was darauf deutete, daß sie heiß gegen einander und gegen die Wandung der Röhre geschleudert worden waren. Aber die Enden aller Stücke waren nicht geschmolzen, die meisten erschienen schon dem ersten Anblicke scharf zugespitzt. Ein ziemlich gerades Stück wurde unter das Mikroskop gebracht, die Oberfläche desselben erschien hückerig. Eine Messung mit dem Schraubenmikrometer gab den Durchmesser in der Mitte

0,081 Linie

0,083 -

an dem einen Ende 0,022 -

0,029 -

Der Draht war also an diesem Stücke der Länge nach zerrissen worden. Dasselbe wurde an dem ungefähr 1 Linie langen Drahtstück gefunden, das in der inneren Klemme übrig geblieben war. Der Durchmesser desselben war an verschiedenen Stellen, von der Klemme an gegen die Spitze zu gemessen,

0,059 Linie

0,013 -

0,009 -

0,005 -

Versuch 29. Ein Platindraht von 0,042 Linie Dicke wurde durch die in 3 \* Flaschen angehäuften Elektrizitätsmenge 8 glühend und durch die Menge 12 zerrissen. Ein schleifenförmiges Stück war an einem Ende deutlich der Länge nach abgerissen. Unter dem Mikroskope fand sich der dickste Theil dieses Endes 0,043, der dünnste 0,018 Linie dick. Ein Draht gleicher Dicke, der durch die in 4 \* Flasche angehäuften Elektrizitätsmenge  $12\frac{1}{2}$  zerrissen war, lieferte ein Stück, dessen eines Ende unter dem Mikroskope ausgezackt erschien.

Wir haben hier also Beweise von Zerreißungen von Drähten in der Richtung ihrer Axe, die mit der Annahme einer theilweisen Zerschmelzung der Drähte gänzlich unvereinbar sind, wodurch von Marum das Zerfallen der

Drähte in Stücke zu erklären glaubte <sup>1)</sup>). Selbst die oberflächlichen Schmelzungen, die hier noch nebenbei auftreten, lassen sich durch behutsame Steigerung der Ladung gänzlich vermeiden. Die folgenden Versuche wurden an Drähten angestellt, die sich in der Mitte einer 7 Zoll hohen,  $5\frac{3}{4}$  Zoll weiten Glasglocke befanden.

Versuch 30. Ein Platindraht, 19 Lin. lang, *rad* 0,0258, glühte durch die Elektrizitätsmenge 12 in 5 Flaschen. Die Menge 17 zersplitterte ihn in eine Menge kleiner Stücke, die keine Spur von Schmelzung zeigten.

Versuch 31. Ein Kupferdraht, 18 Lin. lang, *rad* 0,0253, glühte durch die Elektrizitätsmenge 23 in 5 Flaschen. Bei der Menge 27 rifs er hart an der äußeren Klemme und mehrere Linien von der inneren Klemme entfernt ab, und wurde in Stücke verwandelt, die zum Theil noch die durch die früheren Entladungen hervorgebrachten Biegungen zeigten.

Versuch 32. Ein Silberdraht, 17 Lin. lang, *rad* 0,0264, glühte durch die Elektrizitätsmenge 22, durch die Menge 24 wurde er hart an der inneren Klemme abgerissen und zersplitterte, an der äußeren Klemme blieb ein ungefähr linienlanges Stück stehen.

Bei Metallen, die unter der Glühhitze schmelzen, tritt die elektrische Zerreißung ohne Glühen ein. Ein Zinn- draht, 18 Lin. lang, wurde durch die in 5 Flaschen angehäuften Elektrizitätsmenge 10 in kleine Stücke zerrissen. Auch der folgende Versuch giebt hiervon ein Beispiel.

Versuch 33. Ein Cadmiumdraht, 20 Linien lang, *rad* 0,0394, rifs durch die Elektrizitätsmenge 12 in 5 Flaschen, und zersplitterte durch die Menge 15 in ziemlich gerade Stücke, die keine Schmelzung zeigten.

#### Die Schmelzung.

Durch fortwährend gesteigerte Entladungen zersplitttern die Drähte in immer kleinere Stücke, diese schmel-

1) Beschreibung u. s. w. \*. Erste Forts., S. 12.

zen an der Oberfläche und an den Enden, und fliessen zuletzt zu Kugeln zusammen. Ueberall werden die Drähte hart an ihren Befestigungen abgerissen, die Stücke weit fortgeschleudert. Es ist nicht schwer, das erste Stadium des Schmelzens festzuhalten und an demselben Drahte neben der Schmelzung die Zersplitterung zu zeigen. Alle folgenden Versuche wurden unter der Glasglocke angestellt, die zerstreuten Drahtstücke auf einem untergelegten Papierblatte gesammelt.

Versuch 34. Ein Platindraht von  $0,0258 \text{ rad}$  und  $19 \text{ Lin.}$  Länge wurde, bei Anwendung der Flaschenzahl  $s=5$  und Elektrizitätsmenge  $q=11$ , glühend; die Elektrizitätsmenge  $20$  zersplitterte und schmelzte ihn. Viele, ungefähr  $\frac{1}{2}$  Linie lange Stücke hatten Kugeln an den Enden erhalten, ausserdem fanden sich einzelne Kugeln und ungeschmelzte Drahtsplitter vor.

Versuch 35. Ein Silberdraht ( $\text{rad } 0,0264$  Länge  $20 \text{ Lin.}$ ) zersplitterte und schmolz bei  $s=6$   $q=26$ . Ausser einzelnen Kugeln wurden zum Theil verbogene und angeschmolzte Splitter gesammelt.

Versuch 36. Ein Zinddraht ( $\text{rad } 0'',037$  Länge  $15''$ ) wurde durch eine Entladung bei  $s=5$   $q=8$  von seinen Befestigungen abgerissen; ein neuer Draht zersplitterte durch die Elektrizitätsmenge  $15$ , und es blieben sichtbar geschmolzte Stücke davon zurück. Bei Anwendung einer grösseren Menge ( $20$ ) tröpften Kugeln von dem Drahte ab, die unter der bekannten Feuererscheinung herumhüpfend oxydirt wurden.

Eine vollkommene Schmelzung von Drähten wurde in den folgenden Versuchen erhalten.

Versuch 37. Ein Platindraht mit dem in Versuch 34 von gleichen Dimensionen wurde durch eine Entladung mit  $s=5$   $q=22$  in viele kleine, vollkommen runde Kugeln geschmolzt.

Versuch 38. Ein Silberdraht ( $\text{rad } 0,0264$  Länge  $19 \text{ Lin.}$ ) wurde mit  $s=6$   $q=26$  zu Kugeln geschmolzt.

Versuch 39. Ein Kupferdraht (*rad* 0,0253 Länge 16 Lin.) glühte bei  $s=6$   $q=25$ , und wurde durch die Entladung von  $q=30$  in einen Haufen äußerst feiner Kugeln verwandelt, die zum Theil nur mit der Lupe erkannt werden konnten. Ich habe mehrere vergebliche Versuche angestellt, das Kupfer in größeren Kugeln zu erhalten.

In diesem Versuche könnte es auffallen, daß die zur vollkommenen Schmelzung nöthige Ladung nicht viel größer ist als die, durch welche das erste Glühen des Drahtes erzeugt wird. Bei den oxydirbaren Metallen wird aber die Temperatur gesteigert durch die Aufnahme des Sauerstoffs aus der Luft, und es tritt daher zu dem elektrischen Effecte noch ein chemischer hinzu. Am auffallendsten zeigt sich dies bei dem Eisen, das oft bei Entladungen schmilzt, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden. Aber die Art des Schmelzens ist dann eigenthümlich, wie die folgenden Versuche zeigen.

Versuch 40. Ein Eisendraht von 0",0266 Radius und 17" Länge, der bei  $s=3$   $q=10$  das erste Glühen gezeigt haben würde, kam durch Entladung der Electricitätsmenge 13 in starkes Glühen. Die Gluth hörte nicht, wie sonst überall, augenblicklich auf, sondern steigerte sich bis zur Weißgluth; es tröpfelten einige Kugeln vom Drahte ab, und hüpfen unter heftigem Funkensprühen auf der Unterlage umher. Die in den Klemmen zurückgebliebenen, einige Linien langen Drahtenden schmolzen zu Kugeln, behielten aber die Lage, welche sie vor dem Versuche gehabt hatten.

Ganz anders verhält sich der Eisendraht bei stärkeren Entladungen, selbst wenn diese nicht zur vollkommenen Schmelzung hinreichen.

Versuch 41. Ein Eisendraht von 0,04 Lin. Radius, 16 Lin. Länge kam bei  $s=7$   $q=25$  zum Glühen. Bei  $q=30$  wurde er glühend zerrissen und zerfloß, so daß drei Kugeln, die hüpfend oxydirt wurden, und drei Stücke

gesammelt werden konnten. Die langen, in den Klemmen zurückgebliebenen Drahtenden waren um diese gewaltsam herumgebogen; an dem einen Ende schmolz eine Kugel.

Es ist bekannt, daß dünne Eisendrähte, glühend aus dem Feuer genommen, wenn sie nicht früher an der Oberfläche oxydirt waren, sich bis zum Schmelzen erhitzen, und daß schmelzendes Kupfer durch Aufnahme von Sauerstoff in einen pulverigen Zustand übergeht. Die obigen Versuche zeigen, daß bei der elektrischen Schmelzung dieser beiden Metalle die Aufnahme von Sauerstoff wesentlich mitwirkt, und wahrscheinlich findet dasselbe bei allen Metallen statt. Dafür spricht die von verschiedenen Beobachtern gefundene Thatsache, daß selbst Platin in einer evacuirten Glocke viel schwerer durch Elektricität schmilzt als in freier Luft.

Die elektrische Schmelzung ist ein sehr complicirtes Phänomen, und eine Reihe der Metalle nach der Stärke des Entladungsstromes, die zu ihrer Schmelzung nöthig ist, aufzustellen, wird dadurch unmöglich, daß derselbe Grad des Schmelzens bei allen Metallen nicht zu erzielen ist. Silber und besonders Kupfer ist nur in feinen Kugeln, Messing und Neusilber gar nicht in Kugeln zu erhalten. Es würde also nur die Größe der geschmolzenen Stücke zum Anhaltspunkte genommen werden können, die von vielen Zufälligkeiten abhängt. Im Allgemeinen ist zu merken, daß bei allen Metallen die Schmelzung nach der Zerreißen eintritt, und diese bei den Metallen, die ungeschmolzen glühen, nach dem ersten Auftreten des an Tage sichtbaren Glühens. Für diese letzte Erscheinung sind die Gesetze oben entwickelt worden.

Rückstand der Ladung bei dem Schmelzen.

van Marum <sup>1)</sup> hat bemerkt, daß eine bestimmte Ladung der Batterie erfordert wird, um eine gegebene

1) Beschreibung u. s. w. \*. Erste Fortsetzung, S. 13.

Drahtlänge zu schmelzen, daß aber nur ein Theil der angesammelten Elektrizitätsmenge zur Schmelzung verwendet wird, und ein anderer Theil in der Batterie zurückbleibt, der bedeutend größer als das gewöhnliche Residuum ist.

Ich habe die Größe dieses zurückbleibenden Theils durch folgende Versuche zu bestimmen gesucht, die mit der zu Anfange gebrauchten Batterie angestellt wurden.

Versuch 42. Ein Platindraht (*rad* 0,02089, Länge 15 Lin.) wurde in dem Schließungsbogen angebracht, und, wenn er zerstört war, durch einen ganz gleichen ersetzt. Es traten bei der Entladung verschiedener Elektrizitätsmengen folgende Erscheinungen ein.

Flaschen- zahl.	Elektrici- tätsmenge.	
5 *	12	der Draht hellglühend.
	14	verbogen, abgerissen.
	15	in drei Stücke zerrissen.
	17	zu Kugeln geschmolzt.

(Die Batterie gleich nach der Entladung isolirt.)

12 Der Draht in Stücke zerrissen.

Nach diesem vorläufigen Versuche konnte die Elektrizitätsmenge so gewählt werden, daß bei dem einen Draht Glühen und Schmelzen, bei dem andern aber sogleich die Schmelzung eintrat, zu der, weil die Batterie nach Zerstörung des ersten Drahts isolirt worden war, die in der Batterie zurückgebliebene Elektrizitätsmenge mitwirkte. Um die Zeit zwischen den beiden Schmelzungen abzukürzen, wurden beide Drähte sogleich in der einen Klemme befestigt, während in die andere Klemme zuerst das Ende des ersten, dann das Ende des zweiten Drahts gebracht wurde.

Versuch 43.

Flaschen- zahl.	Elektrici- tätsmenge.	
5 *	13	der erste Draht hellglühend.
	17	schmilzt zu Kugeln.
	13	der zweite Draht schmilzt zu Kugeln.

Dieser Versuch wurde mit gleichem Erfolge noch zweimal angestellt.

Es war also zur vollkommenen Schmelzung dieser Drähte die Elektricitätsmenge 17 nöthig; da nun nach der ersten Schmelzung die Hinzuführung der Menge 13 zu dieser Wirkung hinreichte, so mußte bei der ersten Schmelzung die Elektricitätsmenge 4 oder nahe 0,23 der ganzen Ladung in der Batterie zurückgeblieben seyn. Dieser Rückstand erscheint sehr groß, selbst wenn man davon absieht, daß die Entladung durch vollkommen metallische Verbindung beider Belegungen geschah. Bei Entladung in der Hauptschlagweite, wo also der Schließungsbogen durch eine Luftschicht unterbrochen war, behielt diese Batterie, wie mich frühere Versuche gelehrt hatten <sup>1)</sup>, nur  $\frac{1}{3}$  oder 0,15 der ganzen Elektricitätsmenge. Der bedeutend größere Rückstand in dem vorliegenden Falle zeigt demnach, daß die Continuität des Platindrahts früher gelöst war, als die vollständige Entladung in der Schlagweite zu Stande kommen konnte, diese Lösung also in außerordentlich kurzer Zeit, gleich bei den ersten Partialentladungen geschehen seyn mußte. Es ist dies ein neuer Beleg dafür, daß die elektrische Schmelzung der Metalle nicht durch allmälige Steigerung der Erhitzung geschieht, sondern daß dabei eine schneller wirkende mechanische Gewalt thätig ist.

#### Die Zerstäubung.

Die erste direct sichtbare Wirkung der elektrischen Entladung auf einen neuen Draht besteht, wie S. 488 bemerkt worden, in der Bildung einer Dampfwolke, die sich von dem Drahte erhebt. Es ist wahrscheinlich gemacht worden, daß dieser Dampf aus Metalltheilchen besteht, die von der Oberfläche des Drahts losgerissen werden, und deren Menge daher von der Beschaffenheit dieser Oberfläche abhängt. Durch Steigerung der Ladung

1) Poggendorff's Annalen \*, Bd. 53, S. 11.

über den Punkt hinaus, wo sie den Draht bei der Entladung vollkommen schmelzen würde, ist es möglich, die ganze Drahtmasse in solchen Dampf zu verwandeln. Diese Verwandlung geschieht unter glänzender Lichtentwicklung und mit einem starken Knalle.

Versuch 44. Durch einen Platindraht (*rad* 0,0209, Länge 15 Lin.), der durch eine Entladung bei  $s=5$  und  $q=13$  glühend wurde und mit  $q=17$  zu Kugeln schmolz, wurde, nachdem er mit einer Glasröhre bedeckt war, die Elektrizitätsmenge 22 entladen. Er verschwand mit glänzendem Lichte, und in der Röhre zeigte sich ein grauer abwischbarer Anflug.

Derselbe Versuch wurde in freier Luft wiederholt, wobei ein Glimmerblatt horizontal einige Linien über dem Drahte angebracht war. Der Dampf in den der Draht verwandelt war, überzog den Glimmer mit grauen und schwärzlichen Flecken, die unter dem Mikroskope bei 280facher Vergrößerung aus Metallbrocken verschiedener Größe und Gestalt zusammengesetzt erscheinen. Es fanden sich verhältnißmäßig wenige zusammengeschmolzene Stücke und Kugeln vor. Die Zertheilung des Drahtes rührte augenscheinlich von einer wirklichen Zerstäubung her, einer mechanischen Trennung des Metalles in kleine Theile. Diese Zerstäubung ist bei allen Metallen hervorzubringen, aber die dazu nöthige Stärke der Entladung steht nicht im Verhältnisse zu der, bei welcher die Metalle schmelzen. So schmilzt Zinn durch eine geringere Ladung als Cadmium, aber die Entladung, bei welcher das letzte Metall vollkommen zerstäubte, liefs den größten Theil des Zinns in geschmolzenem Zustande zurück. Die Sprödigkeit der Metalle ist auf die Zerstäubung offenbar von großem Einflusse.

Fein vertheiltes Metall, von welchem viele Theile die Schmelzhitze besitzen, befindet sich in einem sehr günstigen Zustande, Sauerstoff aus der Luft aufzunehmen und sich in Oxyd zu verwandeln. Zerstäubt daher Me-



tall durch Elektricität in freier Luft, so findet sich dasselbe größtentheils als Oxyd wieder. Zur Zeit, als die ersten sorgfältigen Versuche dieser Art angestellt wurden <sup>1)</sup>, erlaubte die Lavoisier'sche Oxydationslehre noch eine Controverse, und wir finden daher die meisten jener Versuche als Oxydationsversuche zur Lösung chemischer Fragen angewendet, die jetzt kein Interesse mehr haben. van Marum hat die Metalloxyde dadurch sichtbar gemacht, daß er Metalldrähte in  $\frac{1}{8}$  Zoll Entfernung über Papierblättern zerstäuben liefs, wodurch letztere auf mannigfache Weise gefärbt wurden. Ich habe einige solcher Figuren dargestellt unter beschränktem Zutritte der Luft, indem die Drähte zwischen Papier gelegt und durch ein Gewicht von 1 Pfund beschwert wurden. Hier sind aufser den Färbungen durch Oxyde auch die durch reine Metalle sichtbar. Diefß ist besonders bei Kupfer und Cadmium auffallend, indem sich durch dunkelfarbige Verzweigungen metallische Adern hindurchschlingen, die sich durch Farbe und Glanz auszeichnen. Es ist übrigens sonst schon bekannt, daß in irrespirablen Gasen und im luftverdünnten Raume die Metalle durch Elektricität regulinisch zerstäuben <sup>2)</sup>. Hiermit wird die Vorstellung gänzlich zurückgewiesen, daß die Metalle mit Hülfe der Elektricität nur oxydirt werden und die Oxyde zerstäuben.

1) v. Marum, Beschreibung. Erste Forts. \*, S. 13. Cuthbertson, Nicholson's Journal, V, p. 136. Gilbert's Annalen \*, Bd. II, S. 400. Singer, Elemente der Elektricitätslehre \*. Breslau 1819, S. 122.

2) Guyton-Morveau, Gilbert's Annalen \*, Bd. 32, S. 55 van Marum, Beschreibung. Erste Fortsetzung \*, S. 26.

**Mechanismus des Glühens und Schmelzens durch  
Elektricität.**

**Mechanismus des Schmelzens.**

Die einzelnen hervorstechenden Wirkungen steigen der elektrischer Entladungen auf einen Metalldraht bilden, wenn man von der schwächsten Entladung anfängt, folgende Reihe: der Draht wird warm, er wird erschüttert, er erhält Einbiegungen, er glüht, er reißt von seinen Befestigungen ab, er zersplittert, er schmilzt, er zerstäubt. Die mechanischen und die thermischen Erscheinungen wechseln hier mit einander ab, aber häufig sind sie gleichzeitig nachweisbar. Es findet kein Glühen des Drahtes statt, ohne daß eine Verbiegung desselben nachgewiesen werden könnte, und selten wird eine Schmelzung erhalten, bei welcher nicht Spuren der Zersplitterung vorkämen. Nur bei dem ersten Gliede der Reihe kommt die thermische Wirkung isolirt vor; soll der Vorgang bei einer der höheren Stufen abgeleitet werden, so hat man diese nicht minder wie die mechanische Wirkung in Betracht zu ziehen.

Was die Schmelzung betrifft, so lehren die vorgelegten Versuche den Vorgang bei derselben so deutlich kennen, daß hier nur wenige Worte hinzuzufügen bleiben. Wir haben gesehen, daß durch gesteigerte Entladungen ein Draht in Splitter zerrissen wurde, die keine Schmelzung zeigten, daß derselbe in geschmolzte Splitter zerfiel, und daß er endlich zu Kugeln geschmolzt wurde. Auch in diesem letzten Falle zeigt sich die Zersplitterung des Drahtes durch die Gewalt, mit der die Kugeln umhergeworfen werden. Wird eine größere Metallmasse nur oberflächlich geschmolzt, so zeigt der niemals fehlende Dampf die mechanische Wirkung, die mit der Schmelzung verbunden ist; dann sind es nicht die fortgeschleuderten Metalltheilchen, welche die Schmelzung erleiden, aber sie machen die Schmelzung des übr-

gen Metalles möglich, indem sie die Oberfläche desselben auflockern und zerreißen. Ueberall wo die elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse sichtbar, und jene kann daher nur als Wirkung der Hitze auf fein zertheiltes Metall gefaßt werden. Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, so erhitzt es dasselbe fortwährend als ganze zusammenhängende Masse bis zum Schmelzen, die Elektrizität hingegen erhitzt das Metall nur bis zu Temperaturen unter dem Schmelzpunkte, und schmelzt durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung. Hierin liegt der wesentliche Unterschied zwischen dem Schmelzen durch Feuer und dem durch Elektrizität, der Franklin und Berthollet zu der in der Einleitung angeführten Ansicht führte, nach welcher in der elektrischen Schmelzung die Cohäsion der Metalle direct, ohne Hülfe der Wärme, gelöst werden sollte. Aber darin verstößt jene Ansicht, dafs auf die Wärmeerregung, die jede elektrische Entladung erzeugt, lange zuvor sie eine mechanische Wirkung hervorbringt, keine Rücksicht genommen wird, da doch noch bei der letzten und feinsten Zertheilung der Metalle, der Zerstäubung, die Hitze thätig ist, wie das leichte Oxydiren der Metalle zeigt. Der Mechanismus der elektrischen Schmelzung wird von dem der gewöhnlichen Schmelzung getrennt, indem wir aussprechen:

Die Elektrizität schmelzt Metalle durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

#### Mechanismus des Glühens.

Auch das Glühen tritt aus dem Kreise der reinen elektrischen Wärmeerscheinungen heraus; die mechanischen Wirkungen, die ihm vorangehen, die Dampfbildung, die Erschütterung und hauptsächlich die niemals fehlende Verbiegung des Drahts zeigen dieß auf directe Weise. Indirect ist es daraus zu schliessen, dafs die Steigerung der elektrischen Erwärmung durch Aenderung

des Schließungsbogens und der Ladung, deren Gesetze für niedrige Temperaturen bekannt sind, nicht zureicht die Glühtemperatur abzuleiten (S. 484, 485), und dafs, nach der Stromstärke, die zum Glühen eines Metalles hinreicht, die Stromstärke nicht zu berechnen ist, die ein anderes Metall dazu erfordert. Bei Drähten desselben Metalles, die nur in den Dimensionen verschieden sind, ist die Abhängigkeit des Glühens von der Stromstärke genau so gefunden worden, wie sie durch die früher ermittelten Gesetze der Wärmeerregung in verschiedenen Drähten bestimmt werden konnte. Gleiche Temperaturen in verschieden abgemessenen Drähten setzen dieselben Verhältnisse der Erwärmungen eines constanten Drahtes voraus, wie dieselben hier für das Glühen wirklich gefunden worden sind. Die Abweichung von dem Gange der regelrechten Erwärmungen wird aber auch hier merklich, wenn man die Thermometeränderungen in einem constanten Schließungsbogen bei veränderten Ladungen mit einander vergleicht. Es gilt nämlich in einem constanten Bogen, von dem kein Theil durch die Entladung eine mechanische Einwirkung erfährt, für die Thermometeränderung  $\theta$  bei der Entladung der Electricitätsmenge  $q$  aus  $s$  Flaschen die Relation  $\theta = \alpha \frac{q^2}{s}$ ,

wo  $\alpha$  für eine ganze Beobachtungsreihe so merklich constant bleibt, dafs, wie in allen meinen Wärmeuntersuchungen geschehen ist, Ein Werth von  $\alpha$  hinreicht die Reihe darzustellen. Diefs findet nicht mehr statt, wenn in dem Schließungsbogen sich ein Draht befindet, der durch die angewandten Entladungen mechanisch afficirt und in's Glühen versetzt wird. Der Werth von  $\alpha$  nimmt von der ersten mechanischen Wirkung auf den Draht bedeutend ab bis zur Erscheinung des Glühens, bleibt während der verschiedenen Stufen desselben nahe constant, und nimmt bei der Zersplitterung und Schmelzung des Drahtes wieder zu. Diefs ist in den folgenden Versuchen ersichtlich.

Versuch 45. Ein Platindraht, 16 Lin. lang, *rad* 0,0261, befand sich neben dem Thermometer im Schließungsbogen.

Flaschen- zahl.	Elektrici- tätsmenge.	Thermometer- anzeige.	
s.	q.	θ.	α
4	6	12,5	1,39
	8	20,7	1,29
	9	23,8	1,17
	10	27,2	1,09
	11	31,0	1,02
	12	36,0	1,00
	13	42,5	1,00
	—	41,8	0,99

Dampf am Drahte.  
dasselbe.  
Einbiegung.  
dasselbe.  
dasselbe.  
der Draht glüht.  
dasselbe.

Versuch 46. Ein Platindraht, 16 Lin. lang, *rad* 0,0396, befand sich neben einem weniger empfindlichen Thermometer.

7	10	8,0	0,56	
	12	9,3	0,45	
	14	11,8	0,42	
	16	13,5	0,37	
	20	19,8	0,35	
	22	24,9	0,36	der Draht glüht.
	24	26,7	0,33	dasselbe.
	26	31,8	0,33	dasselbe.
	28	32,6	0,29	dasselbe.
	35	45,0	0,33	der Draht schmilzt.

Versuch 47. Ein Platindraht, 17 Lin. lang, *rad* 0,0209. Alte Batterie.

4 *	5	7,6	1,22	
	7	14,0	1,15	
	9	20,0	0,99	Einbiegung.
	11	27,2	0,90	Draht glühend.
	13	33,3	0,80	weißglühend.
	15	41,2	0,95	schmilzt zu Kugeln.

Versuch 48. Ein Draht derselben Dicke, 10 Lin. lang.

Flaschen- zahl.	Elektrici- tätsmenge.	Thermometer- anzeige.	
s.	q.	$\theta$	$\alpha$ .
4 *	5	7,8	1,24
	6	9	1,00
	7	12,8	1,04 Einbiegung.
	9	17,5	0,87 dasselbe.
	10	20,6	0,82 Draht glüht.
	11	24	0,79 dasselbe.
	12	27,1	0,75 weißglühend.
	12 $\frac{1}{2}$	28	0,93 Draht zerrissen.

Der Werth für  $\alpha$  ist in den Fällen, wo eine Zerstörung des Drahtes eintrat, nicht nach der ganzen Elektricitätsmenge  $q$ , sondern mit  $0,77 q$ , unter Beibehaltung der ganzen Dichtigkeit, berechnet, da nahe 0,23 der angewandten Menge in der Batterie zurückblieben (S. 519).

Bezeichnet man mit  $V$  den Verzögerungswerth des dünnen Drahtes im Schließungsbogen, so ergibt sich aus früheren Untersuchungen, daß die GröÙe  $\alpha$  propor-

tional  $\frac{1}{1+bV}$ , wo  $b$  einen von dem constanten Theile des Schließungsbogens abhängigen Werth erhält. Die in den obigen Versuchen ersichtliche Abnahme des Werthes  $\alpha$ , die bei den gebrauchten Entladungen nur durch Anwendung des dünnen Drahtes eintrat, bedingt also eine Zunahme des Verzögerungswerthes dieses Drahtes. Der Draht verzögert, wenn wir von der Entladung ausgehen, welche den ersten mechanischen Effect erzeugt, die folgenden Entladungen desto mehr, je stärker dieselben sind. Aber diese Verzögerungen halten nicht gleichen Schritt mit der Steigerung der Entladung, sie beobachten gewisse Perioden, innerhalb welcher sie sich nur wenig ändern, und diese Perioden hangen sichtlich mit den Wirkungen der Entladung zusammen. So tritt die erste bedeutende Zunahme des Verzögerungswerthes ein, wenn der Draht durch die Entladung erschüttert wird, die andere bei den

winkligen Einbiegungen im Drahte, und wenn der Draht zuletzt schmilzt, so nimmt der Verzögerungswerth wiederum ab. Hierdurch wird die sich zuerst darbietende Vermuthung widerlegt, dafs der Verzögerungswerth eines Drahtes von der Temperatur abhänge, die der Draht durch eine Entladung erfährt (wobei man sich die Entladung in die verschiedenen Pulse zerlegt denkt, aus denen sie besteht).

Der Verzögerungswerth eines Drahtes hängt allein von der Art ab, in welcher eine Entladung in demselben fortschreitet; die Veränderlichkeit desselben bis zu einem gewissen Punkte, und die nachherige fortwährende Aenderung desselben bis zur Zerstörung des Drahtes zeigen daher, dafs in jedem Drahte schwache Entladungen in anderer Weise, wie starke, fortgepflanzt werden. Ich werde die Natur dieser verschiedenen Fortpflanzung in dem Folgenden hypothetisch zu entwickeln und, da die Fortpflanzung der stärkeren Entladungen die in dieser Abhandlung betrachteten mechanischen und Hitze-Wirkungen bedingt, damit zugleich den Grund dieser Wirkungen anzugeben suchen. Ueber den Mechanismus des Glühens hat sich hier herausgestellt:

Das Glühen eines Drahtes geschieht durch eine Fortpflanzung der elektrischen Entladung in demselben, die von der gänzlich verschieden ist, durch welche der Draht nur erwärmt wird.

#### Verschiedenartige Fortpflanzung der elektrischen Entladung.

##### Verschiedene Fortpflanzung in Metalldrähten.

Welche Ansicht auch man über das Wesen der Electricität und das der elektrischen Leitung hege, so ist man anzunehmen genöthigt, dafs in den Metallen der elektrische Zustand einer Partikel sich successiv allen übrigen Partikeln mittheilt. Ist daher ein Metallstück an einer

Stelle elektrisirt, so kann es nur dadurch in den unelektrischen Zustand zurücktreten, daß jedes Theilchen desselben elektrisch und alsdann unelektrisch wird. In einigen Fällen lassen sich in jedem Theile des Metallstücks zwei Punkte angeben, die in der Zeit nach einander diese beiden Zustände annehmen, alsdann nennt man die gerade Linie, welche diese Punkte verbindet, den Weg der Fortpflanzung der Elektricität. Eine Batterie, die durch einen homogenen cylindrischen Draht entladen wird, liefert einen solchen Fall. Die Entladung tritt dadurch ein, daß der Draht, der beide Belegungen verbindet, in einer großen Zahl von Pulsen hinter einander elektrisch und unelektrisch wird, und in einem jeden Stücke des Drahtes muß das der inneren Belegung zunächst liegende Ende durch die Elektricität dieser Belegung früher elektrisch werden, als das entfernter liegende, alle Theilchen aber, die in einem normalen Querschnitte des Drahtes liegen, werden gleichzeitig elektrisch und gleichzeitig unelektrisch seyn. Die Entladung der elektrischen Batterie muß hiernach herbeigeführt gedacht werden durch das Fortschreiten eines bestimmten elektrischen Zustandes von einem Querschnitte des homogenen Verbindungsdrahtes zu dem unmittelbar nächst folgenden, und zwar muß dieses Fortschreiten gleichmäßig geschehen, so daß in jedem Theile des Drahtes in gleicher Zeit gleich viele Querschnitte elektrisch geworden sind. Die Gesetze der elektrischen Erwärmung unterstützen diese Vorstellung auf unverkennbare Weise. Wir wollen die in der beschriebenen Art stattfindende Entladung der Batterie die stetige oder *continuirliche* Entladung nennen. Man nehme aber an, daß an einer Partikel des Schließungsdrahtes der elektrische Zustand auf irgend eine Weise gehindert werde, sich den nächstliegenden Partikeln mitzutheilen, so wird die *continuirliche* Entladung nicht mehr von Statten gehen können. Jene Partikel wird bei weitem stärker elektrisch werden, als bei der *continuirlichen* Entladung, ihre  
 Elek-



Elektricität wird so lange an Stärke zunehmen, bis sie im Stande ist, das ihr entgegenstehende Hinderniß zu durchbrechen, und sich so mit der Elektricität einer andern Partikel in's Gleichgewicht zu setzen. Die sich elektrisch ausgleichenden Partikel liegen dann nicht, wie früher, einander unendlich nahe, sondern haben eine meßbare Entfernung von einander. Hierdurch entsteht eine von der vorher betrachteten, völlig verschiedene Entladungsweise. Es ist nicht mehr unbedingt nöthig, daß alle Partikel eines normalen Querschnitts des Drahts sich in demselben Augenblicke in gleichem elektrischen Zustande befinden, der Weg der Entladung wird also nicht nothwendig in der Axe des Drahtes liegen, sondern kann irgend einen Winkel mit derselben bilden. Da ferner eine Zeit verstreicht, ehe die erste Partikel hinlänglich stark elektrisch ist, während derselben aber die Fortschreitung der Entladung gehemmt ist, so wird nicht mehr die Entladung in gleichen Zeiten durch gleich lange Drahtstrecken sich fortpflanzen. Es kann, während in einigen Theilen des Drahts diese stoßweise Fortpflanzung der Entladung stattfindet, in anderen Theilen die continuirliche Fortpflanzung fortdauern; die Entladung der Batterie wird dabei aber nicht mehr auf stetige Weise vollendet werden, so daß sie als intermittirende oder *discontinuirliche* Entladung bezeichnet werden muß. Die Effecte, welche die discontinuirliche Entladung auf den Schließdraht ausübt, können aus bekannten Versuchen hergeleitet werden, in welchen diese Art der Entladung durch discontinuirliche Schließung der Batterie künstlich herbeigeführt wurde. Es kommen Licht-, Schmelz- und mechanische Erscheinungen vor. Eine Gliederkette, durch welche die Entladung geschah, wurde leuchtend, Metallstaub wurde von ihr losgerissen, die Glieder wurden verschoben, einige von ihnen angeschmolzt. Eine Linie von Metallkörnern wurde durch die Entladung zerrissen, die

Körner wurden zerstreut und oberflächlich geschmelzt <sup>1)</sup>. Eine mäfsige Ladung der Batterie durch einen schmalen Stanniolstreifen entladen, bringt in diesem keine sichtliche Veränderung hervor. Klebt man aber den Streifen auf eine Glasplatte, schneidet ihn an mehreren Stellen durch und lüftet die Enden jedes Stücks, so werden durch jene Entladung die einzelnen Enden in die Höhe und zurückgebogen, so dafs die Stücke die Gestalt von liegenden c ( ∪ ) erhalten <sup>2)</sup>.

Die künstlich herbeigeführte discontinuirliche Entladung bringt also die Wirkungen hervor, die oben an Drähten bemerkt worden sind, durch welche Entladungen, die eine gewisse Stärke überschreiten, geschickt wurden. Auch das Leuchten, das jede künstlich intermittierende Entladung begleitet, kommt, wenn auch selten, bei Entladungen durch dünne Metalldrähte vor. van Marum führt einen Fall an <sup>3)</sup>, wo ein Eisendraht durch eine Entladung, die ihn glühend machte, zugleich mit einem glänzenden Lichte umgeben wurde, das ungefähr einen Zoll im Durchmesser zu haben schien. Hier mufste die Entladung von den Punkten, an welchen sie intermittirte, zum Theil durch die Masse des Metalles, zum Theil über die Oberfläche desselben sich weiter verbreitet haben. Aber nicht allein die auffallenden äufseren Erscheinungen am Drahte nöthigen uns, in demselben eine natürlich bedingte discontinuirliche Entladung anzunehmen, auch die versteckteren Vorgänge in demselben finden bei solcher Annahme eine leichte Erklärung. Es ist gezeigt worden, dafs von der ersten mechanischen Wirkung auf den Draht an, der Verzögerungswerth des-

1) Priestley, Geschichte der Elektricität; deutsch von Krünitz\*, S. 440 ff.

2) Henry in *Transact. of the americ. philosoph. soc.*; Vol. VI. — Poggendorff's Annalen, Ergänzungsband 1842 \*, S. 309.

3) Beschreibung einer Elektrisirmaschine \*, zweite Fortsetzung, S. 48.

selben bedeutend zunimmt; da die Entladung von hier an intermittirt, so muß sie zur Fortpflanzung durch den Draht eine gröfsere Zeit als früher gebrauchen. Die Stellen der Intermittenz der Entladung werden durch die Verbiegungen angezeigt, je mehr derselben eintreten, desto gröfser wird der Verzögerungswerth des Drahtes werden. Aber zugleich wird derselbe kleiner durch das Ueberspringen der Entladung von einer Stelle zur andern, das in der kurzen Strecke die Entladung schneller fortführt, als es bei der continuirlichen Entladung der Fall war; daher die Perioden, innerhalb welcher der Verzögerungswerth nahe constant bleibt, und daher seine Abnahme bei der Zersplitterung und Schmelzung des Drahtes. Diese Compensation zweier entgegengesetzten Wirkungen auf die Entladung wird erläutert durch einen Fall, den ich bei früherer Gelegenheit bekannt gemacht habe <sup>1)</sup>. In dem Schließungsdrahte der Batterie war neben einem Luftthermometer eine Unterbrechung angebracht, in der zwei kleine Messingscheiben einander parallel gegenüberstanden. Die Scheiben wurden zuerst  $\tau^1\sigma$  und dann eine ganze Linie von einander entfernt; gleiche Ladungen brachten bei der letzten Stellung der Scheiben größtentheils keine geringeren, ja sogar gröfsere Erwärmungen im Thermometer hervor, als bei der ersten Stellung. Obgleich bei den entfernten Scheiben die Entladung mit geringerer Elektricitätsmenge geschah, als bei den näheren, so glich die vollkommene Condensation der Elektricität an den Rändern der Scheiben diesen der Erwärmung nachtheiligen Effect vollkommen aus.

Nach dem Angeführten dürfte die discontinuirliche Entladung großer Elektricitätsmengen durch continuirliche Drähte nicht mehr bezweifelt werden. Das theilweise Schmelzen der Drähte, das so gewöhnliche Zerschlitzen derselben in der Richtung der Axe, und die merkwürdigen Verbiegungen, die vor dem Glühen ein-

1) Poggendorff's Annalen \*, Bd. 43, S. 78.

treten, sind ausserdem augenfällige Beweise für diese Entladungsweise, während andererseits bei geringeren Entladungen die in jedem gleichen Querschnitte eines Drahtes gleiche Wärmeerregung die *continuirliche* Fortpflanzung der Entladung unwiderleglich bezeugt. Zum richtigen Verständnisse der Wirkung einer elektrischen Entladung auf einen Draht muß daher der Satz gemerkt werden:

Durch jeden Draht werden elektrische Entladungen bis zu einer gewissen Stärke *continuirlich* fortgepflanzt; dabei wird der Draht erwärmt und magnetisch; stärkere Entladungen pflanzen sich durch denselben nur *discontinuirlich* fort, und in Folge davon entsteht die Verbiegung, das Glühen Zerreißen, Schmelzen und Zerstäuben des Drahtes.

#### Verschiedene Fortpflanzung der Entladung in Flüssigkeiten.

Die verschiedenartige Fortpflanzung der elektrischen Entladung in einem und demselben Medium kommt nicht bei den Metallen allein vor, sie findet sich bei allen Körpern, und giebt sich in den unvollkommenen Elektricitätsleitern auf so schlagende Weise zu erkennen, daß sie nicht übersehen werden konnte. Faraday nimmt in der Luft vier verschiedene Entladungsweisen der Elektricität an, die er nach den sie begleitenden Lichterscheinungen und mechanischen Effecten unterscheidet, und mit den Namen: durchbrechende, glimmende, dunkle und fortführende Entladung belegt <sup>1</sup>). Diese Entladungen gehören aber wesentlich zu der discontinuirlichen Entladung, während der, von Coulomb nach seinen Gesetzen erkannte, allmälige Uebergang der Elektricität in Luft als die *continuirliche* Entladung eines elektrisirten Körpers

1) *Experimental researches in electr. \**. Lond. 1839. — Poggendorff's Annalen, Bd. 47 und 48, *disruptive discharge*, N. 1359, *glow d.* 1526, *dark d.* 1544. *currying d.* 1562.

durch die Luftmasse aufzufassen ist. Nicht weniger deutlich erscheint die verschiedene Fortpflanzung der Entladung in Flüssigkeiten. Durch eine Röhre, die mit Wasser, Alkohol oder einer Salzlösung gefüllt ist, kann eine Batterie geräuschlos vollständig entladen werden, während bei geringer Verstärkung der Entladung ein Funke in der Röhre erscheint und dieselbe gewaltsam zertrümmert. Flüssigkeiten werden durch geräuschlose Entladungen in Bestandtheile zersetzt, die einzeln an bestimmten, beliebig von einander entfernten Stellen, auftreten, während die explosive Entladung die Bestandtheile vermengt an jeder Stelle der durchbrochenen Flüssigkeit liefert. Obgleich diese Effecte zweier an GröÙe nur wenig verschiedenen Elektricitätsmengen die verschiedene Fortpflanzungsart hinlänglich darthun, so habe ich sie auch durch Beobachtungen an einem Thermometer aufgezeigt, das gleichzeitig mit einem unvollkommenen Leiter sich im Schließungsbogen befand. Ein feuchtes Holzstück von  $1\frac{1}{2}$  Linie Dicke wurde zwischen zwei, im Schließungsbogen befindliche Spitzen geklemmt, oder ein feuchtes Kartenblatt zur Verbindung zweier, 10 Linien von einander entfernten Spitzen gebraucht; die Entladungen der Batterie gingen bis zu einer gewissen Stärke ohne Geräusch hindurch, und im Thermometer zeigte sich nicht die geringste Erwärmung. Aber es trat ein Punkt ein, an welchem die Entladung, auch nur um ein Geringes verstärkt, die Zwischenlage leuchtend und mit starkem Schalle durchbrach, und im Thermometer eine bedeutende Wärme erregte. Bei diesen Versuchen wurde indess die Batterie nur in dem letzten Falle vollständig entladen, während bei den früheren Ladungen ein nicht unbeträchtlicher Theil der angewandten Elektricitätsmenge in derselben zurückblieb. Ich führe deshalb nur die folgenden Versuche genauer an, wo in allen Fällen eine vollständige Entladung der Batterie stattfand.

Versuch 49. In einer Unterbrechung des Schließungs-

bogens wurden zwei senkrechte, in einen Winkel gebogene Platindrähte von 0,224 Linie Dicke angebracht, und die Spitzen derselben,  $\frac{1}{3}$  Linie von einander entfernt, in ein Gefäß mit destillirtem Wasser gestellt. Ein an einer anderen Stelle der Schließung befindliches Thermometer gab bei verschiedenen Entladungen die folgenden Erwärmungen an.

Flaschenzahl. Elektricitätsmenge. Erwärm. im Thermometer.

4 *	5	0	
	$5\frac{1}{2}$	0	
	6	0	
	$6\frac{1}{2}$	27,5	
	7	35,0	32
3 *	4	0	
	$4\frac{1}{2}$	0	
	5	19,0	22,4
	$5\frac{1}{2}$	32,3	27,5

Da die Erwärmung im Thermometer von der Art abhängt, in der sich die Entladung durch das Wasser fortpflanzt, so zeigen die Thermometerangaben hier eine zwiefache Fortpflanzungsart an. Würde nämlich in dem ersten Beispiele sich die Elektricitätsmenge 6 durch das Wasser eben so fortgepflanzt haben, wie es die Menge  $6\frac{1}{2}$  that, so hätte im Thermometer eine Erwärmung von 23 Lin. stattfinden müssen; im zweiten Beispiele würde die Menge  $4\frac{1}{2}$  bei gleicher Fortpflanzung, welche die Menge 5 besaß, eine Erwärmung von 15,5 Lin. hervorgebracht haben. Statt beider Erwärmungen gab die Beobachtung keine wahrnehmbare Größe an. Die discontinuirliche Entladung zeigte sich außerdem noch durch einen, mit dumpfem Geräusche begleiteten Funken im Wasser und durch das Umherspritzen des letzteren. Stellt man die Versuche mit einer größeren Entfernung der Platinspitzen und dadurch bedingten größeren Elektricitäts-

menge an, so erfolgt häufig die Zerschmetterung des Gefäßes, in dem sich das Wasser befindet.

#### Lage der Intermittenzstellen an Drähten

Die von einander etwas verschiedenen Erwärmungen bei denselben Entladungen im 49. Versuche können nicht auffallen, da bei dem Durchbrechen einer flüssigen Masse die discontinuirliche Entladung begreiflich nicht immer denselben Weg zu nehmen gezwungen ist. Diefes gilt in gleicher Ausdehnung für feste Körper, und namentlich für die Metalle, wenn sie durchbrochen und zersplittert werden. Wo die Entladung hingegen den Zusammenhang der Metalle noch nicht zu lösen vermag, findet sie in regelmäßiger Weise statt, und ergreift die Normalschnitte des Drahtes stets gleichzeitig, wie die Constanz der bei dem Glühen von Drähten beobachteten Thermometeränderungen und die Abhängigkeit derselben von dem Halbmesser der Drähte deutlich zeigen. Hierbei kann nach der Lage der Intermittenzstellen gefragt werden. Eine Entladung von gewisser Stärke kann sich durch einen bestimmten Draht nicht mehr continuirlich fortpflanzen, sie wird einmal oder öfter intermittiren müssen. Die Stellen, an welchen diese Intermittenz eintritt, und die hypothetisch durch die Einbiegungen angezeigt werden, scheinen gleichgültig zu seyn, und nur durch zufällige Ungleichheiten in dem Gefüge des Drahtes bestimmt zu werden. Wendet man nämlich zu den Glühversuchen einen Draht an, der an einer Stelle einen Druck erlitten hat, so wird trotz der sorgfältigsten Glättung desselben die erste Einbiegung an jener Stelle eintreten. Es läßt sich leicht eine starke Einbiegung durch die Entladung an einer vorher bestimmten Stelle eines Drahtes hervorbringen; ich habe häufig einen Draht an einer Stelle mit dem Fingernagel leicht eingedrückt, und jedesmal bemerkt, daß die erste Verbiegung durch die Entladung an diesem Merkmale stattfand, indess alle übrigen Er-

scheinungen im Schließungsbogen nicht im geringsten geändert wurden.

#### Der elektrische Funke.

Die vorliegende Untersuchung steht zu der häufig angeregten Frage über die Natur des elektrischen Lichtes in Beziehung, die ich zum Schluss mit einigen Worten angeben will. Lässt man eine hinreichend starke Ladung durch einen guten Leiter und durch eine unvollkommen leitende Flüssigkeit oder Luftart hindurchgehen, so intermittirt sie in dem zweiten Medium und bringt daselbst eine Lichterscheinung hervor, den elektrischen Funken oder eine Modification desselben. Ueber die Natur dieses Funkens sind zwei wesentlich verschiedene Meinungen aufgestellt worden. Nach der ersten Ansicht wird das durchbrochene Medium selbst, in den gewöhnlichen Fällen die Luft, leuchtend durch primäre oder secundäre Wirkung der Elektrizität. Diese Ansicht findet in den oben angeführten Versuchen eine Analogie, da gezeigt worden ist, dass ein Metalldraht durch die intermittirende Entladung glühend wird, in der Masse desselben also eine Lichterscheinung zu Stande kommt. Nach der zweiten Meinung besteht der Funke nicht aus leuchtenden Theilen des Mediums, das er durchbricht, sondern aus glühenden Theilen des guten Leiters, der dasselbe begrenzt, in den gewöhnlichen Fällen also aus glühenden Metalltheilen. Auch dieser Ansicht widerstreiten die obigen Versuche nicht. Es lässt sich nämlich leicht zeigen, dass die discontinuirliche Entladung nicht allein in dem unvollkommenen Leiter stattfindet, sondern in geringer Tiefe des guten Leiters beginnt. Wenn man einen Funken aus einem Metallconductor zieht, so wird die intermittirende Entladung in dem Finger durch die stechende Empfindung, in dem Metalle durch den Oxydationsfleck angezeigt, der, bei häufiger Wiederholung des Versuchs, an der Oberfläche des Metalles entsteht. Die Entladung



einer Batterie bringt schon bei dem ersten Versuche an den Kugeln, zwischen welchen der Funke übergeht, Oxydation und Schmelzung hervor. Die discontinuirliche Entladung hat aber, wie wir gesehen haben, auch die Wirkung, Theilchen von Metallen loszureißen und zu glühen, und bei Anwendung von Metallstücken ist die Anwesenheit von Metalltheilchen in dem Funken leicht begreiflich. Damit wird aber keinesweges die Nothwendigkeit solcher Theilchen in jedem elektrischen Funken bewiesen, und die darauf gegründete Ansicht über die Natur des Funkens, obgleich in neuerer Zeit von mehreren Seiten unterstützt, bietet so viele Schwierigkeiten, daß zu ihrer Feststellung eine umfassendere Untersuchung nöthig erscheint, als man derselben bisher gegönnt hat.

---

## II. *Ueber die Magnetisirung von Stahl needles durch den elektrischen Funken und den Nebenstrom desselben; von Dr. Hankel.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verfasser aus einem Programm der Realschule zu Halle.)

---

Im 34. Bande der *Annales de chimie et de physique* <sup>1)</sup> für das Jahr 1827 hat Savary eine, wegen der darin beobachteten Erscheinungen, höchst merkwürdige Abhandlung über die Magnetisirung von Stahl needles, besonders durch den elektrischen Funken, bekannt gemacht. Als er nämlich dünne gehärtete Nadeln in verschiedenen Entfernungen von einem Drahte und in senkrechter Richtung auf denselben befestigte, und durch diesen Draht die Entladung einer Batterie von 22 Quadratfuß Oberfläche, die jedoch nicht bis zur Sättigung geladen war, schlagen liefs, so zeigten sich die Nadeln, je nach der

1) Auch in Poggendorff's Ann., Bd. 9, S. 443, und Bd. 10, S. 73.