

Über den elektrischen Funken (Tesla'sche Versuche).

Von

Dr. Jos. Tuma.

Vortrag, gehalten den 21. November 1894.

(Mit Experimenten.)

Mit 1 Abbildung im Texte.

Unter den Wissenschaften nehmen heute die Physik und die technischen Doctrinen eine sehr bevorzugte Stellung ein. Veranlassung dazu ist vor allem der praktische Nutzen, welchen diese Wissensgebiete den Menschen bringen. Staunen wir doch über die mächtigen Wirkungen der Dampfkraft, vermöge deren unsere Schiffe den Ocean durchqueren, durch welche in unseren Fabriken allen jenen Maschinen Leben eingehaucht wird, die durch Schnelligkeit und präzise Arbeit die Menschenhand übertreffen. Bewundern wir doch immer wieder die Wirkungen des Lichtes in unseren photographischen Apparaten, in welchen bleibende Bilder der Außenwelt mit einer Treue wiedergegeben werden, wie es selbst der Künstler nimmer zu thun im Stande wäre. Und welchen großen Nutzen bringen uns heute die Wirkungen der elektrischen und magnetischen Kräfte, vermöge deren wir unsere Stimme den viele Meilen weit entfernten Freunden übermitteln können, mittels deren wir die an einem Punkte entfaltete Kraft einer Maschine, eines Wasserfalles auf weite Entfernungen übertragen und dort wieder als

Kraft oder auch als Wärme oder Licht zum Vorschein kommen lassen.

Sie, hochverehrte Anwesende, sollen heute einen Blick thun in die Werkstätte des Forschers, welcher jene Gesetze entdeckt, deren Kenntnis uns die Macht verleiht, die großen Gewalten der Natur, die Wärme, das Licht, die Elektrizität, deren eigentliches Wesen wir noch nicht einmal erkannt haben, zu unserem Nutzen zu verwerten.

Eine Naturerscheinung, welche von jeher die Menschen mit Staunen und deren Wirkungen sie mit Entsetzen erfüllte, ist der Blitz. Als man die ersten Elektrisiermaschinen erfand, war wohl die Thatsache, dass der Mensch nunmehr diese Naturerscheinung nachzumachen im Stande war, von großer, ich möchte sagen cultureller Bedeutung. Das, was der Blitz im großen ist, ist der elektrische Funken im kleinen. Wir sind also im Stande, in unseren Laboratorien kleine Blitze zu erzeugen und daran ihr Wesen zu studieren. Durch solche Nachbildungen von Naturerscheinungen in kleinem Maßstabe lernen wir dann oft Gesetze und Beziehungen derselben zu anderen Erscheinungen kennen, welche uns bei bloßer Betrachtung der großen Natur hätten entgehen müssen. Diese Praxis ist es, durch welche die Physik auf den heutigen hohen Standpunkt gelangt ist, was gewiss nicht der Fall wäre, wenn wir noch immer nach Art der alten Philosophen die Naturerscheinungen durch bloße Speculation ergründen wollten.

Die einfachste Methode, einen elektrischen Funken zu erzeugen, ist wohl allen verehrten Anwesenden schon vom elementaren Schulunterrichte her bekannt. Wir nehmen eine sogenannte Leydener Flasche, das ist eine Glasflasche, die außen und innen mit Stanniol beklebt ist. Der inneren Belegung theilen wir durch einen Draht, welcher durch den Stöpsel in die Flasche hineinragt und die innere Belegung berührt, z. B. mittels einer geriebenen Glasstange, Elektrizität mit. Wenn wir dann an der äußeren Stanniolbelegung einen zweiten Draht befestigen und dessen anderes Ende allmählich dem aus der Flasche herausragenden Drahte nähern, so sehen wir, noch ehe sich beide Drähte berühren, einen elektrischen Funken, einen kleinen Blitz, aufleuchten und hören einen Knall.

Als man diesen Versuch das erstemal anstellte, war man um eine Erklärung nicht verlegen. Man nahm eben an, dass die Elektrizität aus dem Inneren der Flasche abgeströmt sei. Doch zeigten Versuche von Feddersen und Berechnungen von Lord Kelvin (William Thomson), dass die Sache so einfach nicht ist. Der leuchtende Funken bedeutet nämlich nicht ein bloß einmaliges Übergehen von Elektrizität von der inneren Belegung der Leydener Flasche zur äußeren, sondern ein wiederholtes Hin- und Herfließen. Es verhält sich die Elektrizität ganz ähnlich wie Wasser, welches in zwei nahe am Boden durch ein weites Rohr communicierende Gefäße gefüllt ist, und das man aus seiner Gleichgewichtslage gebracht hat. Gerade so,

wie man das kontinuierliche Übergehen von Flüssigkeit durch eine Rohrleitung als ein Strömen derselben bezeichnet, nennt man das kontinuierliche Übergehen von Elektrizität durch einen Draht einen elektrischen Strom. Wenn nun ein solcher Strom wiederholt seine Richtung ändert, bezeichnet man ihn als Wechselstrom. Dies ist bei dem erwähnten Experimente mit der Leydener Flasche wirklich der Fall. Es durchströmt die Drähte, welche zur äußeren und inneren Belegung führen, während des Leuchtens des Funkens ein Wechselstrom.

Die hochgeehrten Anwesenden wissen wohl, dass man auch in der Industrie Wechselströme zur Beleuchtung und Kraftübertragung anwendet. Diese industriell gebräuchlichen Wechselströme vollführen meist nur 80 Richtungswechsel in der Secunde, während diejenigen, welche durch Entladungen von Leydener Flaschen erhalten werden, Hunderttausende, ja sogar Millionen von Umkehrungen des Stromes in der Secunde aufweisen können.

Überlegen wir noch die Ursache der Niveauschwankungen des Wassers in zwei in oben beschriebener Weise communicierenden Gefäßen, so ergibt sich als solche die Trägheit, eine bekanntermaßen allen Körpern zukommende Eigenschaft. An der Elektrizität ist dieselbe noch nicht beobachtet worden, doch wird sie durch eine andere Erscheinung in den meisten Fällen und so auch hier ersetzt. Wenn aus dem Innern der Flasche, die wir als zu Be-

ginn mit positiver Elektrizität geladen annehmen wollen, die Elektrizität abgeströmt ist, würde kein weiteres Übergehen derselben mehr stattfinden, wenn nicht die Selbstinduction vorhanden wäre, gerade so wie das Strömen der Flüssigkeit aufhören würde, sobald in beiden Gefäßen die Niveaux gleich hoch stehen, wenn dies nicht die Trägheit hindern möchte. In beiden Fällen dauert aber das Überströmen der Elektrizität, respective des Wassers fort. Auf der inneren Belegung der Leydener Flasche tritt ein Mangel an positiver Elektrizität ein, d. h. sie erscheint nunmehr negativ geladen, wodurch zur neuerlichen Elektrizitätsströmung in umgekehrter Richtung Veranlassung gegeben ist.

Gerade so wie das Wasser in den communicierenden Gefäßen infolge der Reibung an den Rohrwänden und des Luftwiderstandes bald zur Ruhe kommt, so hören auch die Schwankungen der Ladung der Leydener Flasche bald auf. Wollen wir jedoch einen andauernden Wechselstrom haben, so müssen wir die Flasche neuerdings laden und das Spiel sich wiederholen lassen.

Es stand zu erwarten, dass derartige Ströme neue Erscheinungen hervorrufen werden. Ein Verdienst des Amerikaners Tesla (aus Smilyan an der Militärgrenze stammend), der schon viel für die praktische Elektrotechnik Bedeutungsvolles geleistet hat, ist es, Methoden gefunden zu haben, um solche Ströme im großen darzustellen. Ich habe hier eine derartige

Anordnung getroffen und werde einige Experimente mit diesen Strömen ausführen, zu welchen ich sofort übergehen will, da ich glaube, es würde eine detailierte Auseinandersetzung der Methode ihrer Erzeugung zu sehr aufhalten und für die Mehrzahl der verehrten Anwesenden von zu geringem Interesse sein. ¹⁾

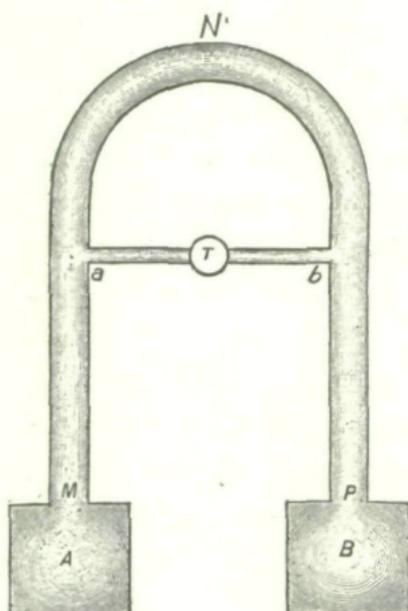
Die Wechselströme, welche ich hier erzeuge, vollführen circa 600.000 Wechsel ihrer Richtung in einer Secunde (Wechselströme von hoher Frequenz) und haben zunächst 12.000 Volt Spannung.

Unter Spannung eines elektrischen Stromes versteht man die Wirksamkeit der Kraft, welche die Elektrizität durch den Draht hindurchtreibt, und lässt sich dieselbe mit dem Gefälle eines Flüssigkeitsstromes vergleichen.

Zunächst leite ich den Strom durch einen aus 5 mm starkem Kupferdrahte gebildeten Bügel. Zwischen den Schenkeln desselben sind Glühlampen befestigt, und zwar die oberste, welche mit Gleichstrom gespeist 10 Volt Spannung benötigt, derart, dass die Anschlussstellen der Lampe an den Bügel längs des dicken Drahtes gemessen circa 30 cm von einander abstehen. Tiefer sind an den Bügel noch eine fünfzig- und eine hundertvoltige Lampe angehängt. Eine einfache Rechnung zeigt, dass ungefähr

¹⁾ Näheres darüber: „Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architektenvereines“, 1894, Nr. 20.

30.000 Ampère an Stromintensität den dicken Kupferdraht durchfließen müssten, damit die oberste 10 Volt-Lampe zum Leuchten gebracht werde, wobei aber der dicke Draht sich derart erwärmen würde, dass er sofort verdampfen möchte. Bei Anwendung der hochfrequenten Wechselströme dagegen leuchten die



Lampen, ohne dass eine merkliche Erwärmung des Kupferbügels stattfindet.

Diese Erscheinung ist abermals eine Wirkung der Selbstinduction, und wir wollen wieder zur Erklärung derselben ein Beispiel aus der Hydrodynamik anführen. Wir denken uns zwei Gefäße *A* und *B* (Figur) durch ein bügel förmiges biegsames Rohr *MNP* ver-

bunden. Heben wir z. B. das Gefäß *A*, so fließt das Wasser, welches in dem Bügel und den Gefäßen enthalten ist, aus *A* durch das Rohr *MNP* nach *B*. Senken wir nun wieder das Gefäß *A* und heben *B*, so strömt das Wasser in der umgekehrten Richtung. Wenn wir demnach diesen Vorgang sich oft hintereinander wiederholen lassen, so haben wir in dem Rohre einen Flüssigkeitswechselstrom. Nun denken wir uns zwischen die Schenkel des Rohres *MNP* bei *a* und *b* ein anderes kürzeres Rohr eingeschaltet, welches den Zufluss zu einer Turbine *T* vermittelt, die zum Unterschiede von den sonst verwendeten Turbinen nicht mit einem Flüssigkeitsgleichstrom, sondern mit einem Flüssigkeitswechselstrom getrieben werden kann. Nehmen wir nun an, wir würden zunächst das Heben und Senken der Gefäße *A* und *B* langsam vornehmen, so würde eine sehr beträchtliche Wassermasse die Rohrleitung durchströmen, ohne dass wir im Zweige *aTb* ein zum Treiben der Turbine genügendes Gefälle zustande brächten. Lassen wir aber die Bewegung der Gefäße *A* und *B* rascher werden, dann wird eine kleinere Menge Wasser die Rohrleitungen durchfließen; denn es ist immer eine gewisse Zeit nöthig, um die bereits in einer Richtung strömende Wassermasse aufzuhalten und sie dann in entgegengesetzter Richtung wieder in Bewegung zu bringen. Es ist dies eben eine Folge der Trägheit des Wassers. Wir können also dann die maximalen Höhendifferenzen der Gefäße *A* und *B* sehr groß machen, ohne dass eine übermäßig große Menge

Wasser aus einem Gefäße in das andere überströmt. In die Terminologie der Elektrizitätslehre übersetzt heißt das: wir können bei hoher Frequenz die Spannung des Wechselstromes sehr erhöhen, ohne dass ein starker Strom unseren Leiter (z. B. den Kupferbügel) durchfließt. Weiters tritt bei den Punkten *a* und *b* eine Theilung des Flüssigkeitsstromes ein. Derjenige Theil des Stromes, welcher im weiten Rohre von *a* über *N* nach *b* gelangt, hat in diesem Rohre eine große und schwere Wassermasse in wechselnde Bewegung zu versetzen, der andere durch die Turbine *T* strömende Theil hat nur eine kleine Menge Wassers und noch die Turbine zu bewegen. Wenn nun letzteres leicht ist, so wird der größte Theil der Flüssigkeit den Weg *a T b* wählen und die Turbine getrieben werden. Diese Turbine wird bei unserem elektrischen Experimente durch die Lampe ersetzt, doch ist es, wie wir bereits wissen, nicht die Trägheit der Elektrizität, welche das Leuchten der Lampe zur Folge hat, sondern die Selbstinduction.

Dass bei Anwendung der Wechselströme von hoher Frequenz die Wirkungen der Selbstinduction so großartige sind, entspricht vollkommen der mathematischen Theorie. Aus letzterer folgt auch, dass die gegenseitigen Inductionswirkungen sehr bedeutende sind, was wir sofort durch ein Experiment bestätigen werden. Unter gegenseitiger Induction versteht man die Erscheinung, dass ein Wechselstrom, der einen Draht durchfließt, in einem dazu parallel liegenden

zweiten in sich geschlossenen Drahte einen neuen Wechselstrom erzeugt. Diese Erscheinung wird um so heftiger, je rascher der Verlauf des ersten Wechselstromes ist. Eine daher stammende Erscheinung begegnet uns heute, da wir uns so allgemein an den Gebrauch des Telephons gewöhnt haben, so oft wir uns desselben bedienen. Wenn wir uns mit jemandem in telephonische Verbindung setzen lassen, hören wir mitunter in höchst störender Weise die Stimmen der auf anderen Telephonlinien Sprechenden. Die Übertragung der Töne mittels des Telephons beruht im wesentlichen in der Erzeugung von Wechselströmen von einer Frequenz gleich der Schwingungszahl der in das Telephon gesprochenen Laute. Wenn nun eine längere Strecke zwei Telephondrähte nebeneinander liegen, erzeugt der in einem derselben verlaufende Wechselstrom durch gegenseitige Induction einen ebensolchen in dem zweiten Drahte, der dann die unliebsame Störung verursacht.

Ich bediene mich hier einer Spirale aus circa sieben Windungen 5 mm starken Kupferdrahtes, durch welche ich den hochfrequenten Wechselstrom hindurchsende, und bringe über dieselbe einen kreisförmig gebogenen Kupferdraht, in welchem auf einer Seite eine Glühlampe eingeschaltet ist. Wie ersichtlich, ist der in diesem Kreise inducierte Strom stark genug, um die Lampe zu hellem Leuchten zu bringen.

Da wir also gesehen haben, dass die Induction in einem einfachen Drahtkreise schon so groß ist, dass

eine Lampe durch den inducierten Strom zum Leuchten gebracht wird, können wir versuchen, welche Effecte wir erzielen, wenn wir den Strom statt in einer, in vielen solchen Drahtwindungen inducieren lassen. Zu diesem Zwecke habe ich folgende Anordnung getroffen. Ich habe hier zwei in einander gesteckte cylindrische Glasgefäße. In das innere Gefäß habe ich eine aus dickem Kupferdrahte gefertigte Spirale von zehn Windungen eingeführt. Die Außenseite des inneren Gefäßes ist mit einer zweiten Spirale, bestehend aus 300 Windungen dünnen Drahtes, umgeben. Das Ganze steht in einem zweiten Gefäße. Der übrig bleibende Raum in beiden Gefäßen ist mit Öl ausgefüllt. Das äußere Gefäß ist an zwei Punkten durchbohrt, und es treten hier durch gut schließende Stöpsel die Enden der äußeren Spirale aus. Diese Enden verbinde ich nun mit zwei durch Glasfüße isolierten Kugeln, deren Distanz 25 cm beträgt. Sobald ich in die innere Spirale den hochfrequenten Strom eintreten lasse, springen hell leuchtende Funken zwischen den Kugeln über, welche so rasch auf einander folgen, dass sie wie ein feuriges Band erscheinen, welches die Kugeln verbindet. Zugleich entsteht ein derartiges Geräusch, dass selbst den nächststehenden Personen meine Worte unverständlich wären. Die Spannungen (150.000—200.000 Volt), welche hier auftreten, kann man sonst nur mit großen Elektrisiermaschinen erzielen. Während wir aber mittels einer solchen immer nur eine Entladung im Verlaufe mehrerer

Secunden erreichen können, folgen hier hunderttausende in der Secunde unmittelbar auf einander. Und diese hohen Spannungen sind ungefährlich. Die hochgeehrten Anwesenden werden gewiss von verschiedenen Unfällen gehört haben, die bei Anwendung elektrischer Wechselstrombetriebe sich dadurch ereignet haben, dass unberufene oder unvorsichtige Leute vom elektrischen Strome getödtet wurden, indem sie die Leitungen berührten. Die Ströme, welche für industrielle Zwecke verwendet werden, haben meist nur eine Spannung von circa 2000 Volt, und dennoch üben sie eine zerstörende Wirkung auf den Organismus aus. Die hier erzeugten Ströme von einer hundertmal höheren Spannung dagegen sind ganz unschädlich. Der Grund liegt wohl darin, dass die letzteren ungefähr 600.000mal in der Secunde die Richtung ändern, während die ersteren dies nur 80mal thun. Inwieferne jedoch die Gefährlichkeit des Wechselstromes von dessen Frequenz abhängt, ist bis jetzt noch gänzlich unaufgeklärt. Zur Demonstration des Gesagten benütze ich eine Glühlampe, an deren Pole je ein Draht angelöthet ist. Den einen Draht halte ich in der Hand, während ich auf den anderen einen Funkenstrom übergehen lasse. Die Lampe leuchtet. Oder ich mache den Versuch so, dass ich einen Pol der Lampe in der Hand halte, während mein Assistent den zweiten anfasst. In der anderen Hand halte ich einen metallenen Gegenstand, auf welchen die Funken übergehen. Wieder leuchtet die Lampe. Bei beiden

Versuchen bildet mein Körper einen Theil der Leitung für den Strom, welcher die Lampe zum Leuchten bringt. Wie man sieht, schadet mir derselbe nicht nur nicht, sondern er verursacht auch kein unangenehmes Gefühl. Dabei ist zu bemerken, dass aus der That- sache, dass die Lampe leuchtet, hervorgeht, dass wirklich ein bedeutender Strom meinen Körper durch- fließt, indem die zum Leuchten nöthige Stromstärke bei Anwendung hochfrequenter Ströme dieselbe ist wie bei Benützung von Gleichstrom.

Doch nicht nur Lichteffecte bringt der demon- strierte Funkenstrom hervor, sondern er hat auch eine sehr beträchtliche Hitze. Ich habe hier einen Holz- span, der an einem Ende mit Stanniol umwickelt ist, und den ich mit diesem Ende in der Hand halte. Auf das andere lasse ich den Funkenstrom übergehen, und sofort beginnt der Span zu brennen. Derselbe Strom, der für mich ungefährlich ist, setzt das Holz in helle Flammen.

Eine recht hübsche Erscheinung zeigt sich, wenn man den Funkenstrom auf einer Unterlage fixiert. Am besten eignet sich dazu eine Gipsplatte. Ich befestige dieselbe an einem Stative. Zu zwei diametralen Punkten der Platte führen die Zuleitungen für den hochge- spannten Strom. Außerdem befestige ich an eine der Zu- leitungen das Ende einer Leitungsschnur, die zu einem an einer hölzernen, also isolierenden Handhabe ange- brachten Metallstifte führt. Diesen kann ich nun als Schreibstift verwenden und den Funkenstrom in einer

Curve über die Gipsplatte hinweg führen. Es behält dann der letztere die Form des vorgezeichneten Weges und erscheint auf der Platte als helleuchtende glänzende Linie.

Nachdem wir den hochgespannten Wechselstrom von hoher Frequenz dazu verwendet haben, um die von ihm erzeugten glänzenden Funkenerscheinungen zu betrachten, wollen wir von ihm einen anderen Gebrauch machen. Dies hier ist eine Glühlampe, welche sich von anderen dadurch wesentlich unterscheidet, dass sie anstatt eines Kohlenbügels nur einen geraden Kohlenfaden enthält und dementsprechend auch nur einen Pol besitzt. Ich hänge diese Lampe an ein Stativ, welches ich mit einem Pole der Spule, die den hochgespannten Strom liefert, verbinde. Wie wir sehen, glüht der Kohlenfaden. Besser leuchtet er, wenn ich über das untere Ende der Lampe eine Kappe aus Stanniol klebe und diese mit einem isoliert aufgehängenen Blatte Stanniol verbinde. Es scheint auf den ersten Blick, als könne der elektrische Strom kein Leuchten der Lampe bewirken, da er dieselbe ja nicht durchfließen kann. In Wirklichkeit aber stellt eine solche Lampe eine Leydener Flasche vor. Der luftverdünnte Raum, der in der Lampe herrscht, ist ein verhältnismäßig guter Leiter und vertritt die innere Belegung. Nun wechselt die Ladung einige hunderttausendmal in der Secunde. Die zum Laden nöthige Elektrizität nimmt ihren Weg durch den Kohlenfaden und begibt sich an die innere Wand des Glases der Lampe. In-

dem die allerdings sehr kleine Elektrizitätsmenge so überaus oft in die Lampe ein- und austritt, wird der Kohlenfaden glühend.

Außer den bisher demonstrierten Lichteffecten ist es möglich, noch eine Art derselben zu erzeugen, und ich will mir erlauben, eine Form der Ausführung der hiehergehörigen Versuche, deren es eine große Menge gibt, zu zeigen. Wie die hochverehrten Anwesenden sehen, sind über Ihren Häuptern isolierte Drähte durch den Saal gespannt. Ich verbinde dieselben mit einem Pole meiner Spule. Weiters erlaube ich mir, Ihnen circa einen Meter lange evacuierete Röhren zu übergeben. Sobald ich den Strom schliesse, werden die Röhren zu leuchten beginnen, wenn Sie dieselben etwas in die Höhe heben. Die verehrten Anwesenden sehen hier eine Lichtquelle, welche ohne Anschluss an eine Elektrizitätsquelle leuchtet. Es treten nämlich in die im Saale gespannten Drähte Ladungen ein, die fortwährend wechseln. Bei jedem Ladungswechsel findet in allen im Saale befindlichen elektrisch leitenden Gegenständen eine Änderung der Vertheilung der Elektrizität statt. Dies geschieht auch in dem luftverdünnten Raume in den Glasröhren, welche Sie in Händen haben, und ist da von einer Lichterscheinung begleitet.

Wenn wir eine Kerze oder Gasflamme brennen, wenn wir eine Glühlampe oder eine Bogenlampe leuchten lassen, immer wird nicht nur Licht, sondern auch Wärme erzeugt. Da wir aber beabsichtigen, mit-

tels dieser Dinge nur Licht zu erzeugen, so müssen wir alle diese Einrichtungen als unökonomisch bezeichnen, da nicht alle zugeführte Energie als Licht ausgenützt wird. Die einem leuchtenden Vacuumrohre zugeführte Energie erscheint fast ausschließlich als Licht. Wir müssen demnach diese Methode zu beleuchten als die ökonomischste bezeichnen. Die Intensität des von den vorgeführten Röhren ausgesandten Lichtes ist allerdings sehr gering, doch könnte sie durch Anwendung phosphorescierender Substanzen sehr erhöht werden, und wir wissen nicht, ob wir hier nicht vor einer neuen Methode, elektrisches Licht zu erzeugen, stehen, wenn auch der Weg bis zu der für praktische Zwecke nöthigen Vervollkommnung noch ein sehr weiter sein mag.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: [35](#)

Autor(en)/Author(s): Tuma Josef

Artikel/Article: [Über den elektrischen Funken \(Tesla'sche Versuche\). 111-128](#)