

**V. Zur Widerlegung des elementaren Potentialgesetzes von Helmholtz durch elektrodynamische Versuche mit geschlossenen Strömen;  
von F. Zöllner**

(Aus den Berichten d. Sächs. Ges. d. W. Februar 1876.)

**H**r. Helmholtz hat am 17. Juni 1875 in einer Gesamtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin <sup>1)</sup> das in neuerer Zeit von ihm für *Stromelemente* aufgestellte und bisher gegen Einwände von Bertrand, C. Neumann, Riecke und mir vertheidigte Potentialgesetz zurückgezogen. Die Veranlassung hierzu gaben Experimente, deren Prinzip Hr. Helmholtz bereits in Borchardt's Journal für Mathematik Bd. 78, S. 281 angedeutet hatte. Hr. N. Schiller hat nun diese Versuche im physikalischen Laboratorium der Universität zu Berlin wirklich ausgeführt und seitdem in Moskau mit vollkommeneren Apparaten fortgesetzt. Durch diese Experimente sollte entschieden werden, „ob eine Elektrizität ausströmende Spitze die Wirkung eines Stromendes zeige, da die durch Fortbewegung der elektrisch abgestoßenen Luft fortgeführte Elektrizität möglicherweise nicht als elektrodynamische Fortsetzung der durchströmten Leitung in Betracht kam“ (p. 405). Nach Hrn. Helmholtz schreibt das Potentialgesetz elektrodynamische Wirkungen nur der in ponderablen Trägern sich bewegenden Elektrizität zu, nicht aber der convectiv fortgeführten. Es war also zu versuchen, ob eine Elektrizität ausströmende Spitze die Wirkung eines Stromendes zeige, da die durch die Fortbewegung der elektrisch abgestoßenen Luft fortgeführte Elektrizität möglicherweise nicht als elektrodynamische Fortsetzung der durchströmten Leitung in Betracht kam.

- 1) Helmholtz, Versuche über die im ungeschlossenen Kreise durch Bewegung inducirten elektromotorischen Kräfte. Monatsbericht der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1875. Juni 17. S. 404 bis 418.

„Es wurde daher bei den erwähnten Versuchen ein geschlossener Stahlring mit einem Leitungsdrahte umwickelt und magnetisirt“. „Der Ring wurde an einem langen Coconfaden aufgehängt in einem Gehäuse, welches äusserlich ganz mit Stanniol überdeckt wurde, um elektrostatische Anziehungskräfte auszuschliessen“. „Durch eine von aussen genäherte metallene Spitze strömte die gesammte durch eine schnell gedrehte Holtz'sche Maschine entwickelte Elektrizität in die Luft aus. Die Spitze wurde derjenigen Seite des Kastens gegenübergestellt, wo sich immer der eine verticale Theil des Ringes befand. *Der Ring hätte unter diesen Umständen eine Ablenkung erfahren müssen, wenn die Spitze als Stromende im Sinne der Potentialtheorie wirkte. Das Resultat der so angestellten Versuche war aber durchaus negativ.* Hr. N. Schiller hat seitdem diese Versuche in Moskau mit vollkommeneren Apparaten fortgesetzt, unter Bedingungen, wo die Grösse der Magnetisirung des Ringes und die Intensität des von der Elektrisirmaschine gelieferten Stromes genau bestimmt, und nachgewiesen werden konnte, *dass die nach dem Potentialgesetze zu erwartende Ablenkung gross genug seyn würde, um sicher beobachtet werden zu können, wenn sie existirte. Die Resultate waren ebenso rein negativ*“ (S. 406).

Aus dem Mißlingen dieser Versuche, zu deren Anordnung Hr. Helmholtz vom Standpunkte seines *elementaren* Potentialgesetzes geführt worden ist, zieht derselbe den Schluss, *„dass die Potentialtheorie, wenn in ihr nur die in den Leitern vorkommenden elektrischen Bewegungen und deren Fernwirkungen berücksichtigt werden, mit den Thatfachen in Widerspruch tritt*“ (S. 412).

Hr. Helmholtz befindet sich daher bezüglich dieses Resultates gegenwärtig in voller Uebereinstimmung mit dem bereits früher von mir durch *andere Versuche* erlangten Ergebniss, dass sein *elementares* Potentialgesetz „mit

1) Poggendorff's Annalen Bd. CLIV, S. 323.

den von C. Neumann und E. Riecke erwähnten Thatsachen der Beobachtung in Widerspruch treten würde<sup>1)</sup>“.

Man wäre nun berechtigt, diese schöne Uebereinstimmung, zu welcher theoretisch und experimentell so gänzlich verschiedene Wege geführt haben, als ein höchst erfreuliches und für den ferneren Fortschritt der Wissenschaft auch erspriefsliches Resultat zu betrachten, indem sich gezeigt hat, daß eine, von den bisherigen Gesetzen Ampère's und Weber's abweichende und mit großem Aufwand von *mathematischem* Scharfsinn entwickelte Theorie zu einem Ergebniss geführt hat, welches „mit den Thatsachen in Widerspruch tritt“.

Allein einer solchen Anschauungsweise würde Hr. Helmholtz keineswegs seine Zustimmung ertheilen. Denn gleichzeitig mit der Zurücknahme seines Potentialgesetzes erklärt derselbe sämtliche bisher gegen dasselbe von C. Neumann, Riecke, Herwig u. A. erhobenen Einwendungen einfach als „*nichtige*“.<sup>2)</sup> Ebenso nichtig seyen alle meine bisherigen Experimente, welche ich theils in den Berichten der Kgl. Sächs. Gesellschaft d. W.<sup>3)</sup>, theils in Poggendorff's Annalen<sup>4)</sup> zu dem Zwecke mitgetheilt habe, jenen gegenwärtig von Helmholtz selbst erkannten Widerspruch seines Gesetzes mit den Thatsachen zu beweisen, denn, — sagt Hr. Helmholtz, — „*alle Versuche, dies durch Untersuchungen an geschlossenen Strömen leisten zu können, sind principiell falsch angelegt*“ (S. 403 a. a. O.).

So gern ich daher auch geneigt gewesen wäre, in einer über fünf Jahre hindurch mit so großer Beharrlichkeit fortgeführten Controverse Hrn. Helmholtz das letzte Wort zu gestatten, so glaube ich dies doch nach seinen

1) Poggendorff's Ann. Bd. CLIV, S. 323.

2) Die betreffenden Worte von Helmholtz lauten a. a. O. folgendermaßen: „Ich brauche wohl kaum daran zu erinnern, daß ich das Potentialgesetz bisher zwar gegen nichtige Einwände vertheidigt habe, aber doch immer nur als ein solches, über dessen Richtigkeit endgiltig nur neue Versuche entscheiden könnten“.

3) Sitzung vom 8. August 1874.

4) Pogg. Ann. Bd. 154, S. 321 ff.

obigen Erklärungen im Interesse einer *wissenschaftlichen* und *definitiven* Klarstellung der obschwebenden Differenz unserer Anschauungen nicht thun zu dürfen.

Zunächst erlaube ich mir zu constatiren, daß Hr. Helmholtz bereits selbst anerkannt und zugegeben hat, daß, *unter einer bestimmten Voraussetzung*, „Versuche an geschlossenen Strömen“ zur Widerlegung seines *elementaren* Potentialgesetzes *nicht* „principiell falsch angelegt seyen“. Diese Voraussetzung besteht darin, daß bei den von C. Neumann, Riecke und mir angeführten elektrodynamischen Rotationen, die den beweglichen Leiter treibende Kraft, in Uebereinstimmung der bisherigen Anschauungen, auf *alle* Elemente des Leiters selber *direct* einwirke. Unter dieser Voraussetzung, welche von C. Neumann und Riecke *vor* dem Erscheinen der dritten Abhandlung von Helmholtz <sup>1)</sup> als selbstverständlich gemacht wurde, erklärt sich Hr. Helmholtz vollkommen damit einverstanden, daß jene *nur mit geschlossenen Strömen* ausführbaren Rotationsversuche zur Widerlegung seines Potentialgesetzes *principiell richtig angelegt seyn würden*, indem er S. 306 a. a. O. wörtlich erklärt:

„Hr. Riecke hat recht, daß in diesem Falle das Potential, welches die Kreisströme auf den Radius ausüben, sich bei dessen Bewegung nicht ändert, weil er immerfort in symmetrischer Lage zu ihnen bleibt“.

„An ähnlichen Beispielen hat Hr. C. Neumann Anstofs genommen <sup>2)</sup> und leugnet deshalb die Anwendbarkeit des von seinem Vater aufgestellten Potentialgesetzes auf Stromelemente“.

Hr. Helmholtz sucht nun aber zu beweisen, daß die HH. C. Neumann und Riecke sich in ihrer Voraussetzung, unter welcher jene Rotationsversuche, wie Hr.

1) Borchardt's Journal für Mathematik, Bd. 78, Heft 4, S. 273 bis 324 und Monatsberichte der Berl. Akademie d. W. 6 Febr. 1873, S. 92 bis 104.

2) Die elektrischen Kräfte. Leipzig 1873, S. 77 bis 79.

Helmholtz zugeibt, im Widerspruch mit seinem Potentialgesetze stehen würden, geirrt hätten. Es sey vielmehr eine nothwendige Consequenz seines Potentialgesetzes, daß jene von den Magneten oder dem Solenoid erzeugten Kräfte, durch welche der bewegliche Leiter in Bewegung gesetzt wird, *nicht direct alle Elemente desselben* afficirten, sondern *nur* diejenigen, welche in der Uebergangsschicht, d. h. in der sogenannten *Gleitstelle* liegen, zwischen dem Ende des starren Leiters und der Flüssigkeit, in welche derselbe eintauchen muß, um bei geschlossenem Strome beweglich zu seyn. Nur *diese Elemente* in der Gleitstelle seyen es, auf welche die elektrodynamisch vom Magneten ausgeübten Kräfte *direct* wirkten, und hierdurch werde, erst *indirect*, ähnlich wie der Körper einer Locomotive durch den Angriff der treibenden Kraft auf die Räder<sup>1)</sup>, der übrige starre Theil des Leiters fortgeführt. Dem entsprechend erklärt Hr. Helmholtz, alle die von Neumann und Riecke gegen sein Potentialgesetz gemachten Einwände für *nichtig*, und giebt gleichzeitig ziemlich deutlich zu verstehen, daß beide Herren ebenso wie Hr. Bertrand in Paris bei größerer Gewandtheit in der Mathematik, sich eigentlich selber durch „eine methodische Durchführung des Beweises mit Beseitigung der früheren beschränkenden Annahmen“<sup>2)</sup> aus seinem Potentialgesetze jene Folgerungen hätten ableiten können. Denn, sagt Hr. Helmholtz, „die mathematischen Methoden dafür waren durch die früheren Arbeiten gegeben“ und es wäre das, was dem vollständigen Beweise des Potentialgesetzes noch fehlte, „jetzt verhältnißmäßig leicht zu ergänzen“ gewesen. Hr. Helmholtz glaubt sich daher auch dem Leserkreise eines so hoch stehenden mathematischen Journales gegenüber zu einer besonderen Entschuldigung verpflichtet, daß er überhaupt für eine solche Arbeit einen Platz in diesem Journale in Anspruch nehme, indem er wörtlich (S. 276 a. a. O.) bemerkt:

1) Diesen Vergleich gestatte ich mir zur Verdeutlichung.

2) Dritte Abhandlung, S. 176.

„Die mathematischen Methoden dafür waren durch die früheren Arbeiten gegeben, und ich würde kaum gewagt haben, für eine solche Arbeit den Platz in diesem Journale in Anspruch zu nehmen, wenn nicht die Schwierigkeiten, auf welche die HH. Bertrand, C. Neumann und Riecke bei der Anwendung des Potentialgesetzes gestossen sind, und die Einwände, die sie daraus hernehmen zu dürfen glaubten, mir gezeigt hätten, daß eine methodische Durchführung des Beweises mit Beseitigung der früheren beschränkenden Annahmen wünschenswerth und nützlich seyn würde“.

Als Resultat dieser methodischen Durchführung des Beweises „ergiebt nun das Potentialgesetz außer den Kräften von Stromelement auf Stromelement noch weiter:

- a) Kräfte zwischen Stromelementen auf Stromenden,
- b) Kräfte zwischen Stromenden“<sup>1)</sup>.

Die unter b) angeführten Kräfte sind es nun, welche in ihrer Anwendung auf *Gleitstellen* alle die von Bertrand, C. Neumann und Riecke gegen das Helmholtz'sche Potentialgesetz angeführten Bedenken als *nichtige* erscheinen lassen. Denn diese Kräfte zwischen Stromenden an den Gleitstellen erklären vollständig jene elektrodynamischen Rotationen. So bemerkt z. B. Hr. Helmholtz: Hrn. Riecke gegenüber

„Wenn, wie in dem Beispiel von Hrn. Riecke, ein Radius eines Kreises den Strom vom Mittelpunkt desselben, um den er drehbar ist, zur leitenden Peripherie führt, und dabei unter dem Einflusse anderer concentrischer Kreisströme steht, so wirkt, wie Hr. Riecke richtig bemerkt, *nach dem Potentialgesetz unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil des Radius*, dessen relative Lage gegen die Kreisströme sich nicht verändert und es kommt allein das Kräftepaar zur Erscheinung, welches auf die Uebergangsschicht

1) Monatsberichte d. Königl. Akademie d. W. zu Berlin 6. Febr. 1873. S. 99.

an der Gleitstelle wirkt. *Dieses aber bedingt in der That den ganzen Erfolg*<sup>1)</sup>).

Nachdem nun die ganze Controverse in diese Phase der Entwicklung getreten ist, erkennt Hr. Helmholtz offenbar mit voller Klarheit, daß das ganze Gebäude seiner Prämissen und mathematischen Deductionen, mit deren Hülfe er sein Potentialgesetz entwickelt hat, nothwendig zusammenbrechen muß, wenn sich Experimente anstellen lassen, welche jene aus dem Potentialgesetze abgeleitete Wirkungsweise der Gleitstellen *schlagend widerlegen*. Denn von nun an, wo der Schwerpunkt der ganzen Streitfrage in die *experimentelle Widerlegung der treibenden Kraft in den Gleitstellen* verlegt ist, betont Hr. Helmholtz bei jeder Gelegenheit in den verschiedensten Formen und Wendungen, wie man sich diese Wirkungsweise der Gleitstellen etwa zu denken und anschaulich zu machen habe. Zum Beweise meiner Behauptung gebe ich hier eine kleine Zusammenstellung dieser charakteristischen Erläuterungen.

Hr. Helmholtz behauptet nämlich, bei der elektrodynamischen Rotation des beweglichen Leiters seyen:

„*die Vorgänge in der Gleitstelle allein in diesem Falle das Treibende*“<sup>2)</sup> und es wirkte „*unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil*“<sup>3)</sup> sondern es käme „*allein das Kräftepaar zur Erscheinung, welches auf die Uebergangsschicht an der Gleitstelle wirkt*“<sup>4)</sup>. Vielmehr ergäbe sich aus seinem Potentialgesetze, „*daß rotirende Kräfte auf die stromleitenden Flüssigkeitsfäden des Quecksilbers oder der Elektrolyten einwirkten, durch welche man dem peripherischen Ende des Bügels den Strom zuleiten muß*“<sup>5)</sup> und nur hierdurch entstände jene Rotation, denn es würden durch

1) A. a. O. 102.

2) Borchardt's Journ. Bd. 79, S. 306.

3) Ebendas. S. 302.

4) Ebendas. S. 302.

5) Pogg. Ann. Bd. 153, S. 549.

jene „rotirenden Kräfte“ „die dem Leiter adhärirenden Theile dieser Flüssigkeitsfäden im Sinne der wirklich stattfindenden Rotation fortbewegt und nehmen den festen Leiter mit“<sup>1)</sup>).

Aus allen diesen Erläuterungen geht wohl zur Genüge hervor, welches bedeutende Gewicht Hr. Helmholtz selber, und zwar mit vollem Rechte, auf die einzige Stütze seines Potentialgesetzes legt, nämlich auf die aus demselben *mathematisch* deducirte *Mechanik* der *Gleitstellen*. Nachdem sich daher in dieser greifbaren Gestalt die ganze Controverse um einen bestimmten und experimentell erreichbaren Punkt gruppirt und consolidirt hatte, war ich entschlossen, mit Hülfe von *Experimenten* diese endgültige Entscheidung herbeizuführen. Diese Experimente waren daher ausschliesslich nur auf eine Widerlegung der Helmholtz'schen Mechanik der Gleitstellen gerichtet. Da jedoch diese Mechanik nur die *einzige* Stütze des Helmholtz'schen Potentialgesetzes war, so mußte durch eine experimentelle Widerlegung dieser Gleitstellentheorie auch das unzertrennlich mit letzterer verbundene *elementare* Potentialgesetz experimentell widerlegt seyn.

Demgemäß wurde von mir zunächst der Faraday'sche elektrodynamische Rotationsversuch einfach dahin abgeändert, daß die Enden des beweglichen Bügels nicht, wie gewöhnlich, direct in das Quecksilber tauchten; sondern vermittelst längerer Ketten, die lose in den hakenförmig umgebogenen Enden des beweglichen Bügels lagen, mit dem Quecksilber in leitender Verbindung standen. In diesem Falle befinden sich die wirksamen Gleitstellen, über welche bei der Rotation des Bügels die Kette hinweggleitet, zwischen dem untersten Ringe und der Quecksilberoberfläche, auf welcher derselbe schwimmt. Wären nun bei der elektrodynamischen Rotation des Bügels nach der Gleitstellentheorie von Helmholtz „die Vorgänge in der Gleitstelle allein in diesem Falle das Treibende“ und

1) Pogg. Ann. Bd. 153, S. 549.



wirkte „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“, so erschien es mir nothwendig, daß, — mit Rücksicht auf die im Drehpunkte des Bügels jederzeit zu überwindende Reibung, -- der auf dem Quecksilber schwimmende Ring, an welchem sich die Gleitstellen befinden, im Sinne der Rotation vorausgehen müsse, ähnlich wie ein Pferd, wenn es mit Hülfe einer längeren Kette einen Wagen oder die horizontale Axe einer Winde bewegen soll, nothwendig im Sinne der Bewegung dem bewegten Gegenstand *voraus* gehen muß. Auch konnte man an dem von mir beschriebenen Apparate einem Jeden, der dem vorstehenden Satze als keinem mathematisch bewiesenen, seine unbedingte Zustimmung versagen sollte, die Richtigkeit desselben direct durch das Experiment beweisen. Es war zu diesem Zwecke nur erforderlich, die Oberfläche des Quecksilbers durch ein stetig in demselben Sinne fortgesetztes Umrühren in Rotation zu versetzen. Alsdann waren *mechanisch* dieselben Bedingungen realisirt, wie sie Hr. Helmholtz bei seiner Mechanik der Gleitstellen vorausgesetzt hatte. Denn es wirkte auch bei diesem Experimente, wie nach Helmholtz bei elektrodynamischen Rotationen „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“ des beweglichen Bügels, sondern es wurden nur „die dem Leiter adhäreirenden Theile von Flüssigkeitsfäden im Sinne der wirklich stattfindenden Rotation fortbewegt und nehmen den festen Leiter mit“. Demgemäß geht auch in diesem Falle — wie ein angekettetes Pferd dem Wagen oder der von ihm in Rotation gesetzten Winde — der auf dem Quecksilber schwimmende Ring im Sinne der Rotation des Quecksilbers *voraus* und zieht mit Hülfe der Ketten den beweglichen Bügel *nach* sich. Versetzt man nun aber diesen Bügel *elektrodynamisch* in Rotation, so findet stets das *Entgegengesetzte* statt. *Der bewegliche Bügel geht voran* und zieht mit Hülfe der gespannten Kette den auf dem Quecksilber schwimmenden und dort stets etwas adhäreirenden Ring im Sinne der Rotation *nach* sich.

Mit Rücksicht sowohl auf diese Versuche als auch auf andere von Hrn. Herwig<sup>1)</sup> angestellte Experimente behauptet nun Hr. Helmholtz in seiner Erwiderung, es seyen „elektrodynamische Versuche beschrieben worden, welche nach Ansicht ihrer Urheber geeignet seyn sollen, das von Hrn. F. E. Neumann (dem Vater) aufgestellte und von mir in erweiterter Anwendung durchgeführte Grundgesetz der elektrodynamischen Erscheinungen als unvereinbar mit den experimentellen Erfahrungen darzustellen“.

Da es nun aber weder Hrn. Herwig noch mir auch nur entfernt in den Sinn kommen konnte, durch die erwähnten Versuche, „das von Hrn. F. E. Neumann aufgestellte Grundgesetz der elektrodynamischen Erscheinungen als unvereinbar mit den experimentellen Erfahrungen darzustellen“, wohl aber das von Hrn. Helmholtz für *Strom-elemente* „erweiterte“ Potentialgesetz, so sah ich mich zur Vermeidung von Mißverständnissen genöthigt in meiner letzten Abhandlung<sup>2)</sup> bei jeder Gelegenheit, wo ich Veranlassung fand, das „Helmholtz'sche Potentialgesetz“ zu erwähnen, ausdrücklich hinzuzufügen, „nicht das Neumann'sche Potentialgesetz“. Denn sowohl das F. Neumann'sche als das Weber'sche Grundgesetz der elektrodynamischen Erscheinungen *sind beide direct aus dem Ampère'schen Gesetze abgeleitet*, und zwar letzteres unter Annahme zweier *atomistisch constituirter elektrischer Fluida*. Hrn. Herwig's und meine Versuche hatten vielmehr, wie Hr. Helmholtz doch wissen mußte, den ausgesprochenen Zweck, die Richtigkeit des F. Neumann'schen Potentialgesetzes in solchen Fällen zu beweisen, wo die Helmholtz'sche Gleitstellentheorie, — ohne welche das *elementare* Potentialgesetz zu Widersprüchen mit F. Neumann's Potentialgesetz führt — gar keine Anwendung

1) Poggendorff's Ann. Bd. 153, S. 262. Eine Modification des elektromagnetischen Drehversuches von H. Herwig.

2) Pogg. Ann. Bd. 154, S. 321.

finden konnte. Deshalb schien es mir nothwendig, wie ich gegenwärtig ausdrücklich bemerke, gegen die möglichen Folgerungen aus einer solchen, mindestens sehr incorrecten, Ausdrucksweise des Hrn. Helmholtz Vorkehrungen in Form jener stereotyp wiederkehrenden Bemerkung „nicht das Neumann'sche Potentialgesetz“ zu treffen.

Hr. Helmholtz wendet nun S. 549 a. a. O. gegen den oben von mir beschriebenen Versuch ein, daß die in Form von Ketten angebrachten beweglichen Theile des rotirenden Bügels „durch die elektromotorischen Kräfte, denen sie ausgesetzt sind, entsprechend gerichtet werden“. In der Meinung, mich über diese Thatsache zu belehren, fährt Hr. Helmholtz mit folgenden Worten fort:

„Da nun bekanntlich ein Magnet einen seiner Längsaxe parallel neben ihm herlaufenden Stromleiter nach dem Ampère'schen, wie nach dem Potentialgesetze quer gegen seine Längsaxe, daß heißt parallel den dem Drahte zugewendeten Seiten seiner Kreisströme, zu stellen sucht, so geschieht das auch in diesem Falle, so, wie es der genannte Autor beobachtet hat“.

„..... Diese so einfache und bei folgerichtiger Anwendung des Principis sich nothwendig ergebende Erklärung der Zöllner'schen Versuche hat auch Hr. C. Neumann (Sohn) übersehen, indem er (Berichte der Königl. Sächs. Gesellsch. d. W. 8. Aug. 1874, S. 145) die Erwartung ausspricht, daß diesen Versuchen gegenüber die Potentialtheorie nicht mehr zu halten seyn würde.“

Bei dieser Demonstration scheint es nun Hr. Helmholtz für ganz gleichgültig zu halten, ob jene Querstellung, welche ein Magnet an einem „seiner Längsaxe parallel neben ihm herlaufenden Stromleiter nach dem Ampère'schen wie nach dem Potentialgesetze“ hervorruft, durch eine Drehung in dem *einen* oder im *entgegengesetzten* Sinne erfolgt.

Der Sinn dieser Drehung ist aber, bei *constanter Rich-*

*tung des Stromes*, für einen einseitig beweglichen Leiter, von dem Vorzeichen des vorwiegend auf den Leiter einwirkenden Magnetpoles abhängig. Trifft man daher bei einem solchen elektrodynamischen Versuche eine derartige Anordnung, daß die Gleitstellen des beweglichen Bügels, bei *unveränderter Richtung des Stromes im beweglichen Leiter*, in dem einen Falle sich unter dem prävalirenden Einflusse des magnetischen *Nordpoles*, in dem anderen Falle des *Südpoles* befinden, so muß die Richtung, in welcher die von Hrn. Helmholtz angeführte Querstellung des beweglichen Leitertheiles erfolgt, in beiden Fällen die *entgegengesetzte* seyn. Man kann die hierzu erforderlichen Bedingungen sehr leicht durch zwei Quecksilberinnen realisiren, von denen die eine am *oberen*, die andere am *unteren* Pole des verticalen Magneten angebracht ist, wie dies in den Fig. 1 und 2 der beifolgenden Taf. III dargestellt ist. Wendet man nun bei unveränderten Stromrichtungen nacheinander zuerst einen beweglichen Leiter an, dessen kürzere Enden in die obere Quecksilberrinne tauchen, und hierauf einen Leiter, dessen längere Enden in die untere Rinne tauchen, so beobachtet man in beiden Fällen *trotz der Verschiedenheit des einwirkenden Magnetpoles* eine elektrodynamische Rotation des beweglichen Bügels in *dem gleichen Sinne*.

Nach dem Helmholtz'schen Potentialgesetze aber, nach welchem „unmittelbar gar keine Kraft auf den *festen Theil*“ des beweglichen Leiters wirkt und „die Vorgänge in der Gleitstelle *allein* in diesem Falle das Treibende sind“, müßte nothwendig in beiden Fällen eine Rotation im *entgegengesetzten Sinne* stattfinden, da die „rotirenden Kräfte“, welche „auf die stromleitenden Flüssigkeitsfäden des Quecksilbers einwirken“, in dem einen Falle unter der Einwirkung des *Nordpoles*, in dem anderen Falle, bei *unveränderter Richtung des eintretenden Stromes*, unter Einwirkung des *Südpoles* des Magneten oder Solenoides rotiren.

„Da es nun“, wie Hr. Helmholtz selber wörtlich bemerkt <sup>1)</sup>, „die gleiche drehende Kraft ist, welche auf den beweglichen Draht und auf die stromleitenden Flüssigkeitsfäden wirkt, in die sich sein unteres Ende verlängert“, so müßten auch „die dem Leiter adhärirenden Theile dieser Flüssigkeitsfäden im Sinne der wirklich stattfindenden Rotation fortbewegt werden und „den festen Leiter mitnehmen“. Die „wirklich stattfindende Rotation“ des festen Leiters findet nun bei dem oben von mir beschriebenen Experimente in dem einen Falle gerade in entgegengesetzter Richtung von derjenigen statt, welche ihr durch das Helmholtz'sche Potentialgesetz mit Hülfe der Gleitstellenmechanik vorgeschrieben wird. Folglich ist der oben von mir beschriebene Versuch *mit geschlossenen Strömen* ein *experimentum crucis*, welches *eindeutig* und *bedingungslos* den Beweis liefert, daß die vom Helmholtz'schen „Potentialgesetze angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren“ und demgemäß diese „Potentialtheorie mit den Thatsachen in Widerspruch tritt.“

Man kann nun das erwähnte Experiment sehr mannichfach modificiren, und ich habe mich bemüht, eine solche Modification desselben ausfindig zu machen, welche in sehr drastischer Weise die Widersprüche zur Anschauung bringt, zu welcher die von Helmholtz aus seinem Potentialgesetze *mathematisch* abgeleiteten Consequenzen in ihrer Anwendung auf die *Wirklichkeit* führen.

Daß die Bewegungsrichtung eines Wagens z. B. einer Locomotive, wenn „unmittelbar gar keine Kraft auf den festen Theil“ wirkt, sondern die treibende Kraft direct nur die Räder in Rotation versetzt, und daher die Locomotive nur vermöge der Reibung ihrer Räder auf den Schienen fortbewegt werden kann, so daß „die Vorgänge in der Gleitstelle allein in diesem Falle das Treibende“

1) Pogg. Ann. Bd. 153, S. 550.

sind — daß, sage ich, in diesem Falle die *Translocationsrichtung* der Locomotive von der *Rotationsrichtung* ihrer Räder abhängt und unzertrennlich mit ihr verbunden ist, vermag jeder Mensch auch ohne Kenntniß des Principis der Erhaltung der Kraft und der virtuellen Geschwindigkeiten, ohne Weiteres einzusehen und zu prüfen. Wäre aber Jemand in einem bestimmten Falle, z. B. bei geneigter Ebene der Bahn, zweifelhaft, ob die Bewegung der Locomotive vermöge der *direct* auf sie wirkenden Schwerkraft oder vermöge der *indirect* auf die Räder wirkenden Spannkraft des Dampfes fortgetrieben werde, so genügte hierzu ein einfaches Experiment. Der Führer der Locomotive brauchte nur durch abwechselnde Verstellung der Dampfsteuerung die Räder einmal rechts, das andere mal links herum rotiren lassen. Zeigte sich hierbei, daß trotz dieser Umkehr der Rotationsrichtung der Räder die Bewegungsrichtung der Locomotive dieselbe bleibt, so würde Jeder hieraus schließen müssen, daß *nicht* „die Vorgänge in der Gleitstelle in diesem Falle das Treibende sind“, sondern daß vermöge der schiefen Ebene der Bahn und einer etwa durch Glatteis verminderten Friction „der Gleitstellen“ auf den Schienen die Locomotive durch die „*unmittelbar* auf den festen Theil“ wirkende Componente der Schwerkraft fortgetrieben wird.

Nur diese trivialen Reflexionen sind es, welche *mutatis mutandis* auf den in beifolgender Tafel III dargestellten, und unmittelbar durch die Zeichnung erläuterten Versuch zu übertragen sind, um Jeden davon zu überzeugen, daß, wenn bei *festgehaltenem* Bügel das kleine Rad in Fig. 1 und Fig. 2 nach entgegengesetzter Richtung, der bewegliche Bügel aber bei *unveränderter Stromrichtung* nach der *gleichen* Richtung rotirt, nothwendig auf den Bügel selbst „*unmittelbar*“ eine Kraft von constanter Richtung ausgeübt werden muß, um diese Rotation der Bügel in gleicher Richtung zu bewirken. Nach Ampère's und Weber's elektrodynamischem Grundgesetze erklärt sich

diese Erscheinung auch sehr einfach, indem der obere *horizontale* Theil des Bügels in beiden Fällen unter dem prävalirenden Einfluß des magnetischen Nordpoles bleibt.

Ich hatte den beschriebenen Versuch schon in meiner letzten Abhandlung angedeutet<sup>1)</sup> und hätte es bei dieser Andeutung bewenden lassen, wenn es nicht Hr. Helmholtz in seiner neuesten Publication für zweckmäfsig gehalten hätte, sich in so absprechender Weise über alle von Anderen bisher gegen sein Potentialgesetz erhobene Einwendungen auszudrücken. Es schien mir dies um so nothwendiger, als Hr. Helmholtz gleichzeitig die Resultate von selbst erdachten Versuchen mittheilt, durch welche er sich zu der Erklärung genöthigt sieht, „dafs die vom Potentialgesetze angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren“<sup>2)</sup> und es ja gerade diese „Wir-

- 1) Pogg. Ann., Bd. 154, S. 328. Die wenigen Worte, mit welcher ich bereits an dieser Stelle den obigen Versuch beschrieb, sind folgende:

„Wurden die Ketten oder frei herabhängenden Kupferdrähte, nach Art des Barlow'schen Rades, durch leicht bewegliche Scheiben von dünnem Kupferblech ersetzt, so rotirten dieselben bei festgehaltenem Bügel *nach entgegengesetzten Richtungen*, je nachdem die Einwirkung des oberen oder unteren Magnetpoles überwog, während die Rotation des sich selbst überlassenen Bügels in beiden Fällen *nach derselben Richtung* erfolgte“. Ich erlaube mir hierbei zu bemerken, dafs zur Ausführung des

Versuches möglichst kräftige galvanische Ströme anzuwenden sind und ebenso für eine hinreichend geringe Reibung in den Axen der Barlow'schen Räder gesorgt werden mufs. Der von mir benutzte Apparat erforderte zum Gelingen des Experimentes drei kräftige Bunsen'sche Elemente für den Elektromagneten und ebenso viele für den beweglichen Bügel.

- 2) Da in dem betreffenden Satze diese Erklärung noch an eine Bedingung geknüpft ist, so theile ich die betreffende Stelle hier noch einmal mit: „Daraus ist also zu schliessen, dafs entweder die vom Potentialgesetze angezeigten Wirkungen der Stromenden nicht existiren, oder dafs ausser den von diesem Gesetze angezeigten elektrodynamischen Wirkungen auch noch solche der convectiv fortgeführten Elektrizität

kungen der Stromenden“ waren, auf denen er seine ganze Mechanik der Gleitstellen basirt hatte, so daß er, *bevor* diese Mechanik bekannt war, Hrn. Riecke gegenüber bereitwilligst die Beweiskraft elektrodynamischer Rotationsversuche mit *geschlossenen* Strömen gegen sein *elementares* Potentialgesetz anerkannt hatte. Uebrigens liegt es mir durchaus fern, durch diese Bemerkungen weder die wissenschaftliche Bedeutung der Helmholtz'schen Versuche noch die zu ihrer Auffindung erforderliche Erfindungsgabe irgendwie den Rotationsversuchen gegenüber herabzusetzen. Vielmehr erkenne ich auf das Bereitwilligste an, daß auch zu diesen Versuchen, ebenso wie „z. B. bei der Construction optischer Instrumente und der Ermittlung optischer Methoden Scharfsinn und Erfindungsgabe“ <sup>1)</sup> erforderlich sind.

---

## VI. *Ueber einige Formen des auf galvanischem Wege erhaltenen Silbers; von M. Kirmis.*

---

Auf Veranlassung von Hrn. Geheimrath Helmholtz unternahm ich in dessen Laboratorium eine Arbeit über Wanderung der Ionen, deren Hauptzweck es war, den eventuellen Einfluß von Stromstärke, Temperatur und Concentration der angewendeten Lösungen auf die Größe der Ueberführung zu bestimmen.

Als Elektrolyte dienten verschiedene Lösungen von schwefelsaurem Kupfer; die Menge des an der Kathode

bestehen, daß das Potentialgesetz also unvollständig sey, wenn man in ihm nur Rücksicht nimmt auf Fernwirkungen der in den Leitern fortströmenden Elektricität“.

- 1) Vgl. Helmholtz, Vorrede zum 2. Theil des 1. Bandes zu dem Handbuch der theoretischen Physik von W. Thomson und P. G. Tait. (1874) S. XIV.



