V. *Ueber die ungehinderte Drehung der beweglichen Leiter und des Solenöids am Ampère'schen Gestell; von Dr. Georg Krebs in Wiesbaden.*

Wenn man einen beweglichen Leiter in der Form (Fig. 1 und 2 Taf. IV), wie sie gewöhnlich in den physikalischen Lehrbüchern angegeben wird (Pouillet-Müller, Wiedemann, Frick etc.) an das Ampère'sche Gestell (Fig. 3) ebenfalls in der Form, wie sie in den physikalischen Lehrbüchern angegeben zu werden pflegt, hängt, so stellt sich, nachdem durch Einleiten eines elektrischen Stromes der Leiter seine ostwestliche Stellung angenommen, beim Umkehren des Stromes der höchst unangenehme Uebelstand heraus, daß der Leiter sich immer so dreht, daß er an den horizontalen Armen pq und mn des Gestelles (Fig. 3) widerstößt; man muß ihn aus- und auf der andern Seite wieder einhängen, wenn er seine ostwestliche Stellung soll einnehmen können. Kehrt man abermals den Strom um, so zeigt sich derselbe Uebelstand von Neuem.

Dabei ist selbstverständlich vorausgesetzt, daß die horizontalen Arme mn und pq des Ampère'schen Gestells entweder von Süd nach Nord, oder von Nord nach Süd gerichtet sind.

Daß der bewegliche Leiter wirklich die vorhin angegebene Drehung bei der Umkehrung des Stromes machen müsse, läßt sich leicht aus der Theorie ableiten.

Der Erdstrom ef (Fig. 4 Taf. IV), welcher von Ost nach West geht, wird als so weit von dem beweglichen Leiter $abcd$ angenommen, daß die Einwirkungen desselben auf die horizontalen Arme ad und bc einander aufheben¹⁾. Ist der Leiter in seiner richtigen Stellung (2), so herrscht stabiles Gleichgewicht: der Leiter kehrt wieder in diese

1) Wiedemann, Lehre vom Galvanismus, II. Band, I. Abtheilung, S. 56 u. f.

seine Stellung zurück, wenn er aus derselben gebracht wird; denn der Erdstrom sucht die eine verticale Seite cd des Leiters nach Osten, die andere verticale Seite ba aber nach Westen zu bewegen. Es wirken also an den Seiten cd und ba zwei gleiche und ungleichsinnig parallele Kräfte, welche (in Bezug auf das vom Leiter umschlossene Viereck) nach Außen gerichtet sind. Befindet sich nun der Leiter genau in der Ebene von Ost nach West, so fallen die zwei gleichen und entgegengesetzten Kräfte in dieselbe Gerade und heben einander auf. Wird aber der Leiter nach der einen oder der anderen Seite etwas aus seiner ostwestlichen Richtung gebracht, so bilden die zwei genannten Kräfte ein Kräftepaar und wirken jedesmal so, daß sie den Leiter in seine ursprüngliche Stellung zurückzubringen streben; *das Gleichgewicht ist also stabil.*

Kehrt man jetzt den Strom in dem Leiter $abcd$ um, fließt er in demselben, wie in (1) angedeutet, so sucht der Erdstrom den einen verticalen Arm cd nach Westen, den andern ba nach Osten zu bewegen. An den Armen cd und ba wirken also zwei gleiche und ungleichsinnige parallele Kräfte, welche (in Bezug auf das vom Leiter umschlossene Viereck) nach Innen gerichtet sind. Steht der Leiter genau in der Richtung von Ost nach West, so fallen die Richtungen der zwei genannten Kräfte in dieselbe Gerade und heben einander auf. Bringt man aber den Leiter etwas aus seiner Lage heraus (indem man ihn um seine verticale Mittellinie dreht) einerlei ob nach der einen, oder der andern Seite, so bilden die zwei Kräfte ein Paar, welches den Leiter nicht wieder in seine ursprüngliche Richtung zurückzutreiben, sondern ihn in die entgegengesetzte zu bringen treibt: *das Gleichgewicht ist also labil.*

Zugleich erhellt, daß wenn ein beweglicher Leiter bei labilem Gleichgewicht (1) genau in der Lage von Ost nach West sich befindet, er trotz seiner verkehrten Stellung in derselben verharret und daß es ihm gleichgültig ist, nach welcher Richtung er sich drehen soll, vorausgesetzt, daß sonst keine Einwirkungen auf ihn stattfinden. Der geringste Stofs

nach rechts oder links bringt ihn aus seinem falschen Gleichgewicht und er vollführt *nach der Seite hin, nach welcher er aus seiner Gleichgewichtslage gebracht worden*, eine Drehung um 180° . Anfänglich freilich, wenn er sich erst um wenig aus seiner labilen Gleichgewichtslage entfernt hat, ist die Drehkraft sehr gering, das Moment des Paares ist sehr klein; erst allmählig wird dasselbe gröfser und erlangt sein Maximum, wenn sich der Leiter um 90° gedreht hat, worauf es wieder abnimmt, um in der gerade entgegengesetzten Lage gleich Null zu werden. Zugleich tritt in dem Moment, wo die Drehung 90° erreicht hat, der Uebergangspunkt ein, wo das Einwärtswirken des Kräftepaars in ein Auswärtswirken übergeht.

Befindet sich also ein beweglicher Leiter *abcd* (Fig. 5 Taf. IV) am Ampère'schen Gestell im stabilen Gleichgewicht und kehrt man nun den Strom im Leiter um, so kann der Erdstrom gar keine Drehung bewerkstelligen, wenn der Leiter *genau* von Ost nach West steht. Nun stellt sich aber der Leiter nie genau von Ost nach West und zwar aus dem Grunde, weil der im Ampère'schen Gestell kreisende Strom eine Einwirkung auf denselben ausübt. Wie aber ist diese Einwirkung beschaffen? Die horizontalen Arme *mn* und *pq* des Gestells haben die Richtung von Süd nach Nord (oder umgekehrt) und es steht die Ebene des Leiters, wenn sie genau von Ost nach West geht, auf der Richtung der Arme *mn* und *pq* senkrecht; die zwei verticalen Arme *ad* und *bc* erfahren demnach von Seiten der verticalen Stangen *v* und *t* keinerlei Einwirkung, denn sie sind nahezu gleichweit von ihnen entfernt. Auch kann man annehmen, dafs die Einwirkung des Armes *mn* gegen die des Armes *pq* verschwinde, so dafs im Wesentlichen nur die Einwirkung von *pq* auf *ab* zu beachten ist.

In der normalen Lage nun — im stabilen Gleichgewicht — sucht der Strom in *pq* (Fig. 6) den Arm *ab* in der Richtung des Pfeiles zu drehen, in dem sich die Ströme in *ab* und *pq* einander parallel zu stellen suchen; daher kann sich denn auch der bewegliche Leiter nie genau von

Ost nach West stellen; er dreht sich mit dem Ende b , so lange nach Süden (in die Lage $b'a'$), bis das Kräftepaar, welches in Folge des Erdstromes an dem Leiter wirkt, vereint mit der Reibung, dem Kräftepaar, welches in Folge der Einwirkung des in pq laufenden Stromes auf ba wirkt, das Gleichgewicht halten kann.

Kehrt man jetzt den Strom in dem beweglichen Leiter um, so dreht sich ba in der Richtung des Pfeiles (Fig. 7 Taf. IV) weiter um, denn 1) sucht sich der Strom in ba dem in pq gleichsinnig parallel zu stellen und 2) dreht sich bei labilem Gleichgewicht der Leiter nach der Richtung, nach welcher er aus seiner Gleichgewichtslage gebracht worden. Nun stehen aber die umgebogenen Enden des Leiters nach Westen (Fig. 5 Taf. IV) und es muß deshalb der Leiter bei seiner Drehung nach Südwesten gegen die horizontalen Arme des Ampère'schen Gestells anstoßen, so daß er seine Drehung nicht vollführen kann.

Wird nun der Leiter aus- und auf der andern Seite eingehängt, so stellt er sich jetzt so, daß er wieder nicht genau von Ost nach West steht (Fig. 8 Taf. IV), sondern daß b in die Lage b' (etwas nach Süden) zu liegen kommt. Kehrt man jetzt den Strom um (Fig. 9 Taf. IV), so wirken der Erdstrom und der Strom in pq vereint und bringen eine Drehung des Leiters in der Richtung des Pfeiles zu Wege, wobei der Leiter abermals widerstößt und seine Drehung nicht ausführen kann.

Daß ein beweglicher Leiter seine Drehung bei der Umkehrung des Stromes nicht ausführen kann, ist höchst lästig und es fragt sich nun, wie dies zu vermeiden sey. Hierzu bedarf es nur einer sehr einfachen Umänderung des beweglichen Leiters: man biegt die Drahtenden nach der entgegengesetzten Seite (Fig. 10 Taf. IV) und zwar das kleinere um das größere herum, so aber daß es dasselbe nicht berührt.

Daß ein solcher Leiter sich stets so dreht, daß er seine halbe Umdrehung bei der Umkehrung des Stromes ohne

anzustossen vollführen kann, wird aus dem Nachstehenden leicht klar werden.

Wird unser Leiter an das Ampère'sche Gestell gehängt und der Strom, wie Fig. 11 Taf. IV zeigt, eingeleitet, so stellen sich die Umbiegungen der Drahtenden nach Osten; doch steht der Leiter auch hier nicht *genau* von Ost nach West: er stellt sich so, daß *b* etwas nach Süden, in die Lage *b'*, rückt (Fig. 12 Taf. IV) — der untere Arm *pq* des Ampère'schen Gestells sucht die Seite *ab* so zu stellen, daß der Strom in beiden gleichsinnig parallel läuft. Kehrt man jetzt den Strom um (Fig. 13 Taf. IV), so wirken der Strom in *pq* und der Erdstrom vereint auf den Leiter so, daß *b* nach Süden zu geht, die Umdrehung also in der Richtung des Pfeiles erfolgt; und da die Umbiegungen der Drahtenden nach Osten stehen, so ist eine halbe Umdrehung ohne Anstoß ausführbar. Schliesslich nimmt der Leiter eine solche Stellung an, daß die Umbiegungen der Drahtenden nach Westen stehen und der Strom in *pq* und *ab* so läuft, wie Fig. 14 Taf. IV angeht. Allein auch hier stellt sich der Leiter nicht genau von Ost nach West; *ab* rückt in die Lage *a'b'* und kehrt man jetzt den Strom um (Fig. 15 Taf. IV), so wirken der Strom in *pq* und der Erdstrom vereint so, daß sich der Leiter in der Richtung des Pfeiles umdreht. Auch diese Umdrehung ist ohne Anstoß ausführbar.

Zu demselben Resultate gelangt man, wenn die horizontalen Arme des Ampère'schen Gestells nicht von Süden nach Norden, sondern von Norden nach Süden stehn.

Der Versuch bestätigt das Gesagte vollkommen.

In ähnlicher Art kann man auch Solenoïde construiren, welche sich immer so drehen, daß sie nicht an den horizontalen Armen des Ampère'schen Gestells anstoßen.

Fig. 16 Taf. IV zeigt ein solches Solenoïd. Der horizontale Querarm *ab* steht etwa 3" (obwohl auch schon 2" genügen) über den Windungen, welche beliebig rechts oder links gewunden seyn können, jedoch so, daß ihre Ebenen auf der Axe des Solenoïds möglichst senkrecht stehen. Das

kleinere Ende rs biegt sich um das gröfsere uv so herum, dafs es dasselbe nicht berührt, wobei es einerlei ist, ob die Drahtenden rs und uv von a nach b , oder umgekehrt gerichtet sind. Wird das Solenoid an das Ampère'sche Gestell gehängt, so mufs der horizontale Querdraht ab des Solenoids dicht unter dem unteren horizontalen Arm pq des Ampère'schen Gestells hergehen. Selbstverständlich mufs das Ampère'sche Gestell so gerichtet werden, dafs seine horizontalen Arme entweder von Ost nach West, oder von West nach Ost gehen, resp. auf der Richtung der Declinationsnadel senkrecht stehen.

Die Einwirkung des in pq fliefsenden Stromes auf den im Querdraht ab fliefsenden verhindert nun, dafs die Axe des Solenoids genau die Richtung der Declinationsnadel einnimmt, ganz so, wie dies bei den beweglichen Leitern auseinandergesetzt worden. Wird jetzt der Strom umgekehrt, so tritt labiles Gleichgewicht ein und das Solenoid dreht sich nach der Seite hin um 180° , nach welcher es bereits durch die Einwirkung von pq auf ab verschoben gewesen ist. Diese Drehung erfolgt aber, wie aus dem in Betreff der beweglichen Leiter Gesagten hervorgeht, stets so, dafs das Solenoid seine halbe Umdrehung ohne Anstofs vollführen kann.

Hiermit soll aber nicht gesagt seyn, dafs es nicht auch andere Solenoide gäbe, welche sich ohne anzustofsen drehen. Man kann z. B. den Strom im Arm pq auf die Windungen selbst in geeigneter Weise einwirken lassen. Dabei darf man den horizontalen Querdraht ab natürlich nicht über den Windungen herführen, sondern man mufs ihn durch die Axe des Solenoids gehen lassen, wie dies ja auch häufig geschieht. Nach meinen Versuchen aber ist diese Methode weniger zuverlässig, weshalb ich die vorhin erklärte Einrichtung vorziehen möchte.

Fig. 4.

Fig. 9.

Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 8.

Fig. 16.

Fig. 15.

Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 19.

Fig. 20.

A. B. S. S. S. S.