**5. Bemerkungen zu der Abhandlung des Hrn. Kohn
über magnetisch weiche und harte Körper;
von P. Beck.**

In einer Arbeit über magnetisch harte und weiche Körper kommt Hr. Kohn in Bezug auf die von Föppl behauptete Schirmwirkung des Stahles zu anderen Resultaten¹⁾ als den von mir gefundenen.²⁾ Ist ein Leiter von einem magnetisch harten Körper, z. B. Stahl umgeben, so soll nach der genannten Theorie das Magnetfeld des Stromes ein anderes und zwar ein schwächeres sein, als wenn der Leiter sich in Luft befindet oder von magnetisch weichen Körpern, z. B. weichem Eisen, umgeben ist, wobei natürlich vorausgesetzt ist, dass die Anordnung eine solche ist, dass nirgends freier Magnetismus entstehen kann. Die einfachste durch diese Versuchsbedingungen gegebene Anordnung besteht offenbar darin, einen geradlinigen Leiter in Metallröhren zu bringen, welche in Bezug auf magnetische Härte verschiedene Eigenschaften haben und das durch den Strom hervorgerufene Magnetfeld ausserhalb dieser Röhre zu messen. Zu diesem Zweck bringt man in das Magnetfeld eine Spule und misst den Inductionsstrom, welcher dadurch entsteht, dass Spule und Magnetfeld ihre gegenseitige Lage um 180° ändern. Dies kann nun auf zweierlei Weise geschehen. Entweder bleibt die Spule in Ruhe und der Strom, und damit zugleich das Magnetfeld des Stromes, wird umgekehrt, oder der Strom bleibt constant und die Spule wird um 180° gedreht. Die erstere Methode habe ich, die letztere hat Hr. Kohn verwandt. An und für sich sind beide Methoden gleichwerthig und müssten zu demselben Resultat führen.³⁾ Ich bevorzugte die erste Methode, weil nur diese mir die Gewähr zu bieten schien, dass wirklich nur das vom

1) A. Kohn, Wied. Ann. 58. p. 527. 1896.

2) Föppl, Wied. Ann. 57. p. 464. 1896.

3) Vgl. Auerbach, „Messung magnetischer Felder“ in Winkelmann's Handbuch der Physik, III, 2. p. 101. 1893.

Strom herrührende Magnetfeld gemessen wurde, während es bei der von Hrn. Kohn angewandten Anordnung zum mindesten schwierig ist, die durch den Erdmagnetismus und durch die bei den Versuchen verwandten Stahl- und Eisenmassen hervorgerufenen Wirkungen zu eliminiren. Auf diesen Punkt komme ich nachher noch zurück.

Ueber die von mir verwandte Methode urtheilt Hr. Kohn¹⁾: „Beim Erzeugen dieses Inductionsstromes durch Schliessen resp. Oeffnen des Primärstromes wäre jedoch, wenigstens bei übergeschobenem Versuchsrohre, nur die Stärke des entstehenden bez. verschwindenden Feldes gemessen worden und die zu findende Erscheinung zum mindesten sehr undeutlich hervorgetreten, wie es sich auch durch Versuche bestätigte.“ Nach meiner Meinung wird bei dieser Methode lediglich der Strom gemessen, welcher dadurch entsteht, dass Spule und Magnetfeld ihre Lage um 180° oder — wenn der Strom nicht umgekehrt, sondern nur geöffnet oder geschlossen wird — um 90° ändern, also genau derselbe Strom, welcher bei Umdrehen der Spule erhalten wird. Was Hr. Kohn mit dem citirten Einwand meint, ist mir zu meinem Bedauern nicht klar geworden. Uebrigens geht aus der oben citirten Bemerkung hervor, dass Hr. Kohn trotz seiner theoretischen Bedenken versucht hat, sich dieser Anordnung zu bedienen, wobei jedoch „die zu findende Erscheinung zum mindesten sehr undeutlich“ hervortrat, was sich von meinen Resultaten nur insofern unterscheidet, als bei denselben das Gegentheil der „zu findenden Erscheinung“ mit aller nur wünschenswerthen Deutlichkeit zu beobachten war.

Der zweite Einwand, den Hr. Kohn erhebt, besteht darin, dass bei meiner Anordnung das Verhältniss von Spule und Rohrlänge 1:1 war. Soweit ich aus späteren Angaben ersehe, glaubt Hr. Kohn, dass infolgedessen der im Stahl oder Eisen möglicherweise befindliche remanente Magnetismus oder der vom erdmagnetischen Feld inducirte einen störenden Einfluss ausüben muss. Wenigstens hebt er an anderer Stelle hervor,²⁾ dass er diesen Einfluss dadurch vermieden habe, dass

1) l. c. p. 529.

2) l. c. p. 538.

er der Röhre eine Länge von 2 m gab, sodass Röhre und Spule sich wie 10:1 verhalten, während Röhren von 40 cm Länge beim Umkehren der Spule einen Inductionsstrom hervorriefen, der achtmal so stark war, als der vom primären Strom allein erzeugte. Hr. Kohn übersieht dabei, dass bei meiner Anordnung Spule und Röhre ihre gegenseitige Lage überhaupt nicht ändern; nur in diesem Falle kann aber bekanntlich ein Magnet einen Inductionstrom hervorrufen. Nachdem ich die im Folgenden zu erwähnenden Versuche beendet hatte, habe ich die Stahlröhre stark magnetisirt und mich davon überzeugt, dass die von mir erhaltenen Resultate völlig unabhängig davon sind, ob die Stahlröhre ein starker permanenter Magnet oder völlig unmagnetisch ist.

Obwohl es mir nicht möglich war, in meiner Versuchsanordnung irgend einen principiellen Fehler zu entdecken, so wurde ich doch durch Hrn. Kohn's Arbeit veranlasst, den von ihm eingeschlagenen Weg zur Lösung der vorliegenden Frage zu betreten. Soll der durch Umkehren der Spule hervorgerufene Strom nur von dem Magnetfeld des Primärstromes herrühren, so ist es, wie Hr. Kohn richtig hervorhebt, nothwendig, dass die Spule keine anderen Kraftlinien schneidet, als die vom Strom herrührenden. Wird die Spule nun so aufgestellt, dass die Drehungsaxe parallel den Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes verläuft, so ist der Einfluss derselben offenbar eliminirt. Das Magnetfeld des in Luft befindlichen Leiters kann dann leicht gemessen werden. Wird über diesen Leiter nun aber eine Stahl- oder Eisenröhre geschoben, so wird dadurch offenbar in der Umgebung derselben Richtung und Stärke des erdmagnetischen Feldes geändert. So fand Hr. Kohn bei Verwendung einer 40 cm langen Röhre einen Strom, der achtmal so stark war als der durch den primären Strom hervorgerufene. Wird die in Richtung der erdmagnetischen Kraftlinien befindliche Röhre verlängert, so nimmt natürlich der Einfluss des an den beiden Enden inducirten Magnetismus ab. Während Hr. Kohn bei Verwendung einer 40 cm langen Röhre eine Aenderung des Inductionsstromes um 800 Proc. fand, konnte er eine solche bei einer Röhre von 2 m Länge überhaupt nicht mehr beobachten.

Es ist mir nun trotz aller Bemühungen nicht gelungen,

eine derartige Anordnung zu finden. Da mir nur Röhren von 1 m Länge zur Verfügung standen, so wählte ich eine entsprechend kleinere Spule, deren Durchmesser 8 cm betrug, sodass also das Verhältniss von Spulen- und Rohrlänge $1:12\frac{1}{2}$ war. Es wurde nun der primäre Leiter in Richtung der erdmagnetischen Kraft befestigt und in 30 mm Entfernung von demselben die Spule so aufgestellt, dass die Drehungsaxe derselben dem primären Leiter parallel war. Beim Umdrehen der Spule erfolgte, wie zu erwarten war, kein Ausschlag am Galvanometer. Wurde nun aber die Eisenröhre über den Draht geschoben, so erhielt ich, auch wenn der primäre Leiter stromlos war, beim Umdrehen der Spule einen starken Inductionsstrom, welcher offenbar die Folge der durch die Eisenmasse herbeigeführten Aenderung des erdmagnetischen Feldes war. Durch längere Versuche war es nun möglich, die Spule in eine solche Lage zu bringen, dass dieser Inductionsstrom wenigstens annähernd verschwand. In dieser zweiten Stellung befand sich aber die Spule in einer anderen Stellung gegen die Röhre und folglich auch gegen den primären Leiter als wie in der ersten. Die bei beiden Stellungen erhaltenen Ausschläge am Galvanometer sind daher naturgemäss nicht miteinander vergleichbar. Meine Versuche, eine Stellung der Spule zu finden, in welcher dieselbe beim Umkehren stromlos blieb, mochte sich in ihrer Nähe die nicht unbedeutende Eisenmasse befinden oder nicht, blieben leider ohne Erfolg und ich musste daher darauf verzichten, die Versuche mit der Anordnung Hrn. Kohn's zu wiederholen.

Da Hr. Kohn nur bei geringer Stärke des primären Stromes deutliche Schirmwirkungen erhalten hatte, wiederholte ich meine früheren Versuche unter Verwendung ganz schwacher Ströme. An einem Balken der Zimmerdecke befestigte ich einen Draht, dessen oberes Ende festgeklemt war, während ein an das untere Ende angebrachtes schweres Gewicht dem Draht stets die verticale Richtung gab. Infolge dieser Anordnung kehrte der Draht stets in dieselbe Lage zurück, auch wenn er beim Ueberziehen der Röhre aus derselben verrückt worden war. In 3 cm Entfernung vom Draht befestigte ich in unverrückbarer Stellung ein Brett von 1 m Länge und 30 cm Breite, um welches der Leiter des Inductionsstromes

in 80 Windungen gewickelt wurde. Gemessen wurde der Inductionsstrom nach der ballistischen Methode an einem du Bois-Rubens'schen Galvanometer, dessen Rollen parallel geschaltet waren, sodass der Widerstand des Galvanometers nur 5 Ohm betrug. Von den drei Magnetsystemen verwandte ich das schwerste, als das für die ballistische Methode geeignetste.¹⁾ Der primäre Strom wurde mit Hülfe einer Tangentenbussole gemessen, deren Reductionsfactor ich zu 0,085 bestimmt hatte. Die folgende Tabelle giebt die durch Umkehren des primären Stromes erhaltenen Ausschläge, wenn der Leiter desselben sich in Luft, Eisen oder Stahl befand. Die primäre Stromstärke wurde aus den Ausschlägen der Tangentenbussole in bekannter Weise berechnet. Jede Zahl ist das arithmetische Mittel aus vier Ablesungen.

Stromstärke in Amp.	Primärer Leiter in		
	Luft	Eisen	Stahl
0,025	1,00	1,05	1,00
0,036	1,55	1,55	1,50
0,070	3,05	3,15	3,10
0,076	3,20	3,25	3,25
0,084	3,70	3,60	3,70
0,093	4,05	4,10	4,05
0,106	4,70	4,80	4,80
0,127	5,40	5,50	5,45
0,154	6,55	6,50	6,50
0,188	8,25	8,15	8,10
0,217	11,35	11,20	11,10
0,232	17,5	18,0	18,0

Von einer Schirmwirkung des Stahles ist offenbar nichts zu bemerken. Die verwandten Metallröhren sind die bereits in der vorigen Arbeit beschriebenen. Besonders sei darauf aufmerksam gemacht, dass dieselben — sie waren gebohrt — eine Wandstärke von 15 mm besaßen, während die dickste von Hrn. Kohn verwandte Röhre nur 3 mm dick war. Da Hr. Kohn das Gesetz gefunden hat, dass die Schirmwirkung proportional der Wandstärke wächst und dass sie um so grösser ist, je geringer die Stärke des primären Stromes ist,

1) Vgl. du Bois und H. Rubens, Modificirtes astatisches Galvanometer. Wied. Ann. 18. p. 246. 1893.

so hätte ich eine sehr bedeutende Schirmwirkung erhalten müssen.

Hr. Kohn hat sich bei seinen Untersuchungen auf die Verwendung sehr schwacher Primärströme beschränkt, da bei stärkeren Strömen die Röhren „wohl durch circulare Magnetisirung zu stark beeinflusst wurden“. ¹⁾ Leider hat er nicht angegeben, ob bei stärkeren Strömen die Schirmwirkung des Stahles überhaupt verschwand, oder worin sich sonst diese starke Beeinflussung der Röhren bei den Beobachtungen bemerkbar machte. Fliesst durch einen zur Röhre coaxialen Leiter ein Strom, so kann die Röhre als ein circular magnetisierter Ring aufgefasst werden. Ein solcher übt aber bekanntlich auf den Aussenraum keinerlei Wirkung aus, mag die Magnetisirung nun stark oder schwach sein. Wie daher die circulare Magnetisirung der Röhre als Erklärungsgrund dafür dienen kann, dass weicher Stahl das Magnetfeld eines Stromes von 0,5 Amp. wenigstens theilweise abschirmt, während bei 1 Amp. andere, von Hrn. Kohn allerdings nicht angegebene Erscheinungen auftreten, scheint mir nicht ganz durchsichtig zu sein.

Schliesslich sei noch ein schon in meiner letzten Arbeit angedeutetes Bedenken gegen die Grundlage der besprochenen Theorie erwähnt. Ist ξ der Vector der magnetischen Kraft, $\mathfrak{B}$ derjenige der magnetischen Induction, sodass also die Gleichung

$$\mathfrak{B} = \mu \xi$$

besteht, so lauten die Gleichungen für das Magnetfeld eines constanten Stromes

$$\operatorname{div} \mathfrak{B} = 0 \quad \operatorname{curl} \xi = 0.$$

Diese Gleichungen dienen in ihrer ursprünglichen Bedeutung lediglich dazu, das Magnetfeld eines constanten Stromes, also einen stationären Zustand zu beschreiben. Die Theorie Föppl's beruht nun darauf, dass jene Gleichungen als das Differential-

gefolgert werden kann, dass es Körper gibt, welche die Fortpflanzung der Kraftlinien aufheben und infolgedessen gegen die magnetischen Wirkungen des Stromes schirmen. Mir scheint dagegen diese Deutung jener Gleichungen völlig unzulässig, da, um von anderen Bedenken abzusehen, eine Gleichung, welche die Zeit gar nicht enthält, unmöglich das Gesetz für einen Fortpflanzungsvorgang darstellen kann.

Leipzig, Physik. Inst. d. Univ., Juli 1896.