**11. Ueber Widerstandsverminderung durch
electrische und durch akustische Schwingungen;
von F. Auerbach.**

(Erste Mittheilung.)

Unter den Mitteln, deren man sich bedient, um elektrische Schwingungen auch dann noch nachzuweisen und sogar praktisch zu verwerthen, wenn sie nur noch von geringer Intensität sind, also insbesondere in einiger Entfernung vom Orte ihrer Entstehung, ist wohl das interessanteste der auch bei der sogenannten „Telegraphie ohne Drähte“ benutzte „Cohärer“, d. h. eine mit Metallpulver oder einer ähnlichen Anordnung von Metalltheilen lose angefüllte Röhre, deren an sich sehr grosser Widerstand nach den Beobachtungen von Branly¹⁾ u. a. auf einen kleinen Bruchtheil herabsinkt, sobald electriche Wellen auf sie fallen, und diesen kleinen Werth beibehält, auch wenn die electriche Wellen aufgehört haben. Das Interesse, welches diese Erscheinung darbietet, hat jedoch bisher weniger in systematischen experimentellen Untersuchungen als in Vermuthungen über ihr Zustandekommen Ausdruck erhalten, und zwar in ausserordentlich verschiedenartigen Vermuthungen. Nach der einen Auffassung wäre die Erscheinung eine specifisch electriche, indem durch die electriche Schwingungen auch das Medium, in welchem sich die Metalltheile befinden, leitend würde, nach einer anderen wäre sie magnetischen Charakters, indem durch die Schwingungen die Theilchen „gerichtet“ würden, nach einer dritten und vierten sollen sich durch, wenn auch nur minimale, Zerstäubungen oder Schmelzungen von Metalltheilchen leitende Brücken bilden; eine fünfte Vermuthung endlich, die

1) Branly, Compt. rend. 111. p. 785. 1890.

ich mir selbst gebildet hatte und die gewiss auch von anderen getheilt wird (obgleich ich in der Literatur nichts darüber finden konnte), geht von der sogenannten electricischen Ausdehnung aus, welche die Körper nachgewiesenermaassen im electricischen Felde erfahren und welche in einem Felde electricischer Schwingungen unter Umständen zu periodischen Ausdehnungen und Zusammenziehungen, also zu Pulsationen führen kann; der electricischen, magnetischen und thermischen Theorie kann man diese letzte gewissermaassen als mechanische gegenüberstellen. Der Anforderung, dass nach Aufhören der Ursachen doch die Wirkung bestehen bleibt, lassen sich diese Theorien mit verschiedener Leichtigkeit anpassen, am leichtesten die Hypothese der Schmelzbrücken, während man bei den anderen, seien es Coercitivkräfte (electricische oder magnetische, oder mechanische, d. h. Plasticität), seien es Adhäsionskräfte, heranziehen muss.

Um Anhaltspunkte zur Entscheidung zwischen diesen Theorien zu gewinnen, nebenbei auch, um die Erscheinung selbst nach verschiedenen Richtungen hin zu studiren, habe ich systematische Versuche angestellt, die zu einer Reihe interessanter Thatsachen und Gesetze schon geführt haben und noch fortgesetzt werden sollen. Die vorliegende erste Mittheilung hat jedoch den Zweck, ein Ergebniss herauszuheben, welches in besonderem Maasse geeignet erscheint, die theoretische Seite der Frage zu klären und welches auch an sich merkwürdig genug ist.

Die mechanische Auffassung der Erscheinung brachte mich auf einen von diesem Standpunkt aus sehr nahe, vom Standpunkte der übrigen Theorien freilich sehr fern liegenden Gedanken, nämlich zu sehen, ob nicht vielleicht dieselben oder ganz ähnliche Wirkungen, wie sie die electricischen Schwingungen ausüben, auch von akustischen Schwingungen zu erhalten sind, ob nicht also der Widerstand des Cohärers auch dann erheblich (denn die Quantität der Erscheinung ist in diesem Falle für ihre Qualität wesentlich) herabgemindert wird, wenn man ihm Schallschwingungen zuführt. Auf diese Frage gab gleich die erste Anordnung, welche auf gutes Glück getroffen wurde, eine bejahende Antwort, und es hat sich dann im weiteren Verlaufe gezeigt, dass beide Wirkungen,

die electriche und die akustische, fast völlig parallel verlaufen.

Schon wiederholt hat man bei Widerstands-, mikrophonischen und ähnlichen Untersuchungen Stimmgabeln benutzt zu dem Zwecke ¹⁾, gewisse leidige Schwankungen, eine gewisse Instabilität der Anfangswerthe wegzuschaffen; und erst neuerdings hat sich Hr. F. Meyer in Stockholm bei einer gleich noch zu erwähnenden Untersuchung über Abhängigkeit des Contactwiderstandes vom Druck, mit der er auf meine Veranlassung beschäftigt ist, dieses Kunstgriffes mit gutem Erfolg bedient. Es ist aber dabei, jedenfalls weil die Aufmerksamkeit darauf nicht gerichtet wurde, niemals aufgefallen, dass unter normalen Verhältnissen jene Regulirung des Widerstandes stets im Sinne einer Verringerung desselben erfolgt, und ich führe jene Manipulation hier nur an, weil sie es mir nahe gelegt hat, zunächst gerade Stimmgabeln dem Versuche zu unterwerfen.

Eine Anzahl von Versuchsreihen wurde mit Metallpulvern oder auch mit gröberen Aggregaten, z. B. einer Röhre mit eisernen Schraubchen, angestellt; die meisten aber und die, welche die Fundamentalbeziehung am regelmässigsten und einfachsten aufweisen, mit einem viel einfacheren System, das gewissermaassen das Element eines pulverförmigen Systems darstellt: mit zwei Kugeln (oder Kugeltheilen), welche sich mehr oder weniger lose berühren, und an welche die Stromfortleitungen angelöthet oder angeschraubt sind. Dass sich dieses System im Princip genau ebenso wie ein Pulver verhält, geht aus den bisherigen Ergebnissen des Hrn. F. Meyer hervor, welche zeigen, dass sich zwei Kugeln hinsichtlich ihres Widerstandes bei verschiedenen Drucken qualitativ genau so verhalten, wie nach meinen vor zehn Jahren angestellten Versuchen Metallpulver. ²⁾

In allen Fällen nun, ob ein Pulver oder ein Aggregat von in eine Röhre gefüllten Schraubchen oder ob zwei Kugeln

1) Von den periodischen Widerstandsänderungen während der akustischen Erregung, wie sie beim Mikrophon auftreten, ist natürlich hier gar nicht die Rede, sondern lediglich von bleibenden Veränderungen.

2) F. Auerbach, Wied. Ann. 28. p. 604. 1886.

benutzt wurden, und in letzterem Falle wiederum, gleichviel wie gross diese Kugeln waren und aus welchem Material (Zink, Aluminium, Messing, Stahl) sie bestanden, zeigte sich eine kolossale Verminderung des Widerstandes, sobald eine Stimmgabel angeschlagen und mittels der Resonanz des Beobachtungstisches der Contactstelle zugeführt wurde (bei der Zuführung durch die Luft trat nicht immer eine, und auch dann nur eine sehr schwache Wirkung auf). Dieser kleine Widerstandswerth blieb solange erhalten, bis er durch dasselbe Mittel, wie man es bei dem electrischen Phänomen benutzt, nämlich durch Klopfen, wieder auf einen hohen Werth gebracht wurde; es genügt übrigens jede, auch recht schwache Erschütterung des Experimentirtisches. Dass die Versuche quantitativ nicht sehr regelmässig verlaufen und sich bei nicht genügender Beobachtung aller Vorsichtsmaassregeln sogar eine Widerstandszunahme infolge der Schallwirkung ergeben kann, ist erklärlich, da das Aufsetzen der Stimmgabel leicht eine Erschütterung herbeiführen kann, und die Wirkung einer unregelmässigen Erschütterung der Wirkung einer regelmässigen Schwingungsbewegung gerade entgegengesetzt ist.

Zum Nachweise der aufgestellten Behauptung und zur Veranschaulichung des Verlaufes der Erscheinung mögen hier einige Zahlenangaben Platz finden, die jedoch nur als vorläufige gelten dürfen und schon deswegen nur ungefähre Bedeutung haben, weil die Gleichheit der erregenden Tonstärke nur schätzungsweise erzielt wurde und deshalb natürlich nur unvollkommen gelang, von anderen vorläufig beiseite gelassenen Factoren ganz abgesehen. Zum Vergleich sind akustische und electrische Versuchsreihen neben einander gestellt; für letztere diente ein Inductorium und ein Righi'scher Funkengeber (mit zwei seitlichen und einer mittleren Hauptfunkenstrecke). Der Abstand der Contactstelle von der Funkenstrecke betrug etwa 20 cm. Von dem Widerstande ist der der Zuleitungen schon abgezogen, die Zahlen stellen also den reinen Widerstand der Contactstelle dar; w_0 ist der ursprüngliche, w der schliessliche Widerstand, p der letztere in Procenten des ersteren.

1. Zinkkugeln (weich, 5 cm).

Widerstände in $\frac{1}{1000}$ Siemenseinheiten.

a) Akustische Erregung.

b) Electricische Erregung.

w_0	w	p	w_0	w	p
798	68	8	1626	50	3
449	42	9	527	44	8
406	39	10	387	34	9
231	37	16	231	26	11
155	29	19	173	17	10
88	15	18	95	20	21
38,5	5,7	15	52	12	23
16,9	6,6	39	38	11	28
7,8	4,6	59	9,3	7,5	81
2,4	2,0	82	6,9	6,6	96

2. Kleine Stahlkugeln (hart, 0,8 cm).

Widerstände in $\frac{1}{1000}$ Siemenseinheiten.

a) Akustische Erregung.¹⁾

b) Electricische Erregung.

w_0	w	p	w_0	w	p
1887	15,0	0,8	2040	45	2,2
821	17,9	2,2	354	38	11
383	27,0	7	216	38	18
66	14,1	21	111	35	31
			66	32	49
			37	26	70

3. Grosse Stahllinsen (hart, 6 cm).

Widerstände in $\frac{1}{1000}$ Siemenseinheiten.

a) Akustische Erregung.

b) Electricische Erregung.

w_0	w	p	w_0	w	p
1574	161	10	545	22	4
552	45	8	89	19	21
161	14	9			
78	12	15			

1) Da bei den kleinen Stahlkugeln die Wirkung bei Aufsetzen der Gabel auf den Tisch schwach war, wurde sie auf den die Kugel tragenden Bleifuss aufgesetzt, wodurch die Wirkung sehr verstärkt, freilich auch (wegen der unvermeidlichen Erschütterung) unregelmässig wurde.

4. Glasrohr mit kleinen Stahlschrauben nur lose gefüllt.

Widerstände in Siemenseinheiten.

a) Akustische Erregung.

b) Electricische Erregung.

w_0	w	p	w_0	w	p
2947	165	6	16650	0,52	0,003
1419	107	8	5520	0,45	0,008
119	50	42	261	0,27	0,1
54	34	63	117	0,30	0,25
34	20	59	41	0,30	0,7
12,5	11,4	91	12,5	0,34	2,7
1,36	1,26	93	3,6	0,32	8,8
			1,14	0,34	30

Die erste dieser Tabellen, bis zu einem gewissen Grade auch die übrigen, führen zu folgenden Schlüssen:

1. Durch akustische wie durch electricische Schwingungen wird der Contactwiderstand wesentlich, unter Umständen bis auf einen kleinen Bruchtheil seines Werthes dauernd herabgedrückt.

2. Die Verminderung des Contactwiderstandes zweier Kugeln durch kräftig angeschlagene Stimmgabeln (Zuführung durch den Experimentirtisch) ist etwa von derselben Grössenordnung, wie die durch 20 cm entfernt entstehende, durch sechs Accumulatoren, Funkeninductorium von 15 cm Maximalfunkenlänge und Righi'schen Funkengeber mit Funken in Vaselineöl erzeugten electricische Schwingungen.

3. Je kleiner der ursprüngliche, desto kleiner ist der schliessliche Widerstand, mit der Maassgabe jedoch, dass sich letzterer unter Umständen (Tab. 4b) der Constanz nähert.

4. Je kleiner der ursprüngliche, desto grösser ist der in Procenten desselben ausgedrückte endgültige Widerstand, mit anderen Worten: Je grösser der Anfangswiderstand, in desto grösserem Maasse wird der Widerstand herabgemindert.

5. Die obigen Zahlen sind dadurch gewonnen, dass die Stimmgabel so oft angeschlagen, bez. so viele Funken erzeugt wurden, bis der Widerstand nicht mehr abnahm (oder, besonders bei den Schallversuchen, durch die Erschütterungen sogar wieder wuchs). Es ist aber zu betonen, dass der bei weitem grösste Theil der Wirkung auf den ersten Ton bez. den ersten Funken entfällt (bis zu 99 Proc. der Gesamtwirkung), und dass dieser Antheil ebenfalls bestimmten Gesetzen unterliegt.

Dass die Wirkungsweise der Schallschwingungen mechanischer Natur ist, erscheint kaum zweifelhaft; man wird sich also vorstellen müssen, dass die Contactkörper zu Pulsationen angeregt werden, und dass aus einem bestimmten Grunde diese Pulsationen nicht wieder zum ursprünglichen Gleichgewichtszustande zurückführen, sondern zu einem solchen, bei welchem der Contact inniger ist. Als Ursache bietet sich ganz ungezwungen die Adhäsion dar; ihre Mitwirkung selbst bei sehr schwachen Drucken und Druckänderungen zu constatiren hatte ich bei meinen Härtemessungen vielfach Gelegenheit.

Aus dieser Auffassung der akustischen Wirkung folgt nun — freilich nicht mit Gewissheit, aber mit einiger Wahrscheinlichkeit — dass auch die Wirkung der electricischen Schwingungen mechanischer oder mindestens, falls hier noch specifische Factoren mitspielen sollten, theilweise mechanischer Natur ist. Indessen erscheint es angezeigt, auf diese Fragen erst nach eingehender Erledigung des experimentellen Theils zurück zu kommen.

Zusatz: Inzwischen hat sich gezeigt, dass auch Erregungen von ganz langer Periode, z. B. Klopfen auf den Tisch, wenn nur die Perioden ganz regelmässig verlaufen, denselben Effect hervorrufen. Ferner kann man statt der Stimmgabeln auch Orgelpfeifen anwenden und diese sogar durch die Luft einwirken lassen.

Jena, 6. December 1897.

(Eingegangen 7. Dec. 1897.)