

Zwei mit Hilfe der neuen Verstärker entdeckte Erscheinungen.

Von H. Barkhausen.

1. Geräusche beim Ummagnetisieren von Eisen.

Durch die Verbesserung der neuen Vakuumröhren-Verstärker ist es leicht möglich, eine 10000fache Strom-, d. h. eine 100-millionenfache Leistungsverstärkung zu erzeugen. Dadurch können noch elektrische oder magnetische Wechselfelder wahrnehmbar gemacht werden, die sich sonst wegen ihrer Schwäche unserer Kenntnis vollkommen entziehen würden. Es ist für sie gewissermaßen ein Mikroskop erfunden worden, und zwar gleich eins mit 10000facher Vergrößerung! So hat W. Schottky kürzlich darauf hingewiesen¹⁾, daß man bei großen Verstärkungen die Elektronen in den Verstärkerröhren selbst gewissermaßen fliegen hören kann, da der durch sie gebildete Strom gemäß der kinetischen Gastheorie spontane Schwankungen ausführt.

Eine ähnliche Erscheinung entdeckte ich vor zwei Jahren bei Gelegenheit von Versuchen, die ich gemeinsam mit Herrn Dr. Tuzek anstellte: Eisen gibt beim Ummagnetisieren ein Geräusch; bei ganz gleichmäßiger Änderung der magnetomotorischen Kraft klappen die Molekularmagnete sprunghaft in ihre neue Lage und erzeugen dadurch in einer darüber geschobenen Spule unregelmäßige Induktionsstöße, die sich im Telefon als Geräusch erkenntlich machen.

Ich habe diese Erscheinungen jetzt etwas näher verfolgt. Fig. 1 zeigt die einfache Ver-

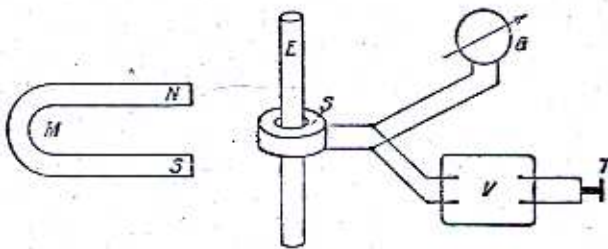


Fig. 1.

suchsanordnung. Die zu untersuchenden Eisenkerne E wurden in eine kleine Spule S von 25 mm Durchmesser und 300 Windungen hinein gesteckt. An die Spule war einerseits ein Telefon T über einen 10000fachen Verstärker V angeschlossen, andererseits ein Spiegelgalvanometer G . Letzteres war so stark gedämpft, daß ein Ausschlag viele Sekunden lang fast unverändert bestehen blieb. Dann zeigt praktisch jede Änderung des Ausschlags eine

ihm proportionale Änderung des die Spule durchsetzenden Induktionsflusses an. Bei Bewegung des 10 cm langen, U-förmigen Magneten M konnte so gleichzeitig die Änderung der Induktion und die Stärke des Geräusches beobachtet werden. Der Anteil des Eisenkerns an ersterer wurde dadurch bestimmt, daß der meist wesentlich schwächere Galvanometerausschlag bei gleicher Magnetbewegung, aber ohne Eisenkern beobachtet und abgezogen wurde. Die Bewegung geschah mit der Hand. Die Genauigkeit war daher nicht sehr groß.

Zunächst zeigte sich, daß das Geräusch um so schwächer wurde, je dicker die Kerne waren. 20 mm dicke Kerne gaben schließlich gar kein Geräusch mehr. Der Grund ist, wie später gezeigt wird, in der zu geringen Änderung der Induktion (pro Flächeneinheit) zu suchen; der kleine Magnet genügte nicht, dickere Kerne hinreichend stark zu magnetisieren. So gab ein dicht liegendes Paket Bleche ein schwächeres Geräusch, als ein einzelnes Blech aus dem gleichen Paket. Am besten geeignet waren 1 bis $\frac{1}{2}$ mm dicke Drähte oder 5 bis 10 mm breite dünne Blechstreifen. Bei Anwendung stärkerer Magnete wird man auch stärkere Eisenkerne verwenden können.

Weiter wurde an einer großen Zahl verschiedener Kerne festgestellt, daß das Geräusch um so stärker war, je weicher das Eisen war. Gehärteter Stahl gab fast gar kein Geräusch, weiches, geglühtes Eisen ein besonders starkes. Hierfür konnte aber nicht die bekanntlich geringere Magnetisierbarkeit des Stahls die Ursache sein, die sich auch durch einen etwas geringeren Galvanometerausschlag bei gleicher Magnetstellung bemerkbar machte. Denn der Unterschied im Geräusch war auch vorhanden, wenn das weiche Eisen 2- bis 3 mal schwächer magnetisiert wurde. Ganz weiches Eisen gab noch ein Geräusch, wenn der Magnet in mehr als $\frac{1}{2}$ m Abstand bewegt wurde. In größerer Nähe war bei ihm das Geräusch so stark, daß es auch ohne Verstärker im Telefon deutlich hörbar war. Der Unterschied zwischen verschiedenen Eisensorten ist so groß, daß man darauf geradezu eine Methode zur Eisenuntersuchung aufbauen könnte.

Die Änderung des Magnetfeldes wurde meist so gemacht, daß der Magnet entweder seitwärts entfernt, um 180° gedreht und wieder genähert wurde, oder so, daß er in einem bestimmten Abstände, besonders in großer Nähe, langsam um 180° herumgedreht wurde. Das Geräusch war bei dieser Bewegung an verschiedenen Stellen sehr verschieden stark. Die Änderung des Galvanometerauschlages entsprach nicht immer der Geräuschstärke. Hielt man mit einer Än-

1) Vgl. Verh. d. D. Phys. Ges. 20, 71, 1918.

derung in Richtung R (Fig. 2) an einem Punkte A an, war sofort alles ruhig und blieb auch vollkommen ruhig, wenn man von A eine Rückwärtsbewegung bis B machte, überhaupt den Magneten zwischen A und B beliebig hin und her bewegte. Sobald man aber die Lage A mit dem Magneten nur ein wenig überschritt, setzte ganz plötzlich das volle Geräusch wieder ein. Dabei wurden bei weiterer Bewegung in Richtung R die Grenzen A und B gewissermaßen nach rechts mit weiter geschoben. Die Grenze A blieb auch dann bei beliebiger Bewegung zwischen A und B überraschend scharf erhalten. Die Grenze B war unscharf, das Geräusch schwoll langsam an, wenn man über B hinaus, etwa bis C , zurückging. Gleichzeitig wurde dann auch die Grenze A unscharf, etwa in der in Fig. 3 angedeuteten Weise. — Das Galvanometer zeigte auch im Bereich zwischen A und B ziemlich starke Änderungen. Es war in seiner Bewegung auch kein Sprung zu bemerken, wenn A überschritten wurde und des Geräusch plötzlich einsetzte. Doch war die Beobachtungsmethode nicht sonderlich genau.

Bei den dicken Kernen wurde wahrscheinlich selbst bei stärkster, mit dem Magneten herstellbarer Änderung das Gebiet $A-B$ nicht überschritten. Daher konnte bei diesen, wie oben bemerkt, kein Geräusch eintreten.

Man kann sich dies eigentümliche Verhalten des Eisens vielleicht in folgender Weise erklären: Die einzelnen Molekularmagnete schließen sich zu mehr oder weniger großen Verbänden mit mehr oder weniger großer Stabilität zusammen. Ein Geräusch entsteht nur bei der Sprengung oder Bildung größerer Verbände. Bei einer Bewegung gemäß Fig. 2 ändern sich in dem Bereich

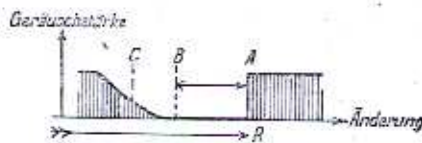


Fig. 2.

$A-B$ nur die kleinen Verbände, es entsteht kein Geräusch. Bei einer Bewegung über B hinaus werden allmählich auch die mittleren und größeren Verbände in Richtung $-R$ in Mitleidenschaft gezogen. In Richtung $+R$ sind dagegen alle kleineren und mittleren Verbände schon bei der ersten, von weit her bis A gekommenen Änderung überwunden. Es sind nur noch die größeren, in dieser Richtung stabileren Verbände übrig geblieben, die erst bei einer weiteren Änderung über A hinaus überwunden werden. — In guter Übereinstimmung mit dieser Vorstellung hört

man bei Änderung über B hinaus ein gleichmäßiges, leises Sausen, während über A hinaus ein lautes prasselndes Geräusch einsetzt, in dem man bei sehr langsamer Änderung, z. B. wenn der Magnet in großer Entfernung bewegt wird, einzelne knallartige Stöße deutlich unterscheiden kann. — Im Stahl scheinen die Molekularmagnete nicht die Fähigkeit zu haben, sich zu größeren Verbänden zusammenzuschließen. Man hört bei ihm immer nur das leise Sausen. — Auch das durch Fig. 3 dargestellte Verhalten

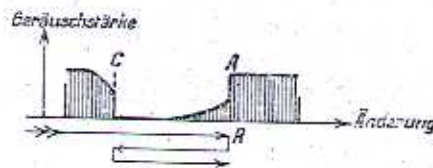


Fig. 3.

ist mit dieser Vorstellung in Übereinstimmung. Die bei der Rückwärtsbewegung (von B bis C in Fig. 2) ummagnetisierten schwachen Verbände werden in Richtung R wieder überwunden, bevor A erreicht ist.

Nicht recht erklärlich ist eine Erscheinung, die bei einem Streifen aus papierdünnem, ganz weichem Eisenblech eintrat. Eine Drehung des Magneten um 180° ergab das stärkste Geräusch, wenn der Magnet einen Abstand von 10 cm hatte. Beim Drehen in ganz geringem Abstände war das Geräusch merkwürdigerweise ganz schwach, auch wenn der Magnet ganz langsam herumgedreht wurde.

Eine genauere Untersuchung wäre, auch im Hinblick auf die praktische Anwendung, beim Magnetdetektor von Marconi und beim Telephon von Poulsen erwünscht.

2. Pfeiftöne aus der Erde.

Während des Krieges wurden Verstärker auf beiden Seiten der Front in ausgedehntem Maße zum Abhören feindlicher Ferngespräche benutzt. Infolge schlechter Isolation, zum Teil auch schon durch Induktionswirkung, breiten sich vagabundierende Erdströme in der weiteren Umgebung der Fernsprechleitung aus. Wenn diese auch äußerst schwach sind, so können sie doch durch die enorme, herstellbare Verstärkung noch hörbar gemacht werden. Die Abbörschaltung zeigt Fig. 4. Die beiden, meist einige 100 m weit auseinander liegenden Erdungen A, B führen einfach über den Verstärker zum Telephon.

Zu gewissen Zeiten hört man im Telephon einen ganz merkwürdig pfeifenden Ton. An der Front hieß es, man höre „die Granaten fliegen“. Soweit eine Bezeichnung durch Buch-

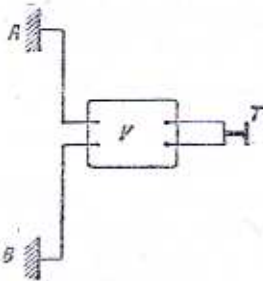


Fig. 4.

staben möglich ist, klang der Ton etwa wie piou. Physikalisch war es meiner Ansicht nach eine Schwingung von annähernd gleich bleibender Amplitude, aber sich sehr schnell ändernder Frequenz, etwa so, wie in Fig. 5 gezeichnet ist,

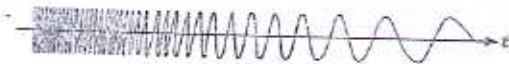


Fig. 5.

beginnend mit den höchsten hörbaren Tönen, die ganze Tonskala durchlaufend und mit den tiefsten hörbaren Tönen abklingend. Durch die Eigenschaften des Verstärkers werden dabei die Töne um die Frequenz 1000 herum besonders stark hervorgehoben. Der ganze Vorgang dauerte fast eine volle Sekunde lang. An manchen Tagen waren diese Pfeiftöne so stark und häufig, daß sie ein Abhören zeitweise unmöglich machten. Die Erscheinung hing sicher mit meteorologischen Einflüssen zusammen. Sie trat besonders des Vormittags an warmen Tagen im Mai und Juni auf, unterschied sich aber vollständig von den normalen atmosphärischen Störungen, die nur ein Knacken oder Brodeln im Telephon erzeugen. Die Erdelektroden, die gelegentlich auch Geräusche geben, können ebenfalls kaum die Ursache für die Pfeiftöne sein. Zunächst ist ein meteorologischer Einfluß auf oft tief vergrabene Erddrähte sehr unwahrscheinlich; dann traten ganz dieselben Pfeiftöne auch im Meere bei in Seewasser tauchenden Kupferelektroden auf. Und wie sollte schließlich ein so merkwürdiger, periodischer Vorgang an den Elektroden entstehen?

Viel näher liegt der Gedanke, daß der Verstärker selbst, etwa durch eine besonders starke atmosphärische Störung angestoßen, derartige Eigenschwingungen erzeugt. Ich habe mich aber vergeblich bemüht, im Laboratorium durch starke Schaltstöße und direkte Funkenüberschläge an einem solchen Verstärker Pfeiftöne hervorzurufen. Auch sind mir bei meinen zahlreichen Versuchen mit den Verstärkern sonst niemals solche Pfeiftöne begegnet.

Wodurch freilich in der Erde und im Meere zeitweise schwache Wechselströme so eigentümlicher Art entstehen können, erscheint zunächst unerklärlich. Vielleicht können hier weitere Mitteilungen aller derer, die mit diesen Apparaten zu tun gehabt haben, zur Aufklärung beitragen.

Dresden, Institut für Schwachstromtechnik,
Mai 1919.

(Eingegangen 17. Mai 1919.)

Der Böenmesser, ein neues Instrument zur hydrodynamischen Untersuchung des Windes.

Von R. Seeliger.

(Mit Tafel XIV.)

Bekanntlich ist die Geschwindigkeit des Windes nicht zeitlich konstant oder nur langsam veränderlich, sondern sie schwankt dauernd in raschen Pulsationen um einen jeweiligen Mittelwert, eben um die „Windgeschwindigkeit“ im gewöhnlichen Sprachgebrauch. Erst seit wenigen Jahren hat man diesen raschen Pulsationen — die man als „Struktur des Windes“ bezeichnet — größere Aufmerksamkeit zugewandt; die bis jetzt vorliegenden Resultate einer genaueren Analyse haben auch bereits manche bemerkenswerte Gesetzmäßigkeiten ergeben und jedenfalls gezeigt, daß es sich — abgesehen von der großen praktischen Bedeutung für die Flugtechnik — um einen Vorgang handelt, der auch den Physiker interessieren dürfte¹⁾. An der verhältnismäßig geringen Ausdehnung des Beobachtungsmaterials trägt nun wohl hauptsächlich der Mangel an zur Untersuchung der Windstruktur geeigneten Instrumenten Schuld. Die bis jetzt vorliegenden Apparate, die sogenannten Böenschreiber²⁾, sind alle recht kompliziert und kostspielig und erfordern eine stationäre Aufstellung und sorgfältige Wartung. Dagegen fehlt es noch ganz an einem handlichen transportablen Instrument, das etwa von der Größe und konstruktiven Einfachheit der üblichen Windmeßgeräte (Handanemometer mit Schalenkreuz oder Wildsche Stärketafel), nicht nur wie diese die mittlere Windgeschwindigkeit, sondern auch die Größe der genannten raschen Pulsationen bequem zu messen gestattet. Abgesehen von der weitgehenden Verwendungsmöglichkeit in der Praxis der Flugtechnik (ein Ersatz der jetzt üblichen und naturgemäß nur

1) R. Seeliger, Die Struktur des Windes, Die Naturwissenschaften 1917, S. 749.

2) R. Seeliger u. E. Bräuer, Die Methoden zur Untersuchung der Struktur des Windes, Met. Zt. 1918, 30, S. 2, 124.