

Messungen der Barkhausen-Spektren von Fe-Proben

P. Deimel, R. Hese und H. Daniel

Physik-Department der Technischen Universität München

(Z. Naturforsch. **28 a**, 759–761 [1973]; eingegangen am 6. November 1972)

Measurements of Barkhausen spectra from Fe samples

The Barkhausen spectra, i. e. the pulse height distribution of pulses induced in a coil by spontaneous magnetization changes, have been measured for two Fe samples. Particular emphasis was given to the effect of the instrumental time constant compared to the Barkhausen time constant and to a low instrumental cut-off (3.5×10^{-8} magnetic cgs units). No maximum was found in the Barkhausen spectra.

1. Ziel der Untersuchung

Der Barkhausen-Effekt wird in der Regel durch Induktion gemessen. Um die durch einen Magnetisierungssprung verursachte magnetische Flußänderung zu bestimmen, muß der in der Spule auftretende Spannungsstoß integriert werden. Dies kann durch eine elektronische Integrationsschaltung¹ oder durch Integration in der Induktionsspule selbst erfolgen. Letztere Methode wurde erstmalig systematisch von Tebble und Mitarbeitern^{2,3} behandelt. Danach gilt für die Dauer τ_B eines Barkhausen-Sprunges in einer zylinderförmigen Probe

$$\tau_B = 3,17 \mu \sigma r^2. \quad (1)$$

Es bedeuten: μ reversible Permeabilität; σ elektrische Leitfähigkeit; r Radius der Probe.

Um die Barkhausen-Sprünge ballistisch messen zu können, muß die Zeitkonstante der Induktionsspule τ_S wesentlich größer als τ_B sein. Eine zu kleine Zeitkonstante könnte nach Pfrenger und Stierstadt⁴ vielleicht ein in Wirklichkeit nicht vorhandenes Maximum im Barkhausen-Spektrum vortäuschen. Andererseits verschlechtert ein unnötig großer Wert das Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Es war deshalb ein Ziel dieser Arbeit, die Abhängigkeit des Spektrums von der Einhaltung der ballistischen Bedingung unter sonst konstanten Versuchsverhältnissen zu untersuchen.

Die meisten bisher gemessenen Sprunggrößenverteilungen zeigen einen monotonen Abfall gegen wachsende Sprunggrößen hin⁵. In einem Falle wurde über ein Maximum der Verteilungskurve berichtet⁶, doch wurde dieser Beobachtung widersprochen⁴.

Sonderdruckanforderungen an Dr. P. Deimel, Physik-Department, E 18, Technische Universität München, D-8046 Garching, Freisinger Landstraße.

Einer endgültigen Entscheidung über die Existenz eines solchen Maximums durch ein Barkhausen-experiment steht vor allem die Beschränkung der unteren Nachweisempfindlichkeit der Apparatur durch thermische Rauschspannungen entgegen, wie sie in der Induktionsspule und im Vorverstärker erzeugt werden. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es daher, mit einer verbesserten Versuchsanordnung die Nachweisempfindlichkeit zu erhöhen. Zur Verminderung des Rauschens mußten daher Spule und Probe gekühlt werden.

2. Meßanordnungen und Durchführung der Messungen

Den grundsätzlichen Versuchsaufbau zeigt Figur 1. Zur Erzeugung eines homogenen, in der Stärke veränderlichen Magnetfeldes dient eine Feldspule von 50 cm Länge und 8,5 cm mittlerem Durchmesser mit 580 Windungen. Den Feldspulenstrom (maximal 10 A) liefert ein Netzgerät der Firma Heinzinger mit einer Langzeitkonstanz von 10^{-5} vom Endwert. Im Zentrum der Feldspule befindet sich die mit acht Anschlüssen versehene Induktionsspule von 5 cm Länge und 30 071 Windungen aus Kupferlackdraht von 0,14 mm Durchmesser. Die gewünschte Zeitkonstante wurde im wesentlichen durch die Wahl des Anschlusses bestimmt. Der externe Dämpfungswiderstand wird dann so eingestellt, daß die Spule im aperiodischen Grenzfall arbeitet. Als Probe dient ein 3 cm langer, hartgezogener Fe-Draht von 0,5 mm Durchmesser [$\tau_B = 17 \mu\text{sec}$ nach Gl. (1)] der Firma Koch-Light Laboratories Ltd., Colnbrook, England, vom Reinheitsgrad 99,999% und einer Koerzitivkraft von 5,2 Oe. Die Suchspulenimpulse wurden zunächst von einem eigens entwickelten Feldeffekt-transistorvorverstärker, dessen Rauscheigenschaften weiter unten angegeben werden, etwa hundertfach verstärkt und im Hauptverstärker weiterverstärkt.



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Analyse und Speicherung übernimmt ein Vielkanalanalysator. Zur Eichung, d. h. zur Zuordnung von magnetischen cgs-Einheiten zu den jeweiligen Kanalnummern wird eine Stromstufe mit einer Anstiegszeit $< 0,1 \mu\text{sec}$ verwendet. Die Eichung wurde für jede gewählte Suchspulenzzeitkonstante neu vorgenommen. Mit dieser Apparatur wurden die in Ziff. 3 beschriebenen Resultate erzielt.

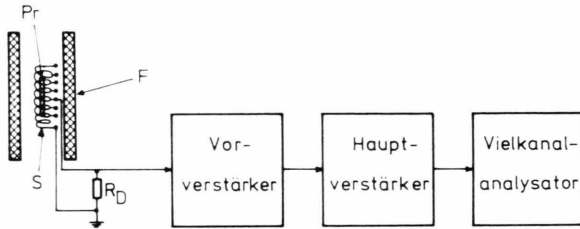


Fig. 1. Grundsätzlicher Versuchsaufbau zur Messung der Barkhausen-Spektren; F ... Feldspule, S ... Suchspule versehen mit acht Anschlüssen, Pr ... Fe-Probe, R_D ... Dämpfungswiderstand.

Die im Hinblick auf Verbesserung der unteren Nachweisempfindlichkeit modifizierte Apparatur unterscheidet sich im Schaltbild nicht grundsätzlich von Fig. 1. Es befindet sich jedoch die Suchspule (9694 Windungen teflonisolierten Kupferdrahtes von 0,063 mm Durchmesser) in einem verspiegelten Dewargefäß, das mit flüssigem Stickstoff gefüllt ist. Dabei wird der Probendraht (gesintertes Reineisen Typ S der Vacuumschmelze GmbH, Hanau, Hanau, hartgezogen, Koerzitivkraft 8,4 Oe von 3 cm Länge und 0,1 mm Durchmesser) mitgekühlt. Gemäß Lambek⁷ ist die Barkhausen-Zeitkonstante τ_B für Reineisendraht von 0,2 mm Durchmesser bei 77 °K kleiner als $10 \mu\text{sec}$, so daß nach Gl. (1) für einen Drahtdurchmesser von 0,1 mm eine Zeitkonstante von $< 2,5 \mu\text{sec}$ zu erwarten ist. Die Suchspulenzzeitkonstante wird durch Parallelschaltung eines Kondensators C von 6,8 nF und eines Dämpfungswiderstandes R_D von 1 k Ω auf 30 μsec festgelegt. Der Übertragungsbereich des Hauptverstärkers ist in diesem Experiment auf das Intervall von 4,15 kHz bis 23 kHz eingestellt. Der ohmsche Suchspulenwiderstand nimmt von 520 Ω bei 300 °K auf 65 Ω bei 77 °K ab. Die quadratisch gemittelte Rauschspannung am Eingang des Vorverstärkers beträgt 0,40 μV , bei eingangsseitigem Kurzschluß 0,33 μV . Diesen niedrigen Rauschpegel bewirkt im wesentlichen die Kühlung des Dämpfungswiderstandes auf 77 °K. Die erreichte Empfindlichkeit beträgt $3,5 \cdot 10^{-8}$ magnetische cgs-Einheiten. Mit dieser Apparatur wurden die in Ziff. 4 beschriebenen Resultate erreicht.

3. Experimentelle Ergebnisse über die Variation der Spulenzitkonstanten

In Fig. 2 sind die längs eines ganzen Hysteresesastes gemessenen Sprunggrößenverteilungen dargestellt. Als Parameter tritt $\kappa = \tau_S/\tau_B$ auf, wobei τ_S die Suchspulenzitkonstante ist. Man erkennt aus Fig. 2, daß für kleine ΔM -Werte um so weniger Impulse eingezählt werden, je kleiner κ ist. Dies gilt nicht für große ΔM -Werte. Die Spektren für $\kappa = 0,4$ und $\kappa = 6,0$ liegen unter dem Spektrum von $\kappa = 0,9$. Die Spektrumsverschiebung ist dabei nicht groß, nur das Spektrum für $\kappa = 0,1$ liegt merklich unter allen anderen Spektren, sowohl für große als auch für kleine ΔM -Werte. Ein Maximum in der Sprunggrößenverteilung kann auch für kleine κ nicht festgestellt werden (vgl. dazu Referenz⁴).

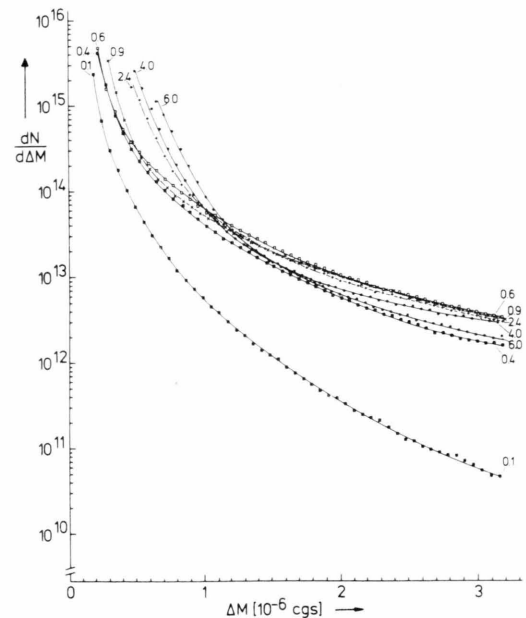


Fig. 2. Barkhausen-Spektren mit den Zeitkonstantenverhältnissen $\kappa = \tau_S/\tau_B$ als Parameter. Aufgetragen ist $dN/d\Delta M$, die Anzahl der Barkhausen-Sprünge pro cm^3 und ΔM -Einheit längs eines ganzen Hysteresesastes als Funktion von ΔM , gemessen in magnetischen cgs-Einheiten. Fe-Draht 0,5 mm Durchmesser, Zimmertemperatur. Die bei den Kurven angegebenen Zahlen sind die Werte für κ .

4. Experimentelle Ergebnisse bei hohen Empfindlichkeitswerten

Figur 3 zeigt ein ebenfalls entlang eines ganzen Hysteresesastes aufgenommenes Barkhausen-Spektrum. Die Feldänderungsgeschwindigkeit im steilen Teil beträgt 0,64 Oe/min und die Gesamtaufnahmedauer („clock time“) 40,6 min. Figur 3 zeigt

außerdem das Rauschspektrum der Apparatur ohne Eisenprobe (Meßdauer 38,6 min, ebenfalls „clock time“). Beide Spektren sind mit derselben „live-time“ aufgenommen. Figur 4 zeigt ein über drei Messungen gemitteltes Barkhausenspektrum, wobei jeweils das Rauschspektrum der Apparatur ohne Eisenprobe subtrahiert wurde. Durch Betrieb des Vielkanalanalysators bei vorgewählter live-time läßt sich der verfälschende Einfluß des Rauschens durch Subtraktion des Rauschspektrums der Apparatur im

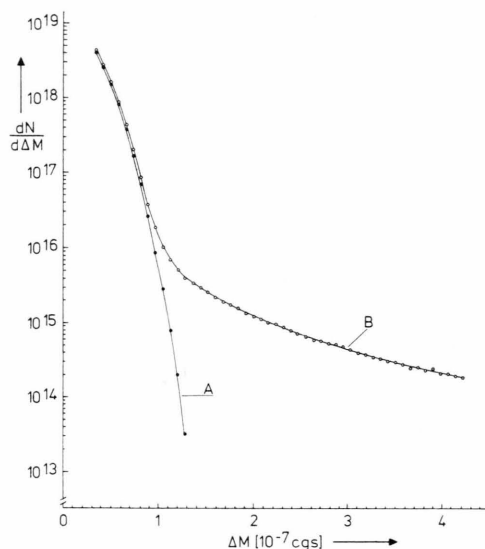


Fig. 3. Barkhausen-Spektrum B einschließlich Rauschen und entsprechendes Rauschspektrum A der Apparatur ohne Eisenprobe. Fe-Draht 0,1 mm Durchmesser, auf 77 °K gekühlt. Aufgetragen ist $dN/d\Delta M$, die Anzahl der Barkhausen-Sprünge pro cm^3 und ΔM -Einheit längs eines ganzen Hystereseastes und das entsprechende Rauschspektrum als Funktion von ΔM .

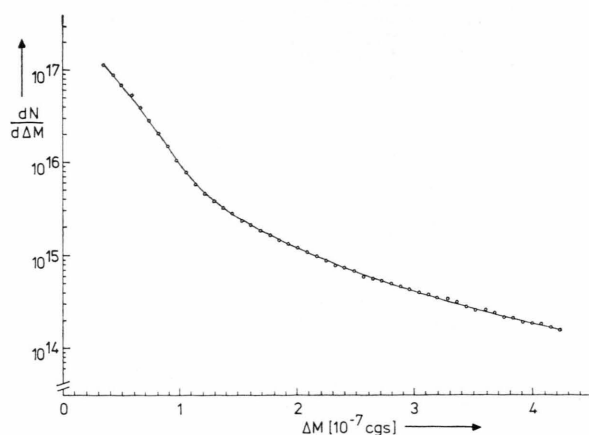


Fig. 4. Über drei Messungen nach Art der Fig. 3 gemitteltes Barkhausen-Spektrum, Rauschspektrum der Apparatur ohne Eisenprobe abgezogen.

Anschluß an die Barkhausen-Messung praktisch eliminieren.

5. Diskussion der Ergebnisse

Obgleich die in Ziff. 4 beschriebenen Meßresultate bei früher nicht erreichten Empfindlichkeitswerten der Apparatur aufgenommen worden sind, zeigt sich kein Maximum der Barkhausen-Sprünge bei kleinen Impulsen. Ebenso lassen die Resultate aus Ziff. 3 kein Maximum erkennen. Insgesamt kann man also konstatieren, daß die Barkhausen-Spektren, jedenfalls bei den hier untersuchten Proben und Empfindlichkeiten, kein Maximum aufweisen. Dieses Resultat bestätigt eine Reihe früherer Untersuchungen^{4, 5}, befindet sich aber im Widerspruch zu Ivlev und Rudjak⁶.

¹ R. Kassing, Z. Angew. Physik **27**, 280 [1969].

² H. D. Bush u. R. S. Tebble, Proc. Phys. Soc. London A **60**, 370 [1948].

³ R. S. Tebble, J. C. Skidmore u. W. D. Corner, Proc. Phys. Soc. London A **63**, 739 [1950].

⁴ E. Pfrenger u. K. Stierstadt, Z. Naturforsch. **20 a**, 492 [1965].

⁵ K. Stierstadt, Springer Tracts in Modern Physics **40**, 29 [1966] und zitierte Arbeiten.

⁶ V. F. Ivlev u. V. M. Rudjak, Sov. Phys. Dokl. **3**, 571 [1958].

⁷ M. Lambeck, Barkhauseneffekt und Nachwirkung in Ferromagnetika, Walter de Gruyter & Co., Berlin 1971.