

# Barkhausen-Spektren von Eisen bei 300 K und 77 K

P. Deimel, A. Waas und H. Daniel

Physik-Department der Technischen Universität München

(Z. Naturforsch. **29 a**, 524–526 [1974]; eingegangen am 12. Dezember 1973)

*Barkhausen Spectra of Iron at 300 K and 77 K*

Barkhausen spectra of iron have been measured at 300 K and 77 K. At the lower temperature less Barkhausen jumps were registered. The large jumps disappeared almost completely. The dependence of the Barkhausen spectra on the slope of the hysteresis curve was also measured.

## 1. Ziel der Untersuchung

Die ersten ausführlichen Messungen über die Temperaturabhängigkeit des Barkhausen-Effektes führten Stierstadt und Mitarb.<sup>1–3</sup> an Nickel durch. Orientierende Experimente an ein- und vielkristallinem Eisen zwischen 90 K und 923 K wurden von Ivlev, Iliushenko und Aseeva<sup>4</sup> angestellt. Lambeck<sup>5, 6</sup> untersuchte den Barkhausen-Effekt und die Nachwirkung in dünnen Eisenfilmen bei tiefen Temperaturen. Er berichtete auch kurz über den Barkhausen-Effekt in massivem Eisen bei 300 K und 77 K<sup>7</sup>; die untere Nachweisgrenze lag bei ca.  $10^{-5}$  magnetischen cgs-Einheiten (mcgs).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Temperaturverhalten des Barkhausen-Effektes an massivem Eisen bei hoher Nachweisempfindlichkeit<sup>8</sup> (untere Nachweisgrenze:  $6 \cdot 10^{-8}$  mcgs) zu studieren. Da bisher keine Angabe über die Abhängigkeit der Größenverteilung der Barkhausen-Sprünge vom Magnetisierungszustand einer Eisenprobe bei 300 K und 77 K existierte, wurde auch die Abhängigkeit von der jeweiligen Steigung der Hysteresekurve gemessen.

## 2. Messungen

Der Versuchsaufbau wurde bereits früher beschrieben<sup>8</sup>; es handelt sich um die dort erwähnte zur Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit modifizierte Apparatur. Als Probe dient ein 3,5 cm langer Draht aus geglühtem Thermoeisen der Vakumschmelze Hanau (Durchmesser 0,1 mm, reversible Permeabilität  $\mu = 120$ , Kristallitdurchmesser ungefähr 0,02 mm, Mn 0,04%, S 0,01%, P 0,01%, C 0,01%, Si 0,005%). Abbildung 1 zeigt die Hysteresekurve der verwendeten Eisenprobe bei 300 K

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

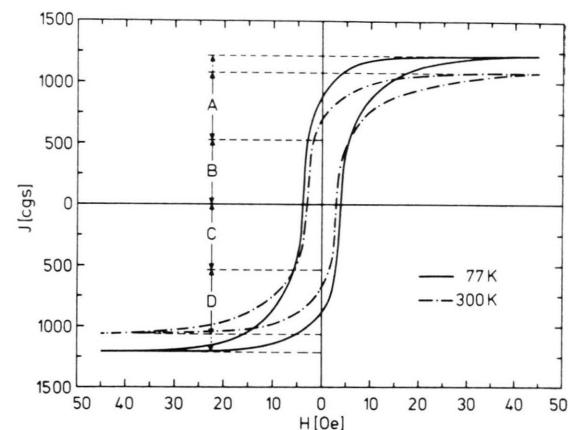


Abb. 1. Hysteresekurve von Thermoeisen bei 300 K und 77 K (Probendurchmesser 0,1 mm). A, B, C, D sind die bei der Messung der Abhängigkeit des Barkhausen-Spektrums von der Steilheit der Hysteresekurve gewählten Magnetisierungsintervalle  $\Delta J$ .

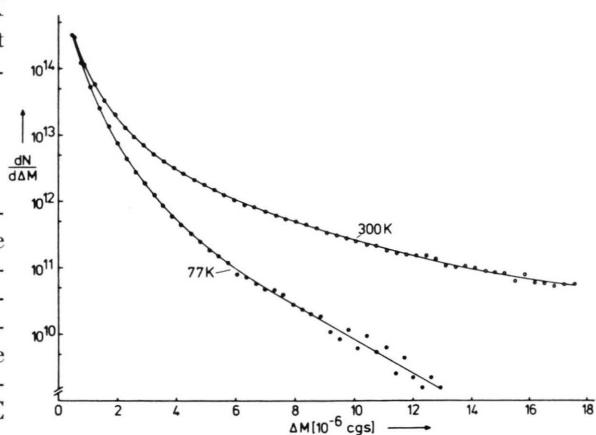


Abb. 2. Barkhausen-Spektren (gemittelt über jeweils 15 Messungen) der Probe aus Abb. 1 mit der Temperatur  $T$  als Parameter. Aufgetragen ist  $dN/d\Delta M$ , die Anzahl der Barkhausen-Sprünge pro  $\text{cm}^3$  und  $\Delta M$ -Einheit längs eines ganzen Hystereseastes als Funktion von  $\Delta M$ , gemessen in magnetischen cgs-Einheiten.



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 Nutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized 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.

und 77 K; die Koerzitivkraft beträgt 3,2 Oe bzw. 3,6 Oe. Die hier verwendete Suchspule erfüllt sowohl bei 300 K als auch bei 77 K die ballistische Bedingung<sup>8, 9</sup>.

In Abb. 2 ist die längs eines ganzen Hystereseastes gemessene Sprunggrößenverteilung (gemittelt über 15 Messungen) bei 300 K und 77 K dargestellt. Bei Erniedrigung der Temperatur auf 77 K zeigt sich eine Abnahme in der Zahl der Barkhausen-Sprünge nicht nur für große, sondern auch für kleine Sprünge; die großen Barkhausen-Sprünge verschwinden fast vollständig.

Um feststellen zu können, ob die bei 77 K gemessene Sprunggrößenverteilung bei kleinen  $\Delta M$ -Werten in die Sprunggrößenverteilung bei 300 K übergeht oder diese gar schneidet, wurde gesondert bei möglichst großer Empfindlichkeit gemessen. Durch Betrieb des Vielkanalanalysators bei vorgewählter live-time lässt sich der verfälschende Einfluß des Rauschens der Apparatur ohne Eisenprobe durch Subtraktion des Rauschspektrums praktisch eliminieren<sup>8</sup>. Abbildung 3 zeigt das über drei Messun-

gen gemittelte und jeweils entlang eines ganzen Hystereseastes aufgenommene Barkhausen-Spektrum bei 300 K und 77 K (Rauschspektrum abgezogen).

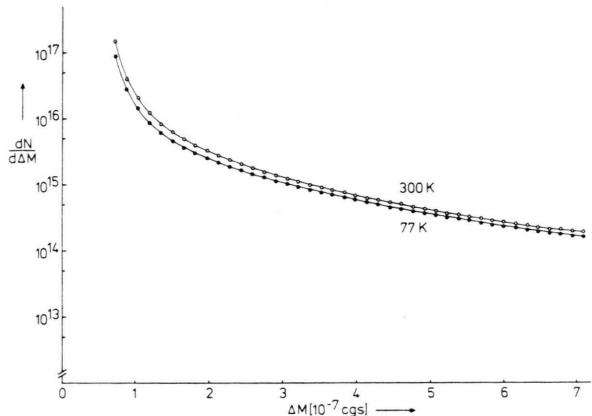


Abbildung 3. Barkhausen-Spektrum (gemittelt über jeweils 3 Messungen) mit der Temperatur  $T$  als Parameter, Rauschspektrum der Apparatur ohne Eisenprobe abgezogen, sonst wie Abbildung 2.

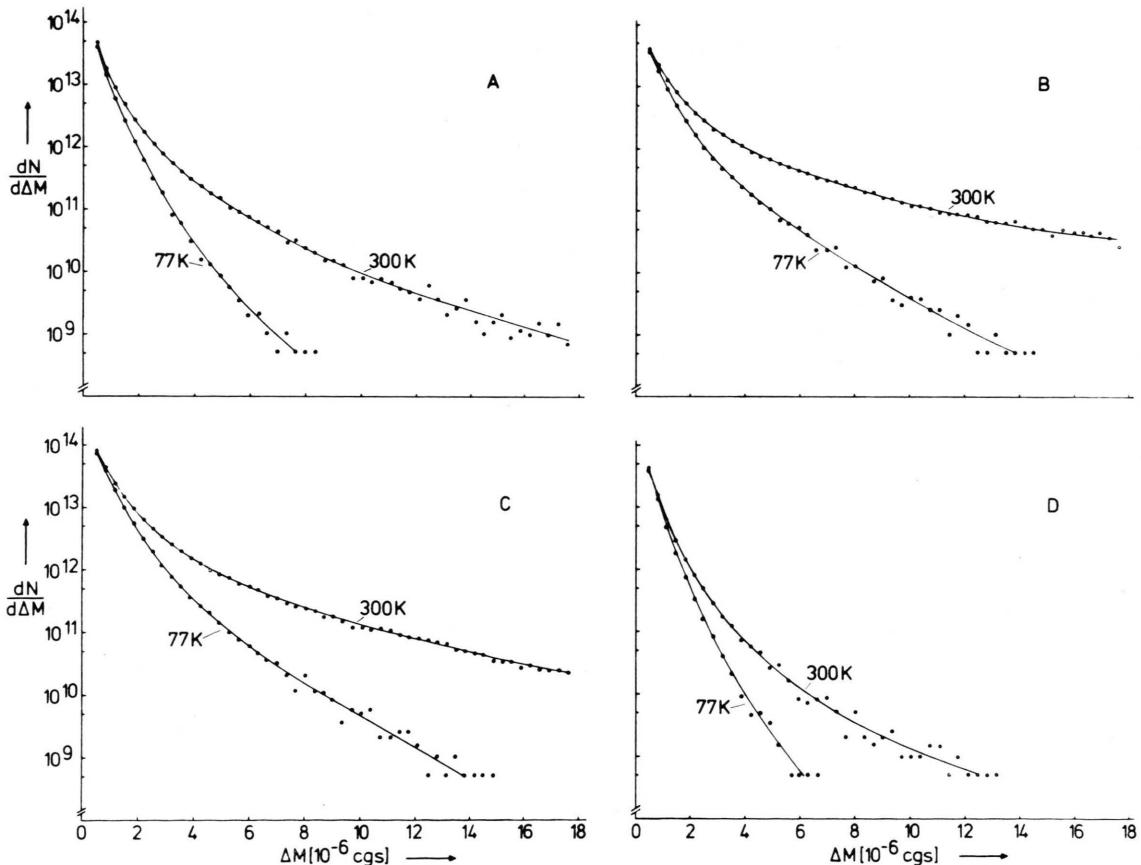


Abbildung 4. Barkhausen-Spektrum (gemittelt über jeweils 20 Messungen) mit der Temperatur  $T$  und dem Magnetisierungsintervall  $\Delta J$  als Parameter. A, B, C, D sind die in Abb. 1 bezeichneten Magnetisierungsintervalle  $\Delta J$ . Sonst wie Abbildung 2.

Das bei 77 K gemessene Barkhausen-Spektrum liegt sowohl für große als auch für kleine  $\Delta M$ -Werte unter dem bei 300 K gemessenen.

Die Abhängigkeit der Größenverteilung der Barkhausen-Sprünge vom Magnetisierungszustand und der Temperatur der Eisenprobe ist in Abb. 4 dargestellt; die Lage der als Parameter erscheinenden Magnetisierungsintervalle A, B, C, D bezüglich der Hysteresekurve ist Abb. 1 zu entnehmen. Die Intervalle sind bei 300 K gleich; dagegen sind bei 77 K Intervall A und D infolge der gegenüber 300 K höheren Sättigungsmagnetisierung erweitert. Ein Vergleich der in Abb. 4 dargestellten Barkhausen-Spektren miteinander zeigt, daß die Zahl der großen Sprünge in den steilen Bereichen B und C der Hysteresekurve viel größer ist als in den flachen A und D. Bei Erniedrigung der Temperatur auf 77 K verringert sich die Zahl der großen Sprünge.

### 3. Diskussion der Ergebnisse

Hampe und Bilger<sup>10</sup> haben die Temperaturabhängigkeit des mittleren Abstands  $L$  zweier Bloch-Wände gemessen.  $L$  nimmt monoton von  $T = 300$  K bis  $T = 77$  K ab. Da aber der Abstand der Störstellen konstant bleibt, muß wohl auf eine Zunahme in der Zahl der Bloch-Wände geschlossen werden. Da

die Zahl der Bloch-Wände zunimmt, ist das Verschwinden größerer Barkhausen-Sprünge bei  $T = 77$  K verständlich. Gleichzeitig sollte dann, wenn kein neuer Effekt ins Spiel kommt, die Zahl der kleinen Barkhausen-Sprünge anwachsen. Die experimentellen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit deuten nicht auf ein solches Anwachsen hin (vgl. Abb. 3); natürlich ist ein Anwachsen bei ganz kleinen magnetischen Momentenänderungen  $\Delta M$  nicht auszuschließen.

Die Abnahme des mittleren Sprungvolumens  $v_m$  bei Erniedrigung der Temperatur wäre eine weitere experimentelle Bestätigung der festgestellten Temperaturabhängigkeit des mittleren Abstandes  $L$  zweier Bloch-Wände. Nach Stierstadt und Boeckh<sup>3</sup> gilt

$$v_m = \frac{\sum N(\Delta M) \cdot \Delta M}{J_s \cdot \sum N(\Delta M)}$$

mit  $v_m$  mittleres Sprungvolumen,  
 $N(\Delta M)$  Zahl der Sprünge mit der Momentenänderung  $\Delta M$ ,  
 $J_s$  Sättigungsmagnetisierung.

Aus den Barkhausen-Spektren der Abb. 2 gewinnt man für  $T = 300$  K ein  $v_m$  von  $6,2 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3$ , für 77 K ein  $v_m$  von  $4,0 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3$ . Das mittlere Sprungvolumen bei 300 K stimmt mit dem bei Kersten<sup>11</sup> zitierten experimentell gewonnenen Wert von  $5 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3$  gut überein.

<sup>1</sup> K. Stierstadt u. E. Pfrenger, Z. Physik **179**, 182 [1964].

<sup>2</sup> K. Stierstadt u. H. J. Geile, Z. Physik **180**, 66 [1964].

<sup>3</sup> K. Stierstadt u. W. Boeckh, Z. Physik **186**, 154 [1965].

<sup>4</sup> V. F. Ivlev, V. L. Iliushenko u. L. J. Aseeva, Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser. **21**, 1239 [1957].

<sup>5</sup> M. Lambeck, IEEE Trans MAG-**2**, (No. 3), 301 [1966].

<sup>6</sup> M. Lambeck, J. Appl. Phys. **39**, 741 [1968].

<sup>7</sup> M. Lambeck, Barkhausen-Effekt und Nachwirkung in Ferromagnetika, Walter de Gruyter & Co., Berlin 1971.

<sup>8</sup> P. Deimel, R. Hese u. H. Daniel, Z. Naturforsch. **28a**, 759 [1973].

<sup>9</sup> H. D. Bush u. R. S. Tebble, Proc. Phys. Soc. London **A 60**, 370 [1948].

<sup>10</sup> W. Hampe u. H. Bilger, Z. Angew. Physik **15**, 391 [1963].

<sup>11</sup> M. Kersten, Z. Angew. Physik **8**, 496 [1956].