

# Die magnetostruktive Verschiebung der ferromagnetischen Resonanz an Ni-Fe-Drähten

Von V. ZEHLE<sup>\*</sup>

Aus dem Institut für theoretische Physik der Justus-Liebig-Hochschule Gießen  
(Z. Naturforschg. 12 a, 441—442 [1957]; eingegangen am 22. Dezember 1956)

Durch das Anlegen von Zugspannungen während der Untersuchung der ferromagnetischen Resonanz an Drähten wird das Resonanzmagnetfeld zu kleineren Werten hin verschoben. Es wird gezeigt, daß diese Verschiebung auf der Magnetostraktion beruht. Die quantitative Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment weist den Weg zu einer neuen Meßmethode der Sättigungsmagnetostraktion.

In der vorhergehenden Arbeit<sup>1</sup> wurde die Behauptung aufgestellt, daß Zugspannungen auf Grund der Magnetostraktion die Resonanzfeldstärke zu kleineren Werten hin verschoben. Um dies zu beweisen, wurden Messungen an Ni—Fe-Drähten gemacht, die gleichzeitig mit einer Zugspannung belastet wurden. Dazu wurde eine Legierung mit 60,2% Ni ausgewählt, weil hier die Magnetostraktion nahezu isotrop ist<sup>2</sup>. Die Messung wurde an einem geglühten und elektropolierten Draht<sup>1</sup> von etwa 0,32 mm Durchmesser in einem HR vom Typ TEM 004 vorgenommen<sup>3</sup>. Die Abb. 1 zeigt die Dispersionskurve, die Resonanz liegt bei einer Feldstärke von  $5,16 \cdot 10^4$  Amp/m (entsprechend 648 Oe.). Bei dieser Messung wurde der Draht, um ein Durchhängen zu vermei-

den, mit einer Zugkraft von 152 pond (entsprechend einer Zugspannung von  $1,82 \cdot 10^7$  Newton/m<sup>2</sup>) belastet. Bei weiteren Versuchen wurde diese Kraft bis auf 2 kp (entsprechend  $2,4 \cdot 10^8$  Newton/m<sup>2</sup>  $\approx 24$  kp/mm<sup>2</sup>) erhöht. Das Ergebnis der Messungen mit steigenden Zugspannungen zeigt die Abb. 2. Zwischen den einzelnen Messungen unter Zug wurden jeweils solche mit nur 152 p Zugkraft durchgeführt, um festzustellen, ob in jedem Falle der Ausgangszustand wieder erreicht wurde. Das war stets innerhalb der Meßgenauigkeit der Fall mit Ausnahme der Messung im Anschluß an den Versuch mit 2 kp. Daher wurde die Meßreihe hier abgebrochen. Den Vergleich zweier solcher Probemessungen mit der Kurve der Abb. 1 zeigt die Abb. 3.

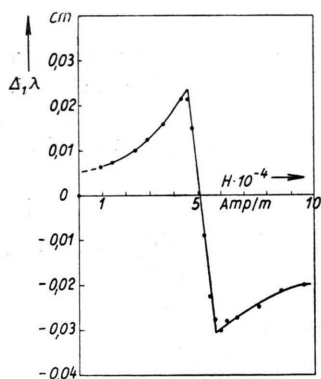


Abb. 1. Die Verschiebung der Resonanzwellenlänge  $\Delta\lambda$  des HR (Dispersionskurve) in Abhängigkeit vom Magnetfeld  $H$  für einen Ni-Fe-Draht (60,2% Ni). Bei sehr kleinen Magnetfeldern ergeben sich Abweichungen, weil der Draht hier noch nicht bis zur Sättigung magnetisiert ist.

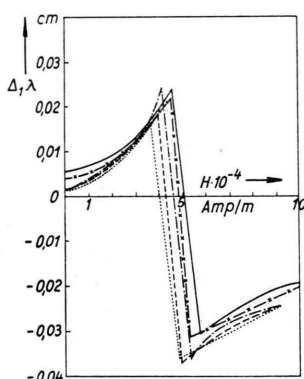


Abb. 2. Dispersionskurven des gleichen Drahtes wie in Abb. 1, bei gleichzeitiger Zugbelastung ( $\sigma$  in  $10^7$  Newton/m<sup>2</sup>).  
—:  $\sigma=1,8$ , —x—x—:  $\sigma=6,0$ ,  
- - - - -:  $\sigma=12$ , — — — —:  $\sigma=18$ ,  
· · · · ·:  $\sigma=24$ .

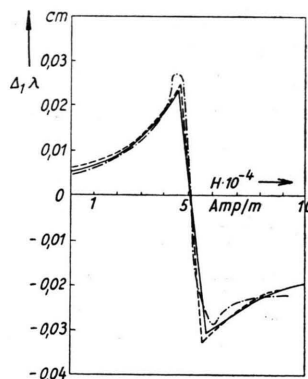


Abb. 3. Vergleich dreier Proben auf Reversibilität nach dem Anlegen von Zugspannungen. —: Bei Beginn der Meßreihe, — — — —: Nach Belastung mit  $18 \cdot 10^7$  Newton/m<sup>2</sup>, — · — · —: Nach Belastung mit  $24 \cdot 10^7$  Newton/m<sup>2</sup>.

\* Jetzt AEG-Forschungsinstitut, Frankfurt (Main)-Hausen.

<sup>1</sup> V. ZEHLE, Z. Naturforschg. 12 a, 437 [1957]; im folgenden als II zitiert.

<sup>2</sup> R. M. BOZORTH, Ferromagnetism, Toronto, New York, London 1951, S. 649.

<sup>3</sup> V. ZEHLE, Z. Naturforschg. 12 a, 433 [1957]; im folgenden als I zitiert.



### Theoretische Deutung

Es wurde schon in II vermutet, daß Zugspannungen wegen der Magnetostraktion wie ein zusätzliches äußeres Magnetfeld wirken. Das ist leicht folgendermaßen einzusehen: Bekanntlich übt ein mechanischer Zug auf die Spins eines ferromagnetischen Körpers ein Drehmoment aus. Dessen freie Energie hängt ab von dem Winkel  $\alpha$  zwischen den Spins bzw. der Magnetisierung und der Spannung  $\sigma$  und lautet<sup>4</sup>

$$E = \frac{3}{2} \lambda_s \sigma \sin^2 \alpha. \quad (1)$$

Dabei ist  $\lambda_s$  die Sättigungsmagnetostraktion. Das Drehmoment ergibt sich durch Differentiation nach  $\alpha$ . Wir wollen es formal dem Drehmoment eines Ersatzmagnetfeldes  $\tilde{H}_\sigma$  gleichsetzen:

$$\frac{\partial E}{\partial \alpha} = 3 \lambda_s \cdot \sigma \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = [\mathfrak{M} \cdot \tilde{H}_\sigma], \quad (2)$$

$$3 \lambda_s \sigma \cos \alpha = M H_\sigma. \quad (2a)$$

In unserem Falle liegen Zugspannung und Magnetisierung parallel, daher ergibt sich für das Ersatzmagnetfeld:

$$H_\sigma = \frac{3 \lambda_s \sigma}{M}. \quad (3)$$

Um diesen Wert sollte sich die Resonanzfeldstärke beim Anlegen der Zugspannung  $\sigma$  verschieben.

Da ein linearer Zusammenhang zwischen  $\sigma$  und  $H_\sigma$  besteht, wurde in der nächsten Abbildung die Resonanzfeldstärke in Abhängigkeit von der Zugspannung  $\sigma$  aufgetragen. Die Meßpunkte liegen einer Geraden erfreulich nahe. Die Gleichung dieser Geraden wurde nach der Methode der kleinsten Quadrate approximiert. Danach ergibt sich für den Anstieg ein Wert von

$$\begin{aligned} \frac{3 \lambda_s}{M} &= -4,05 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{Amp}}{\text{m}} / \frac{\text{Newton}}{\text{m}^2} \right] \\ &= -4,05 \cdot 10^{-5} \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{Weber}} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Das liefert mit einer Sättigungsmagnetisierung von  $1,45 \text{ Weber/m}^2$  (entsprechend  $1,45 \cdot 10^4 \text{ Gauß}$ <sup>5</sup>) für die Sättigungsmagnetostraktion den Wert

$$\lambda_s = 2,0 \cdot 10^{-5}$$

in überraschend guter Übereinstimmung mit dem von LICHENBERGER<sup>6</sup> angegebenen Wert. Damit ist quantitativ nachgewiesen, daß eine Zugspannung in derselben Weise wie ein angelegtes Gleichmagnetfeld wirkt und die Resonanz verschiebt. Die Form der Dispersionskurve und damit die Dämpfung wird kaum beeinflusst, solange die Zugspannung klein genug ist, keine irreversiblen Veränderungen im Gefüge des Drahtes hervorzurufen.

Gleichzeitig zeigt sich hier ein neues Verfahren auf, durch Verfeinerung der Meßmethodik die Magnetostraktion zu messen: Die sonst übliche Unsicherheit in der Kenntnis, wie die Orientierungen der einzelnen Bereiche im unmagnetisierten Zustand verteilt sind, entfällt hier, da nur Messungen an magnetisierten Proben gemacht werden.

Der Ordinatenabschnitt der Geraden in Abb. 4 liefert das Resonanzmagnetfeld für  $\sigma = 0$  mit  $5,22 \cdot 10^4 \text{ Amp/m}$ ; daraus folgt mit  $M = 1,45 \text{ Wb/m}^2$  für  $\gamma = 2,32 \cdot 10^5 \text{ m/Amp sec}$  bzw.  $g = 2,10$ .

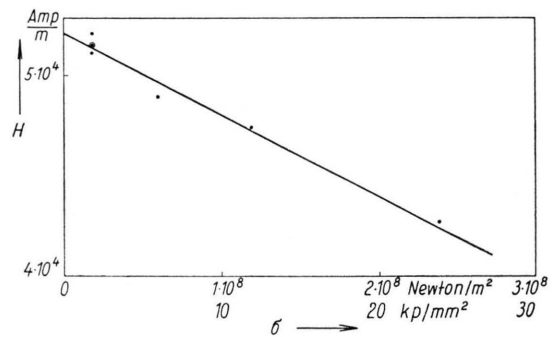


Abb. 4. Resonanzfeldstärken in Abhängigkeit von der Zugspannung  $\sigma$ .

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir, daß sie uns die Durchführung dieser Untersuchungen durch Bereitstellung von Apparaten und Mitteln ermöglicht hat. Der V a c u u m s c h m e l z e A.G. Hanau danken wir für die Überlassung von Drähten. Herrn Prof. DÖRING für Diskussionen und Anregungen zu danken, ist mir ein besonderes Anliegen.

<sup>4</sup> R. BECKER u. W. DÖRING, Ferromagnetismus, Berlin 1939, S. 131.

<sup>5</sup> l. c.<sup>2</sup>, S. 109.

<sup>6</sup> F. LICHENBERGER, Ann. Phys., Lpz. (5) 15, 45 [1932].