

Sinkt die erregende Kraft  $\mathcal{H}$  auf den Wert Null, so sinkt nun keineswegs die Induktion  $\mathcal{B}$  im Eisen ebenfalls auf Null, sondern sie hat im vorliegenden Beispiel immer noch den Wert von 10 000 Gauß. Dieser Wert von 10 000 Gauß bleibt also nach dem Aufhören der magnetisierenden Kraft bestehen; es ist in dem magnetisierten Material ein Rest von Magnetismus zurückgeblieben. Dieser Rest ist der remanente Magnetismus, er beträgt für das untersuchte Material 10 000 Gauß. Das Material ist demnach stark remanent und würde sich vielleicht zur Herstellung von Dauermagneten eignen. Die Betonung ist hier auf das Wort „vielleicht“ zu legen, denn es ist nicht etwa so, daß ein stark remanentes Material sich auch unbedingt für permanente Magnete eignen müsse. Es kommt bei dem Material für Dauermagnete in erster Linie nicht auf die hohe Remanenz an, sondern auf die Eigenschaft, diesen remanenten Magnetismus festzuhalten. Ein Material von sehr hoher Remanenz ist z. B. weiches, reines Schmiedeeisen. Aber gerade dieses Material hält seinen remanenten Magnetismus gar nicht fest und verliert ihn bei der geringsten Veranlassung. Deswegen ist weiches, reines Schmiedeeisen für Dauermagnete gar nicht, für Elektromagnete dagegen sehr gut geeignet.

Abb. 6 zeigt die oberen beiden Quadranten eines Koordinatensystems. Auf der  $x$ -Achse werden die Werte  $\mathcal{H}$ , auf der  $y$ -Achse die Werte  $\mathcal{B}$  abgelesen. Das Arbeitsbereich der Elektromagnete liegt in dem Quadranten des Koordinatensystems rechts oben,  $\mathcal{H}$  und  $\mathcal{B}$  ist positiv. Für permanente Magnete dagegen liegt das Arbeitsbereich im zweiten Quadranten, wo  $\mathcal{H}$  negativ,  $\mathcal{B}$  positiv ist.

Will man prüfen, ob ein bestimmtes Material für Dauermagnete geeignet ist, so muß man feststellen, welche der ursprünglich magnetisierenden Kraft entgegengesetzt gerichtete Kraft erforderlich ist, um den remanenten Magnetismus zu beseitigen, das Material folglich wieder unmagnetisch zu machen. Man magnetisiert das Material von neuem, aber im umgekehrten Sinne, indem man den Strom in der anderen Richtung durch die Erregerspule fließen läßt. Verstärkt man den Strom allmählich und mißt dabei immer den in dem Material noch vorhandenen, aber fortwährend schwächer werdenden remanenten Magnetismus, so findet man, daß bei einer erregenden Kraft  $\mathcal{H}$  von 23 Oerstedt das Material wieder unmagnetisch geworden ist. Die induzierende Kraft von 23 Oerstedt ist nötig gewesen, um die Koerzitivkraft, das ist die Kraft, mit welcher ein magnetisiertes Eisenstück seinen remanenten Magnetismus festhält, unwirksam zu machen (Koerzitivkraft von *coercere* = zusammenhalten). Man bezeichnet gewöhnlich als Koerzitivkraft die magnetisierende Kraft, die der induzierenden Kraft, die das Material magnetisierte, entgegengesetzt gerichtet ist und die aufgewendet werden muß, um den remanenten Magnetismus in dem Material auf den Wert Null herabzudrücken.

Die Koerzitivkraft ist am größten bei hartem Stahl und anderen für die Herstellung von Dauermagneten geeigneten Materialien, sehr klein dagegen bei weichem Eisen.

Es geht daraus hervor, daß der Werkstoff für Dauermagnete eine hohe Koerzitivkraft besitzen, also hochkoerzitiv sein muß. Hochkoerzitives Material ist nicht gleichbedeutend mit hochremanentem Material. Die Remanenz kann sehr hoch sein, wie z. B. bei weichem Eisen, während die Koerzitivkraft bei diesem außerordentlich gering ist.

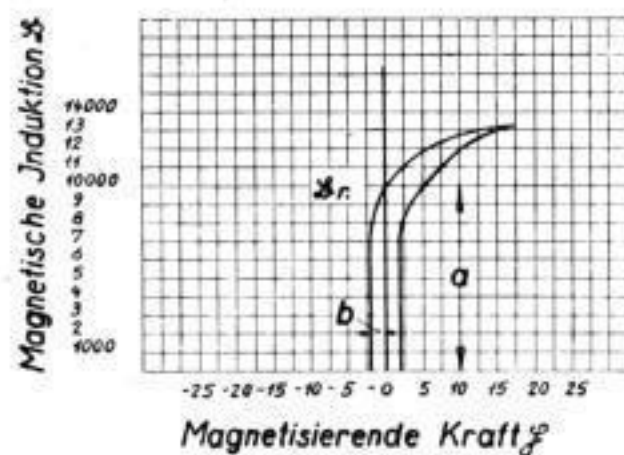


Abb. 7  
Hysteresekurve für weiches Schmiedeeisen

In der Abb. 6 stellt die Entfernung a den Wert des remanenten Magnetismus, die Entfernung b den der Koerzitivkraft dar. Je größer die Entfernung b ist, desto besser ist das Material für Dauermagnete geeignet, wobei natürlich das Material den Vorzug verdient, bei dem auch a möglichst groß ist.

Die magnetischen Werte für einen magnetischen Werkstoff werden aus dem Produkt Koerzitivkraft  $\mathcal{H}_c$  multipliziert mit den Werten des remanenten Magnetismus  $\mathcal{B}_r$  errechnet. Graphisch dargestellt ist der magnetische Wert durch die Kurve W und das daraus entwickelte Rechteck c, d, e, f.

Bei dem Material, dessen Kennlinien in Abb. 6 dargestellt sind, ist eine magnetisierende Kraft von  $-23$  Oerstedt erforderlich, um den remanenten Magnetismus zu beseitigen. Bei weichem Eisen dagegen genügen knapp 2 Oerstedt, um das Material unmagnetisch zu machen (Abb. 7).

Als Werkstoff für Dauermagnete diente bis vor nicht allzu langer Zeit ausschließlich Stahl, und zwar solcher mit Zusätzen von Chrom, Wolfram, Kobalt usw. Am meisten wurden wohl die Wolframstähle verwandt, bei denen die Koerzitivkraft 50—70 Oerstedt erreichte. Die Stähle wurden aus dem Stange material gearbeitet, gebogen, gebohrt usw., dann gehärtet, wenn notwendig noch zurechtgeschliffen und entweder vor oder nach dem Einbau magnetisiert. Nach H. Dehler beträgt bei Wolframstahl die Koerzitivkraft 70 Oerstedt. Jahrzehntlang gab es für Dauermagnete kein anderes Material als den Chrom- und Wolframstahl.

Eine wesentliche Verbesserung der Dauermagnete brachte die Verwendung des Kobaltstahles als Werkstoff. Die Koerzitivkraft beträgt bei diesem Material etwa 180 Oerstedt.

Ein völliger Umschwung in der Herstellung permanenter Magnete trat ein, als vor einigen Jahren durch die Japaner Mishima und Hori auf die Legierungen von Eisen-Aluminium-Nickel und Eisen-Nickel-Kobalt-Titan und ihre hervorragende Eigenschaften hingewiesen wurde.

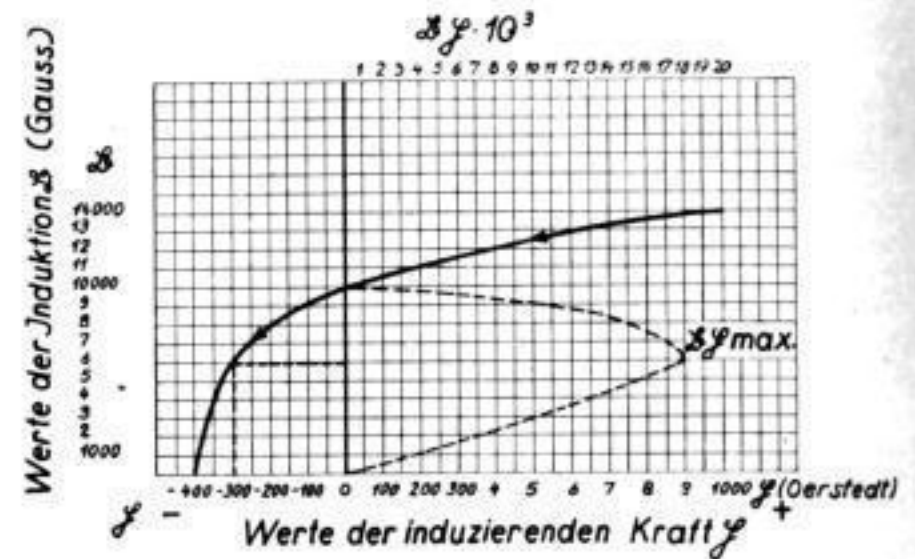


Abb. 8  
Hysteresekurve für MK-Stahl

Die Kurve Abb. 8 zeigt die Kennlinien für Aluminium-Nickelstahl, den Mishima-MK-Stahl.

Die Kurve ist nach den Angaben eines Artikels im „Archiv für Technisches Messen“, Z 912—2, gezeichnet worden. Die Remanenz beträgt 10 000 Gauß, die Koerzitivkraft 400 Oerstedt.

Auch dieses Material ist inzwischen durch neue Legierungen, ebenfalls Eisen-Nickel-Aluminium-Legierungen, übertroffen worden. So gibt Dehler für Aluminium-Nickelstahl an: Remanenz = 6000 Gauß, Koerzitivkraft = 750 Oerstedt. Das Leistungserzeugnis ( $\mathcal{B}\mathcal{H}_{max}$ ) beträgt  $\approx 1,5$  Millionen Gauß · Oerstedt.

Infolge der außerordentlich guten magnetischen Eigenschaften kann man jetzt in Apparaten, für die man früher einen großen Stahlmagneten benötigte, mit bedeutend kleineren Magneten auskommen.

Die Magnete aus den neuen Werkstoffen wirken sich aber nicht nur raumsparend aus, sondern sie verbessern auch ganz bedeutend die Leistungsfähigkeit der mit solchen Magneten ausgestatteten Apparate. Das ist nicht nur auf die besseren magnetischen Eigenschaften der aus dem neuen Werkstoff hergestellten Magnete zurückzuführen, sondern auch auf den Umstand, daß die Magnete infolge ihres geringen Raumbedarfes bedeutend vorteilhafter in viele Apparate eingebaut werden können als die großen Stahlmagnete. Abb. 9 zeigt z. B. ein Nebennutenwerk, bei dem der Magnet direkt zwischen den Ankerscheiben untergebracht ist. Die Ankerscheiben werden hier auf die denkbar günstigste Weise magnetisiert, ohne daß Luftspalte, wie sie bei der Vormagnetisierung der Ankerscheiben durch einen Hufeisen-Stahlmagnet unvermeidlich sind, vorhanden wären.

Leider haben die aus den neuen Werkstoffen, den Aluminium-Nickel-Eisen-Legierungen, hergestellten Magnete, abgekürzt Al-Ni-Magnete, einen großen Nachteil. Sie lassen sich nämlich nur durch Schleifen bearbeiten. Die gegossenen Magnete lassen sich nicht schmieden, kleine Bohrungen oder gar Gewinde lassen sich nicht anbringen. Die Magnete müssen in der gewünschten Form gegossen werden und können ihre endgültige Gestalt nur durch Schleifen erhalten.

Das ist wohl auch der Grund, weshalb sich die Al-Ni-Magnete trotz ihrer hervorragenden guten magnetischen Eigenschaften nicht allgemein eingeführt haben.

Da sich die Al-Ni-Magnete nun so außerordentlich schwierig, durch spanabhebende Werkzeuge so gut wie gar nicht bearbeiten lassen, trachtete man danach, die Formgebung der Magnete auf anderem Wege als durch Gießen und Schleifen zu erreichen.

Zu den magnetischen Stoffen gehören auch die Oxyde der Eisen-, Nickel-, Mangan- und deren magnetische Legierungen. Durch Sintern der Oxyde der magnetischen Stoffe und Pressen unter großem Druck konnte man den so hergestellten Stoffen die endgültige Form der Magnete, den sogenannten Oxydmagneten, geben.