

Abb. 4

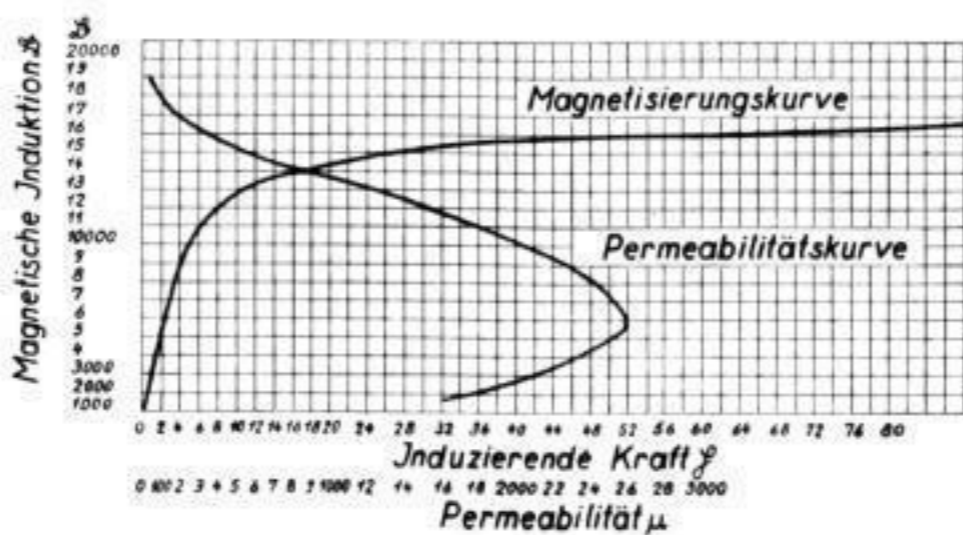


Abb. 5
Magnetisierungskurve für weiches Schmiedeeisen

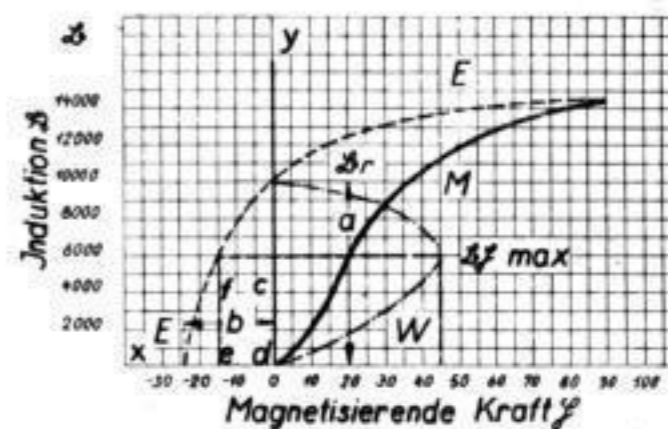


Abb. 6
Hysteresekurve für Stahl

man eine höhere Stromstärke anwenden mußte. Will man starke magnetische Felder erzeugen, so muß man in die Magnetisierungsspule Eisen hineinbringen, und aus zwei Gründen sogar verhältnismäßig viel Eisen. Einmal muß man den Kraftlinien einen Weg bieten, der möglichst ganz in Eisen verläuft, zum anderen muß man aber den Querschnitt des Eisens groß wählen, weil dann der Widerstand, den das Eisen dem Durchgang der Kraftlinien, dem Kraftlinienfluß (Flux), entgegensetzt, geringer ist. Alle Elektromagnete bestehen deshalb aus Eisen. Eisen ist demnach der wichtigste magnetische Werkstoff.

Die Gesamtzahl aller Kraftlinien im Eisenkern, der magnetische Induktionsfluß Φ (großes Phi), dividiert durch den Querschnitt F des Eisens, ergibt die Kraftliniendichte \mathfrak{B} . Das Verhältnis der induzierenden Kraftlinien \mathfrak{H} zu den im Eisen induzierten Kraftlinien ist nun keineswegs feststehend, sondern den größten Abweichungen unterworfen. In der einen Eisensorte werden bei gleichbleibender Erregung der Magnetisierungsspule verhältnismäßig wenig Linien, bei einer anderen Eisensorte wieder außerordentlich viel Kraftlinien induziert. Dividiert man die je Flächeneinheit im Eisen vorhandenen Kraftlinien \mathfrak{B} durch die Anzahl der in der eisenlosen Magnetisierungsspule erzeugten Kraftlinien \mathfrak{H} , so erhält man eine Zahl μ (kleines My), welche ausdrückt, um wievielfache die Anzahl der Kraftlinien \mathfrak{B} im Eisen größer ist als die der Kraftlinien \mathfrak{H} der Magnetisierungsspule.

Man bezeichnet die Zahl μ als die Permeabilität des Eisens (von permeare = durchdringen). Der Permeabilitätsfaktor μ hat aber nicht nur für jede Eisensorte eine andere Größe, sondern auch für ein und dasselbe Stückchen Eisen ändert er sich, je nach der magnetisierenden Kraft \mathfrak{H} der Spule.

Das Verhältnis der Induktion \mathfrak{B} im Eisen zu den induzierenden Kraftlinien \mathfrak{H} der Erregerspule stellt man gewöhnlich graphisch in Magnetisierungskurven für eine bestimmte Eisensorte dar. Abb. 5 zeigt eine solche Magnetisierungskurve für ausgeglühtes, weiches Schmiedeeisen. Die Abbildung ist nach einer Tabelle aus dem hervorragenden Werk von Adolf Donath: „Lehrbuch der Elektromechanik“, gezeichnet. Bei nur 2 \mathfrak{H} -Linien beträgt die Induktion \mathfrak{B} bereits 5000 Linien, sie steigt noch weiter steil an und erreicht bei einer erregenden Kraft von 4,81 Linien bereits 10 000 Linien \mathfrak{B} . Bei fortschreitender Steigerung der induzierenden Kraft \mathfrak{H} steigt die Kurve immer weiter an, um bei einer Induktion \mathfrak{B} von ungefähr 14 000 Linien nur mehr ganz allmählich weiter zu steigen. Der jeweilige Wert der Permeabilität ($\mu = \mathfrak{B} : \mathfrak{H}$) geht aus der eingezeichneten Permeabilitätskurve hervor. Man ersieht daraus, daß der Permeabilitätskoeffizient durchaus keine feststehende Größe ist, sondern sich unausgesetzt mit der induzierenden Kraft \mathfrak{H} ändert. Die Permeabilität ist anfangs sehr gering, wächst bei fortschreitender Erregung sehr stark an und geht bei weiterer Erregung bis auf ganz geringe Werte herunter.

Außer der induzierenden Kraft \mathfrak{H} ist die Permeabilität auch von der Beschaffenheit der Eisensorte sehr stark abhängig. Man kann deshalb die Induktion \mathfrak{B} im Eisen nicht berechnen, sondern nur durch Messungen ermitteln. Jedes Material hat eine andere Permeabilität, Gußeisen z. B. eine viel geringere als weiches, gutes Schmiedeeisen.

Der Permeabilitätskoeffizient ist am größten bei Schmiedeeisen, und zwar bei den weichen, kohlenstoffarmen Sorten. Je weicher und reiner das Eisen ist, desto größer ist die Permeabilität. Man wird also am besten als Werkstoff für Elektromagnete reines, weiches, schwedisches Holzkohleneisen verwenden, das man nach der Verarbeitung sorgfältig ausglüht und ganz allmählich unter Luftabschluß, Abdecken mit Lössche oder im verlöschenden Holzkohlenfeuer abkühlen läßt. Man hat heute aber auch mit Nickel und Silizium legierte Stahlsorten für Elektromagnete, die den besten schwedischen Weicheisenmarken nicht nachstehen.

Das im weichen Eisen leicht entstehende Kraftlinienfeld verschwindet im allgemeinen ebenso rasch wieder, wenn der Strom in der induzierenden Spule unterbrochen wird. In den meisten elektromagneti-

schen Apparaten ist es Bedingung, daß der Eisenkörper des Elektromagneten sofort bei der Unterbrechung des Stromes unmagnetisch wird.

Das ist durchaus nicht bei allen Eisensorten der Fall, und in vielen Elektromagnetgestellen bleibt bei der Unterbrechung ein Teil des Magnetismus zurück. Das Material hält gleichsam einen Rest des Magnetismus fest. Diese sehr oft unerwünschte Eigenschaft des magnetischen Werkstoffes, einen Restbetrag des Magnetismus zurückzuhalten, bezeichnet man als Remanenz (von remanent = zurückbleibend).

Verlangt man in den meisten Fällen von einem Elektromagneten, daß sein Magnetismus nach dem Aufhören der induzierenden Wirkung der Spule möglichst vollständig verschwindet, so setzt man andererseits doch wieder gewisse Eisensorten gerade zu dem Zweck der Magnetisierung aus, damit sie von ihrem einmal erlangten Magnetismus nach dem Verschwinden des induzierenden Kraftfeldes möglichst viel dauernd behalten.

Solche Magnete, die nach erfolgter Magnetisierung ihren Magnetismus behalten, nennt man Dauermagnete oder permanente Magnete.

Reines, weiches, kohlenstoffarmes Eisen läßt sich am leichtesten magnetisieren und verliert seinen Magnetismus ebenso leicht wieder. Härteres Eisen, das kohlenstoffreicher ist oder gewisse Beimengungen enthält, läßt sich schwerer magnetisieren, behält aber einen großen Teil seines einmal erhaltenen Magnetismus dauernd. Das Material ist zu einem Dauermagneten geworden. Hartes Eisen (Stahl), das kohlenstoffreicher ist als weiches, reines Schmiedeeisen, außerdem noch gewisse Beimengungen enthält, war bis vor kurzem der einzige Werkstoff für permanente Magnete.

Um ein Stück Eisen oder Stahl zu magnetisieren, muß eine gewisse Arbeit, die Magnetisierungsarbeit, aufgewendet werden. Diese Arbeit ist um so größer, je stärker das Eisenstück magnetisiert wird und je größer das Eisenstück ist. Die Magnetisierungsarbeit ist direkt proportional dem Volumen des zu magnetisierenden Eisenkörpers, selbstverständlich bei sonst gleichen Verhältnissen. Wenn aber Arbeit aufgewendet werden muß, so setzt das voraus, daß bei der Magnetisierung eines Eisenstückes eine Gegenkraft vorhanden sein muß, die bestrebt ist, in dem momentanen magnetischen Zustand zu verharren, sich einer Änderung des magnetischen Zustandes zu widersetzen.

In der Dynamik sagt das Gesetz des Beharrungsvermögens, daß jeder Körper im Zustand der Ruhe verharrt, solange er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, diesen Zustand zu ändern. Nach diesem Gesetz des Beharrungsvermögens oder der Trägheit nennt man die Erscheinung, daß der Magnetismus in einem Eisenstück in dem momentanen Zustand verharran möchte, die magnetische Trägheit oder die Hysterese (von hysteréo = zurückbleibend).

Magnetisiert man ein Stück weiches, reines, frisch geglühtes Schmiedeeisen, indem man es in geeigneter Form in eine Magnetisierungsspule bringt, und läßt man den Strom in der Erregerspule langsam ansteigen, so zeigt die Magnetisierungskurve des Eisens vielleicht die in Abb. 6 dargestellte Form. Läßt man die magnetisierende Kraft auf 5 Linien (Oerstedt) ansteigen, so erreicht die Induktion \mathfrak{B} im Eisen den Wert von ungefähr 1000 Linien (Gauß). Steigt die induzierende Kraft \mathfrak{H} auf 10 Oerstedt, so beträgt die Induktion \mathfrak{B} ungefähr 2000 Gauß, bei 30 Oerstedt ist die Induktion \mathfrak{B} bereits auf über 8000 Gauß, bei 100 Oerstedt auf rund 14 500 Gauß gestiegen. Die angegebenen Werte sind dem Buch von Adolf Donath: „Lehrbuch der Elektromechanik“, nach einem Versuch von Ewing entnommen. Die Magnetisierungskurve M steigt also von 0, bei der magnetisierenden Kraft 0 bis auf etwa 14 500 Gauß, bei der magnetisierenden Kraft von 100 Oerstedt. Geht man nun mit der Stromstärke in der Erregerspule wieder langsam herunter, so folgt die Induktion \mathfrak{B} im Eisen nicht, wie man voraussetzen sollte, der Magnetisierungskurve M , sondern einer höher gelegenen Kurve E . Betrug z. B. die Induktion \mathfrak{B} im Eisen 1200 Gauß bei einer magnetisierenden Kraft von 50 Oerstedt, so hat bei nachlassender Erregung die Induktion \mathfrak{B} einen Wert von etwa 14 000 Gauß, wenn die Erregung von 100 Oerstedt auf 50 Oerstedt zurückgegangen ist. Bei 30 Oerstedt betrug bei der ansteigenden Erregung die Induktion rund 8000 Gauß, bei der zurückgehenden Erregung dagegen 13 000 Gauß.