



## Wissenswertes über Magnetwerkstoffe

### Neodymium-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB)

Gegenüber SAMARIUM-KOBALT (SmCo) ist das Energieprodukt um ca. 30% höher, das spezifische Gewicht niedriger, und die mechanische Festigkeit viel besser.

Die Herstellung erfolgt durch Pressen und Sintern von Rohblöcken. Aus diesen Blöcken werden mit Diamant-Trennscheiben Magnetformen «aus dem Vollen» geschnitten. Dabei können geringe Toleranzen eingehalten werden. Bei grösseren Stückzahlen ist auch die Herstellung von einfachen geometrischen Formen – Scheiben, Ringen, Quadern – durch Pressen im Werkzeug möglich. Die magnetischen Werte sind dabei 10 ... 15% niedriger.

Die Koerzitivfeldstärke nimmt bei steigender Temperatur ab. Ab der materialbedingten Einsatztemperatur entstehen irreversible Verluste. Die magnetischen Werte bewegen sich bei einem  $T_k$  von  $\pm 0.11\%$  pro  $1^\circ\text{C}$ . Mit einem kleinen Flächen-/Dickenverhältnis tritt der irreversible magnetische Verlust schon vor der angegebenen Einsatztemperatur ein.

#### Eigenschaften (typisch) von NdFeB

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Spezifisches Gewicht:          | 7.5 g/cm <sup>3</sup>   |
| Druckfestigkeit:               | 300 N/mm <sup>2</sup>   |
| Biegefestigkeit:               | 140 N/mm <sup>2</sup>   |
| Spezifischer Widerstand:       | 1.5 $\mu\Omega\text{m}$ |
| Max. Gebrauchstemp.:           | 80 ... 180 °C           |
| (je nach Typ)                  |                         |
| Temperatur-Koeffizient von Br: | 0.11 %/°C               |
| Aufmagnetisierfeldstärke H:    | >2000 kA/m              |

### Samarium-Kobalt-Magnete (SmCo)

Handelsübliche Dauermagnete der AlNiCo-Gruppe und der Ferrite sind heute so ausgereift, dass eine wesentliche Steigerung ihrer magnetischen Kennwerte nicht mehr erwartet werden kann.

Für besonders anspruchsvolle Aufgaben sind Dauermagnete entwickelt worden, welche auf der Materialzusammenstellung von sogenannten «Seltene Erden» (Samarium, Cer, Lanthan usw.) und Kobalt beruhen.

Im Vergleich zu den klassischen Dauermagnetwerkstoffen bieten die SAMARIUM-KOBALT-Magnete die hohe Flussdichte der AlNiCo-Magnete, verbunden mit einer sehr hohen Koerzitivfeldstärke. Sie lassen sich deshalb ohne weiteres auch in entmagnetisierenden Feldern einsetzen, ohne an Magnetkraft zu verlieren. Ein typisches Beispiel ist die Verwendung als abstossender statt anziehender Dauermagnet.

SAMARIUM-KOBALT-Magnete sind mechanisch hart und spröde. Für ihre Bearbeitung müssen diamantbestückte Werkzeuge eingesetzt werden.

#### Metallurgische Zusammensetzung

|           |  |
|-----------|--|
| SmCo5     | ca. 35% Samarium, 65% Kobalt   |
| SmCo 2:17 | 25% Samarium, 50% Kobalt<br>wenige Prozent Zirkon und Kupfer,<br>Rest Eisen (FE) |

#### Eigenschaften (typisch) von SmCo 2:17

|                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| Spezifisches Gewicht:          | 8.4 g/cm <sup>3</sup>     |
| Druckfestigkeit:               | 300 N/mm <sup>2</sup>     |
| Biegefestigkeit:               | 70 N/mm <sup>2</sup>      |
| Vickershärte:                  | 5'000 N/mm <sup>2</sup>   |
| Elastizitätsmodul:             | 155'000 N/mm <sup>2</sup> |
| Wärmeausdehnungszahl:          | 5.6 ppm/°C                |
| Spezifischer Widerstand:       | 0.6 $\mu\Omega\text{m}$   |
| Wärmeleitfähigkeit:            | 12 W/m°C                  |
| Max. Gebrauchstemp.:           | 300 °C                    |
| Temperatur-Koeffizient von Br: | 0.04 %/°C                 |
| Aufmagnetisierfeldstärke H:    |                           |
| SmCo5                          | > 2500 kA/m               |
| SmCo 2:17                      | > 4000 kA/m               |

Magnetisier-Winkelfehler: 5°  
Bei optimaler Dimensions-Konfiguration auf 2° produzierbar (nach Rücksprache)



## Ferrit-Magnete (HF)

FERRIT-Magnete zeichnen sich durch hohe Widerstandskraft gegen entmagnetisierende Einflüsse aus. Die Kraftliniendichte ist kleiner als bei AlNiCo-Magneten. Die magnetische Stabilität bei Erwärmung ist wesentlich schlechter, weshalb die max. Arbeitstemperatur höchstens 200°C beträgt. FERRIT-Magnete sind hart und spröde und lassen sich nur schleifen.

### Eigenschaften (typisch)

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Spezifisches Gewicht:          | 4.6 ... 5.1 g/cm <sup>3</sup> |
| Zugfestigkeit:                 | 50 N/mm <sup>2</sup>          |
| Druckfestigkeit:               | 700 N/mm <sup>2</sup>         |
| Härte Mohs:                    | 6 ... 7                       |
| Wärmeausdehnungszahl:          | 8.5 ppm/°C                    |
| Spezifischer Widerstand:       | 10 <sup>6</sup> Ωm            |
| Max. Gebrauchstemp:            | 250 °C                        |
| Temperatur-Koeffizient von Br: | 0.2 %/°C                      |

### Chemische Zusammensetzung

6Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·BaO

## AlNiCo-Magnete

AlNiCo-Magnete zeichnen sich durch grosse Kraftliniendichte aus. Die gute mechanische Stabilität bei Erwärmung erlaubt deren Verwendung bei Arbeitstemperaturen von bis zu 500°C. Das makrokristalline Gefüge ist verantwortlich für die Härte der AlNiCo-Magnete.

### Beachten Sie bitte folgende Punkte:

- AlNiCo-Magnete können weder gesägt, gebrochen, noch gedreht werden; einzige Bearbeitungsmöglichkeit ist das Schleifen.
- AlNiCo-Magnete sind empfindlich gegen magnetische Einflüsse und unsachgemässes Manipulieren.
- AlNiCo-Magnete dürfen nur an den Polflächen mit Eisen oder anderen Magneten in Berührung gebracht werden. (Bei Magnetberührung ungleichnamige Pole aufeinander).

- Niemals gleichnamige Pole aufeinander pressen.
- Polschlussplatten oder sich gegenseitig kurzschliessende Magnete nicht voneinander abschieben, sondern brechen.
- AlNiCo-Magnete erlauben Arbeitstemperaturen bis 500°C.
- Bei rot lackierten Typen ist die Farbe bis max. 120°C beständig.
- Die Magnetkraft von AlNiCo-Magneten wird nur schwächer, wenn eine magnetische Schädigung vorausgegangen ist. Geschädigte Magnete können durch Aufmagnetisieren ihre ursprüngliche Kraft zurückgewinnen.

### Eigenschaften (typisch)

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| Zugfestigkeit:   | wegen Neigung zu     |
| Druckfestigkeit: | inneren Rissen nicht |
|                  | angegeben            |

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Spezifisches Gewicht :         | 6.9 ... 7.3 g/cm <sup>3</sup> |
| Wärmeausdehnungs-Koeffizient:  | 11 ... 14 ppm/°C              |
| Wärmeleitfähigkeit:            | ähnlich wie Stahl             |
| Curie-Temperatur:              | 700 ... 850 °C                |
| Max. Gebrauchstemp:            | 450 ... 500 °C                |
| Temperatur-Koeffizient von Br: | 0.02 %/°C                     |

### Chemische Zusammensetzung

|    |             |
|----|-------------|
| Al | 07 ... 12 % |
| Ni | 14 ... 20 % |
| Co | 16 ... 40 % |
| Cu | 3 ... 4 %   |
| Ti | 0 ... 10 %  |
| Nb | 0 ... 10 %  |
| Fe | Rest        |

Die AlNiCo-Legierungen sind weniger rost anfällig als normaler Stahl, jedoch nicht rost- und säurebeständig. Gegen stark alkalische Lösungen sind die AlNiCo-Legierungen wegen ihres hohen Aluminiumgehaltes unbeständig. Als Rostschutz bieten sich folgende Möglichkeiten an: Einbrennlackieren, Brünieren, galvanische Veredlung (nur bei unmagnetisierten Magneten möglich).



## Plastoferrit-Magnete (PF)

Durch Vermischen von pulverisiertem Ferrit mit künstlichem Gummi wurde das Problem der Zerbrechlichkeit der FERRIT-Magnete überwunden. PLASTOFERRIT-Magnete lassen sich als Folien und Profile herstellen. Sie sind flexibel und lassen sich mit Schere und Messer bearbeiten. Die magnetischen Eigenschaften sind jenen der FERRIT-Magnete ähnlich. Doch sind deren magnetische Werte ungefähr um zwei Drittel kleiner. Die maximale Gebrauchstemperatur beträgt ca. 80°C.

Das Magnetmaterial ist auch mit einer Selbstklebeschicht verfügbar. Bei extrudierten Plasto-Ferrit-Profilen ist eine Ausrüstung mit Selbstklebebeschichtung nicht zu empfehlen. Die klebetechnisch schwierige Oberfläche gewährleistet keine optimale Haftung.

Bei Magnetplatten und Folien sind die aufgetragenen Klebmassen für praktisch alle Anwendungen optimal. Die endgültigen Klebeeigenschaften sind mittels Versuchen zu prüfen.

### Allgemein-Toleranzen für Magnetfolien-Zuschnitte

|           |                   |            |
|-----------|-------------------|------------|
| Dimension | > 6 ... 30 mm     | = ± 0.5 mm |
|           | > 30 ... 120 mm   | = ± 0.8 mm |
|           | > 120 ... 315 mm  | = ± 1.2 mm |
|           | > 315 ... 1000 mm | = ± 2.0 mm |

=> kleinere Toleranzen auf Anfrage

## Neodymium-Eisen-Bor Magnete (NdFeB) kunststoffgebunden (MQ1)

Ein spezielles Verfahren erlaubt die Herstellung von Flocken aus NdFeB und deren Pressung mit Duroplasten in einfache Formen. Dank Kunststoffbindung lässt sich dieses Magnetmaterial mit allen herkömmlichen Werkzeugen bearbeiten. Das Energieprodukt ist trotzdem noch das Dreifache eines Standard FERRIT-Magnet. Durch die hohe Koerzitivfeldstärke und die darum hohe Beständigkeit gegen magnetische Gegenfelder eignen sich NdFeB-Magnete kunststoffgebunden als Ersatz für AlNiCo.

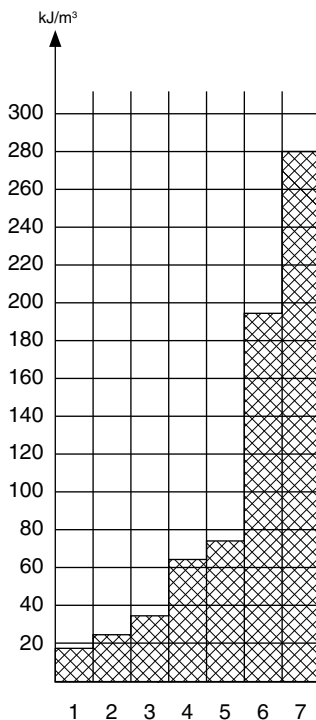
### Eigenschaften (typisch)

|                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| Spezifisches Gewicht:          | 6.0 g/cm <sup>3</sup> |
| Spezifischer Widerstand:       | 180 Ωm                |
| Max Gebrauchstemp.:            | 120 °C                |
| Bindemittel:                   | Epoxyharz             |
| Temperatur-Koeffizient von Br: | 0.04 %/°C             |



## Vergleich der Energieprodukte (BxH) max. einiger Magnetwerkstoffe

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1 Kunststoffgebundenes Hartferrit, anisotrop | 18 kJ/m <sup>3</sup>  |
| 2 Hartferrit, gesintert, anisotrop           | 25 kJ/m <sup>3</sup>  |
| 3 AlNiCo 45/5                                | 36 kJ/m <sup>3</sup>  |
| 4 Kunststoffgebundenes SmCo                  | 64 kJ/m <sup>3</sup>  |
| 5 Kunststoffgebundenes NdFeB (MQ1)           | 75 kJ/m <sup>3</sup>  |
| 6 Samarium-Cobalt (SmCo)                     | 195 kJ/m <sup>3</sup> |
| 7 Neodymium-Eisen-Bor                        | 280 kJ/m <sup>3</sup> |



## Haftkraft- Angaben

Die im Katalog aufgeführten Haftkräfte sind Richtwerte bei Raumtemperatur 20°C. Sie gelten für den senkrechten Abzug des Magneten von einer polierten Stahlplatte (ST37) mit einer Stärke von 10mm

## Korrosionsverhalten Seltenerd- magnete

Seltenerdmetalle zählen zu den metallischen Werkstoffen und weisen deren entsprechende Eigenschaften auf. So oxidieren die Magnete unter anderem in feuchter Atmosphäre. Durch das Zulegieren von edleren Elementen wie z.B. Kobalt kann die Reaktion mit Wasser nahezu unterdrückt werden. Deshalb bekommen SmCo-Magnete auch unter hoher Luftfeuchtigkeit lediglich eine geringe Oberflächenoxidation.

Gesinterte NdFeB-Magnete weisen in der Gefügestruktur neben dem gebundenem auch freies Neodym auf. Wie fast alle Seltenerdmetalle ist diese in freier Form extrem korrosionsanfällig und bildet spontan Neodymoxid oder -hydroxid. NdFeB-Magnete werden bereits bei der Einwirkung von Luftfeuchtigkeit, Betauung oder Handschweiss angegriffen und reagieren auch durch Salze und Säuren extrem stark korrodierend. Hier lässt sich durch eine entsprechende Beschichtung eine höhere Beständigkeit erreichen.

Bei den neusten Generationen der Neodymmagnete haben die Materialien N45 und N48 das beste Korrosionsverhalten gezeigt. Allerdings wird auch hier eine Beschichtung empfohlen.

## Kleben von Seltenerdmetallen

Viele Magnete werden bei der Weiterverarbeitung klebtechnisch fixiert. Beim Kleben sind neben den Materialeigenschaften auch Beanspruchungsformen und äusserliche Beeinflussungen zu beachten. Aus diesem Grund empfehlen wir Ihnen, sich von Ihrem Kleberlieferanten beraten zu lassen.

Unsere Erfahrung hat gezeigt, dass speziell beim Neodymmagneten säurehaltige Klebstoffe nicht eingesetzt werden dürfen. Diese Kleber können an der Grenzfläche zu einer raschen Zersetzungsreaktion des Magnetwerkstoffes führen. Wobei dieser Prozess auch bei beschichteten Magneten auftreten kann und durch Feuchtigkeit zusätzlich verstärkt wird.



## Unterschiede zwischen Haft- und Zugmagneten

Haftmagnete haben die Aufgabe, Gegenstände zu halten, welche an sie angelegt werden. Sie brauchen also keine grosse Tiefenwirkung zu haben. Zugmagnete dagegen müssen Gegenstände aus einer gewissen Distanz anziehen, und dies setzt eine entsprechende Tiefenwirkung voraus.

Gute Haftkraft wird am besten mit nahe beieinanderliegenden Polen erreicht. Zugmagnete dagegen verlangen weit auseinanderliegende Pole. Daraus kann gefolgert werden, dass die Distanz zwischen den beiden Polen ungefähr der verlangten Tiefenwirkung des Magneten entsprechen sollte. Je grösser die Tiefenwirkung des Magneten, desto grösser der Abstand zwischen den Polen.

Es ist wichtig zu wissen, dass die magnetische Anziehungskraft nicht allein vom Magnet abhängig ist. Ebenso wichtig ist der anzuziehende Gegenstand und dessen Dicke.

## Stabilität gegen Fremdfelder

Auf dieselbe Weise wie jeder Magnet mit einem genügend starken, der Magnetisierung entgegengesetzten Feld entmagnetisiert werden kann, schwächt jedes entmagnetisierende Feld einen Magnet bis zu einem gewissen Punkt. Die Leistung eines frisch aufmagnetisierten Magneten wird das erste Mal einer entmagnetisierenden Kraft ausgesetzt, wenn er aus der Magnetisiervorrichtung herausgenommen wird. Das Einfügen eines Luftspaltes in einen magnetischen Kreis ist einer entmagnetisierenden Kraft gleichzusetzen. Die Induktion fällt dabei auf einen tieferen Wert, und der Magnet ist damit gleichzeitig auf diesem Wert stabilisiert. Dies ist der Zustand von aufmagnetisiert gelieferten Magneten, welcher so bleibt, bis eine stärkere entmagnetisierende Kraft sie weiter schwächt, und diese auf einem entsprechend tieferen Niveau wieder stabilisiert und so fort.

Eine einfache Methode, um die Entmagnetisierung von Magneten zu verhindern oder sie zu stabilisieren, ist folglich, die vollmagnetisierten Magnete einem etwas stärkeren Gegenfeld auszusetzen, als demjenigen, dem sie später im Betrieb ausgesetzt sein werden.

## System-Magnete

SYSTEM-Magnete bestehen aus Magnetmaterial und Eisenleitstücken. Die Verwendung von Eisenleitstücken hat viele Vorteile, deren Wichtigkeit nachstehend aufgeführt ist:

1. Eisen lässt eine höhere Kraftliniendichte zu als Dauermagnetwerkstoff. Dies äussert sich z.B. in höherer Hubkraft.
2. Eisen lässt sich im Gegensatz zu FERRIT- und AlNiCo-Magneten leicht bearbeiten.
3. Die Kraftlinien lassen sich in Eisen umlenken und konzentrieren.
4. Magnetwerkstoffe lassen sich besser ausnützen.
5. Magnetkonstruktionen werden einfacher und billiger.

Die magnetischen Eigenschaften und die max. Gebrauchstemperaturen der SYSTEM-Magnete richten sich nach den verwendeten Werkstoffen.

## Toleranzen

Sehr oft werden bei allen Abmessungen Toleranzen angegeben, gleichgültig, ob diese erforderlich sind oder nicht. Dies rührt vermutlich daher, dass einfach die bei den übrigen Werkstücken üblichen Toleranzen übernommen werden.

Es ist falsch, aus Prinzip für alle Abmessungen von Dauermagneten Toleranzen anzugeben. Es ist richtig, vorzuschreiben «wie gegossen» oder «wie gesintert», wo dies erlaubt werden kann. Die Kontrolle kostet immer Geld, auch dann, wenn zum Einhalten der Toleranzen die Magnete nicht geschliffen werden müssen.

Bei der Eingangskontrolle vieler Verbraucher werden nur die Masshaltigkeit und die Oberflächenqualität geprüft. Die wichtigste Kontrolle aber, das Prüfen der magnetischen Leistung, wird unterlassen. Magnete mit Fehlern in der Oberfläche und kleinen Rissen werden zurückgewiesen, weil fälschlich angenommen wird, dass dies die magnetische Leistung vermindert.

Fehler in der Oberfläche und kleinere Risse haben keinen Einfluss auf die magnetische Leistung. Das Akzeptieren von solchen Fehlern reduziert den Ausschuss und damit den Preis.

Übersicht –  
Alle Kapitel



## Magnetdimensionierung mit Hilfe der Entmagnetisierungskurven

Magnete können nicht wie andere Konstruktionsteile beliebig konstruiert oder festgelegt werden. Die Dimensionierung von Polfläche zu Länge in Magnetisierungsrichtung muss den verlangten magnetischen Werten entsprechen.

Die höchste magnetische Energie ist dann vorhanden, wenn das Produkt von Remanenz  $B$  und der Koerzitivfeldstärke  $H$  ein Maximum erreicht. Das ist der Fall, wenn sich unter der Entmagnetisierungskennlinie von  $B$  zu  $H$  das grösstmögliche Rechteck bildet (siehe Bild).

Das nachstehende Diagramm hat am Rand eine Skala für das Verhältnis von der Länge zum Durchmesser eines Magneten ( $L/D$ -Verhältnis).

Bei einer Magnetscheibe von  $\varnothing 10$  mm x 5 mm Dicke ist das  $L/D$ -Verhältnis  $5:10 = 0.5$ . Zieht man von der 0.5 Marke eine Linie zum Nullpunkt, so ist der Schnittpunkt auf der Kennlinie des entsprechenden Magnetwerkstoffes der Arbeitspunkt ( $B \times H$ ) dieser Magnetscheibe.

Verbindet man diesen gefundenen Arbeitspunkt waagrecht mit der  $B$ -Achse und senkrecht mit der  $H$ -Achse, kann man die Remanenz und die Koerzitivfeldstärke ablesen.

Haben  $B$  und  $H$  die grösstmöglichen Werte, liegt der Arbeitspunkt im ( $B \times H$ ) max.-Wert.

Bei einem «offenen» Magnet, der ohne Eisenrückschluss oder Eisenpole verwendet wird, sollte die Dimensionierung so gewählt werden, dass der Arbeitspunkt in der Nähe des ( $B \times H$ ) max.-wertes liegt.

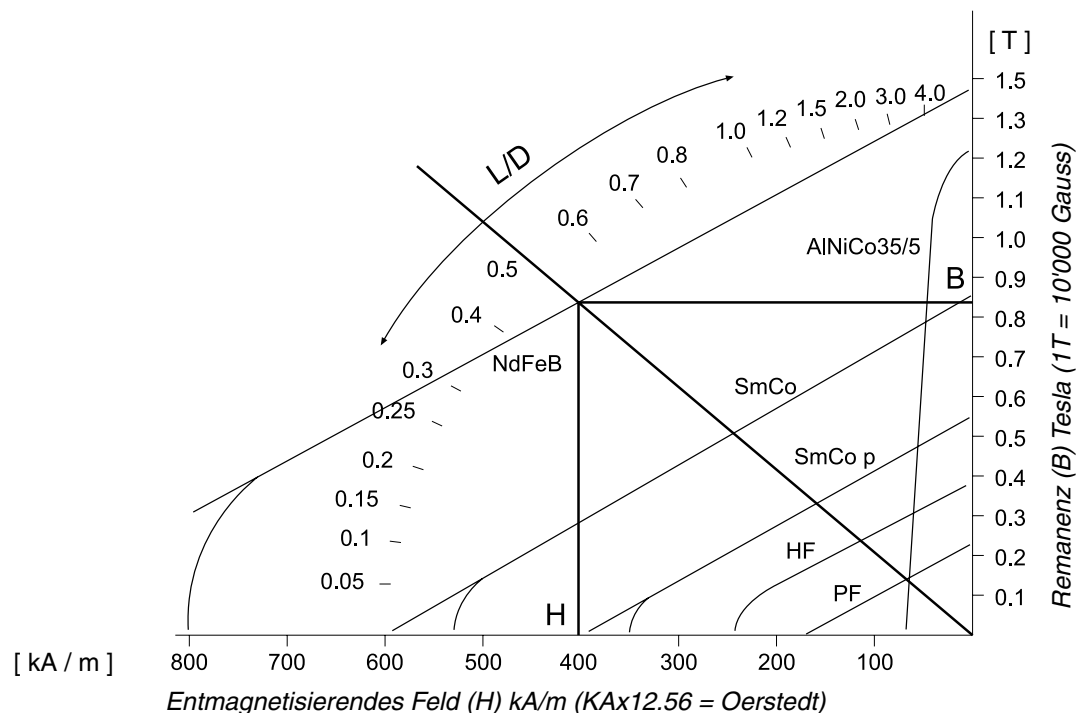
Bei quadratischen oder nahezu quadratischen Magnetpolflächen kann die Polfläche nach der Formel umgerechnet werden.

$$D = \sqrt{\frac{a \times b \times 4}{\pi}}$$

oder

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$$

Die nachstehenden Kurven für die verschiedenen Magnetwerkstoffe sind vereinfacht und ohne Temperaturcharakteristik dargestellt. Eine Temperaturänderung bewirkt eine Verschiebung des Arbeitspunktes auf der Kennlinie. Solange der Arbeitspunkt im linearen Bereich der Entmagnetisierungskennlinie bleibt, ändert sich die Induktion reversibel, d.h. nach Abkühlung kehrt der ursprüngliche Wert zurück. Andernfalls ist die Änderung der Induktion irreversibel und kann nur durch erneutes Aufmagnetisieren rückgängig gemacht werden.



Übersicht –  
Alle Kapitel