

## Elektroantrieben bremsen

Oft ist es nötig Elektromotoren so schnell wie möglich abzubremsen. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten die Gegenstrom-, die Netz-, die Widerstands-, die Gleichstrombremsung und Bremsmotoren.

**Gegenstrombremsung.** Bei ihr wird der Motor umgeschaltet, so dass er sich anders herum dreht. Damit der Motor sich aber wirklich nicht anders herum dreht, wird ein Drehzahlwächter eingebaut, welcher bei der Drehzahl Null abschaltet. Kommt aber kaum vor, da zu ungenau.

**Nutzbremsung.** Bei ihr wird der Motor als Generator benutzt und die elektrische Energie ins Energieversorgungsnetz zurückführt. Kommt bei polumschaltbaren Motoren vor, wenn die Drehzahl von einer höheren auf eine niedrige Drehzahl umgeschaltet wird. Kommt auch vor bei Umrichterspeisung, wenn gezielt die u/f-Kennlinie nach Null gefahren wird.

Die **Widerstandsbremsung** wird bei Gleichstrom- oder auch bei Servomotoren angewendet. Der Motor wird als Generator betrieben und seine Energie über Widerstände in Wärme umgewandelt.

Die **Gleichstrombremsung** wird angewendet bei Drehstrom-Asynchronmotoren. Bei ihr wird eine Gleichspannung an die Ständerwicklung angeschlossen.

Bei **Bremsmotoren** wird innen eine mechanische Bremse eingebaut.

### 1. Elektrische Bremsung durch die Motorwicklung (ohne Anbauten)

Bei der mechanischen Bremsung elektrischer Antriebe entstehen keine Verluste in den Wicklungen. Elektrisch wird gebremst mit Gegenstrom bei Asynchronmotoren oder mit Gleichstromerregung ohne mechanischen Verschleiß aber mit elektrischen Verlusten.

#### 1.1 Gegenstrombremsung

Das gebräuchlichste und einfachste elektrische Bremsverfahren für Drehstrommotoren ist die *Gegenstrombremsung*. Es erfordert keinen allzu kostspieligen oder umfangreichen Schaltungsaufwand. Bei laufendem Motor wird durch Vertauschen zweier Zuleitungen der Umlaufsinn des Drehfeldes geändert. Durch diese Maßnahme wird ein starkes Bremsmoment entwickelt. Der Motor bremst auf Stillstand ab und läuft dann in anderer Drehrichtung wieder hoch. Somit kann die Gegenstrombremsung nur als Teil einer Drehzahlreversierung verstanden werden. Um auf Stillstand abzubremsen, dazu ist die Gegenstrombremsung untauglich.

Nachteilig sind bei der Gegenstrombremsung die große Leistungsaufnahme und die hohen Motorströme.

#### 1.2 Gleichstrombremsung

Zur Abbremsung des Motors wird ein Bremsgleichstrom, der durch die Motorwicklung fließt, verwendet. Dieser Bremsgleichstrom erzeugt im Stator ein räumlich stillstehendes Magnetfeld. Der Läufer versucht dem Feld im Stator zu folgen. Dadurch entsteht ein drehzahlabhängiges Bremsmoment, das zum Stillstand des Motors führt. Das Bremsmoment ist auch abhängig vom Quadrat des Motorstromes. Die Höhe des Motorstromes sollte den doppelten Bemessungsstrom nicht überschreiten. Die Gleichstrombremsung bietet die Möglichkeit, durch Veränderung des Motorstromes das Bremsmo-

ment und die Bremszeit einzustellen. Die Bremswirkung endet bei Stillstand des Läufers und der Motor kann nicht in entgegengesetztem Drehsinn anlaufen. Ein Drehzahlwächter ist deshalb nicht erforderlich. Eine Haltebremsung ist mit diesem Bremsverfahren nicht möglich.

## 2. Elektrische Bremsung mit Anbauten

### 2.1 Die Wirbelstrombremse

Wirbelstrombremsen arbeiten reibungslos und sind somit verschleißfrei.

Die Bremswirkung lässt sich durch Variation der Feldstärke eines äußeren Magnetfeldes steuern. Der Aufbau einfacher Wirbelstrombremsen ähnelt denen der Scheibenbremsen. Die Magnetpole eines Elektromagneten umschließen berührungslos die zu bremsende Scheibe.

#### Funktion

Wird ein elektrisch leitfähiges Material (meist Metall) durch ein Magnetfeld bewegt, so werden in dem Material elektrische Wirbelströme induziert. Diese Wirbelströme erzeugen ihrerseits ein Magnetfeld, das dem erzeugenden Feld entgegenwirkt. Das Objekt wird dadurch abgebremst. Der Vorgang wird in der Physik durch die Lenzsche Regel beschrieben.

Durch den elektrischen Widerstand des Bremsobjekts entsteht durch den induzierten elektrischen Strom auch Wärme, die das Bremsobjekt erwärmt. Die anfallende (Wärme-) Energie wird aus der Bewegungsenergie entnommen.

Die Stärke der Bremswirkung ist von mehreren Parametern abhängig:

- Leitfähigkeit: Eine Kupferscheibe wird stärker als eine Stahlscheibe gebremst, da die induzierten Ströme wegen der geringeren elektrischen Leitfähigkeit von Stahl kleiner sind.
- Richtung und Stärke des Magnetfeldes: Die größte Bremswirkung wird erzielt, wenn das Magnetfeld die bewegliche Scheibe senkrecht durchsetzt. Wird das Magnetfeld elektrisch erzeugt, kann das Bremsmoment stufenlos eingestellt werden.
- Oberfläche der Scheibe: Wenn die Oberfläche sehr klein wird, reduziert dies die Bremswirkung. Scheiben mit kammförmigen Nuten verlieren ihre Bremswirkung, da sich die ringförmigen Wirbelströme nicht mehr ausbilden können.
- Geschwindigkeit: Eine besondere Eigenschaft ist die Abhängigkeit der Bremswirkung von der Relativgeschwindigkeit zwischen Feld und leitender Scheibe. Bremst man eine rotierende Scheibe durch ein statisches Magnetfeld, so wird die Scheibe immer langsamer, kommt aber theoretisch nie zum Stillstand, die Wirbelstrombremse eignet sich daher nicht als Feststellbremse.

**Bei Wirbelstrombremsen nimmt das Bremsmoment linear mit der Drehzahl zu. Das Bremsmoment kann über den Erregerstrom eingestellt werden. Wirbelstrombremsen bremsen gleichmäßig, d.h. ohne überlagerte Drehmomente**

#### Anwendungen

##### Schienenfahrzeuge

Die Wirbelstrombremse ist eine Neuentwicklung für die InterCityExpress|ICE-3-Züge, die ebenso wie bei der Magnetschienenbremse Elektromagnete benutzt. Im Gegensatz zu ersteren wird hier das Magnetfeld längs und nicht quer zur Schiene erzeugt. Der eiserne Kern des Elektromagneten setzt nicht auf, sondern wird durch Anbindung an die Radsatzlager etwa 7 mm oberhalb der Schienenoberkante gehalten. Durch das bewegte Magnetfeld werden Wirbelströme und entgegengerichtete Magnetfelder in der Schiene erzeugt, die auf den Fahrzeug-Elektromagneten eine der Bewegung entgegengesetzte Kraft ausüben. Problematisch ist dabei der Skineneffekt der durch die hohen Frequenzen den Wirbelstrom an die Außenränder des Schienenquerschnitts zwingt. Das soll in der Entwicklungs-

zeit zum Ausglühen der Schienenoberfläche geführt haben. Bei der Wirbelstrombremse wird die abzuführende Bremsenergie in den Schienen in Wärme umgewandelt.

### Fitnessgeräte

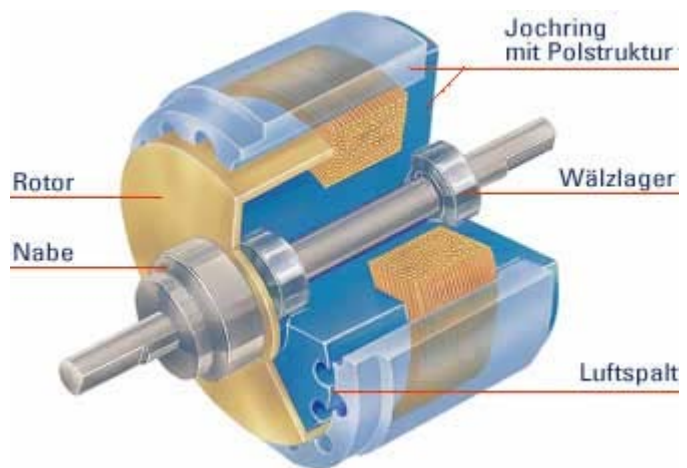
Die Wirbelstrombremse im Fitnessbereich: Bei Trainingsgeräten, speziell bei hochwertigen Ergometern erfolgt die Laststeuerung durch elektrisch stellbare Wirbelstrombremsen. Durch Einsatz von Mikroprozessoren lassen sich diese Bremsen vielfältig nach den verschiedensten Parametern regeln.

### Nutzfahrzeuge

Der Vorteil der verschleisslosen Dauerbremse wird auch im Nutzfahrzeugbereich ausgenutzt. So werden viele Fahrzeuge (Bus und LKW), bereits ab Werk oder auch nachträglich mit solchen Dauerbremsen ausgestattet. Hersteller gibt es einige: Voith, Telma, Knorr. Als Alternative zur Wirbelstrombremse werden oft auch Retarder eingebaut, welche nach dem hydraulischen Prinzip arbeiten.

## 2.2 Hysteresebremse

Hysteresebremsen erzeugen ihr Drehmoment ausschließlich über den Luftspalt zwischen Läufer und Ständer. Dadurch ergeben sich Betriebseigenschaften, wie sanftes Drehmoment, höhere Lebensdauer, hervorragende Drehmoment- Wiederholgenauigkeit, ausgezeichnete Regelbarkeit und kürzere Unterhalts- und Stillstandzeiten. Hysteresebremsen werden deshalb bevorzugt für präzise Zugregelungen bei der Produktion von verschiedensten Materialien, Geweben, Kabeln und Seilen eingesetzt.



### Arbeitsweise

Die Arbeitsweise fremderregter Hysteresebremsen beruht auf magnetischer Kraftwirkung sich anziehender Pole und ständiger Ummagnetisierung eines dauermagnetischen "Hysterese materials".

### Einstellbares Drehmoment

Das übertragbare Drehmoment ist vom Strom in der Erregerspule abhängig und ist bis zum jeweiligen Maximalwert stufenlos einstellbar. Das Moment ist über den Bemessungsdrehzahl nahezu konstant.

### Lebensdauer

Längere Lebensdauererwartung: Hysteresebremsen erzeugen ein Drehmoment stets über einen Luftspalt. Dies unterscheidet sie absolut von Reibbelagbremsen und Magnetpulvereinheiten. Es gibt aus dem oben genannten Grund also keinen Verschleiß und auch keine Dichtungsprobleme. Hysteresebremsen haben deshalb eine um ein Vielfaches höhere Lebenserwartung.

### Drehmoment-Wiederholgenauigkeit

Sehr gute Drehmoment-Wiederholgenauigkeit: Da das Drehmoment magnetisch ohne Berührung von Materialien erzeugt wird, ermöglichen Hysteresebremsen eine hohe Drehmoment Wiederholgenauigkeit. Reibbelagbremsen und Magnetpulverbremser sind normalerweise einem mehr oder minder hohen Verschleiß unterworfen, mit der Folge, dass Wiederholgenauigkeit verloren geht.

## Sanftlauf

Da bei Hysteresebremsen keine mechanische Reibung und auch kein Magnetpulver beteiligt sind, arbeiten diese Einheiten besonders sanft, ganz gleich wie hoch die anteilige Schlupfdrehzahl ist. Dies wird bei den meisten Anwendungen wie Zugregelung in der Verpackungsindustrie oder bei Kraftübertragungen in der Antriebstechnik als Vorteil angesehen.

## 2.3 Magnetpulverbremse

### Aufbau und Funktion

Die Magnetpulverbremse und -kupplung ist im Aufbau einfach und erzielt bei geringem Platzbedarf ein hohes Drehmoment. Die Einheit ist aus zwei unabhängig voneinander gelagerten Rotoren zusammengesetzt. Der äußere Rotor enthält eine Ringspule, welche zur Betätigung mit Gleichstrom gespeist wird. Im Luftspalt zwischen den Rotoren befindet sich ein magnetisiertes Pulver. Durch Bestromung der Spule formieren sich auf Grund der Magnetisierung die Pulverkörner zu einer Art Kette, wobei die Steifigkeit dieser Kette mit dem magnetischen Feld variiert und direkt proportional der Höhe des angelegten Stroms ist. Auf diese Weise entsteht eine mehr oder minder starke Bremshaftung zwischen den beiden Rotoren, die ein stromproportionales Übertragungsmoment erzielen.

### Vorteile

- + geräuschlose Betätigung
- + Drehmoment direkt dem Erregerstrom proportional
- + Drehmoment unabhängig von Drehzahlen (ab 30 /min)
- + robuster Aufbau, für Dauerschlupf geeignet
- + hoher Drehmomentregelbereich von ca. 1:50

### Anwendungen

Ein- und Auskuppeln, Bremsen, Drehmomentregelung, -begrenzung  
Zugspannungsregelung beim Auf- und Abwickeln, gezieltes Bremsen  
und Ingangsetzen von Trägheitsmomenten und Massen.

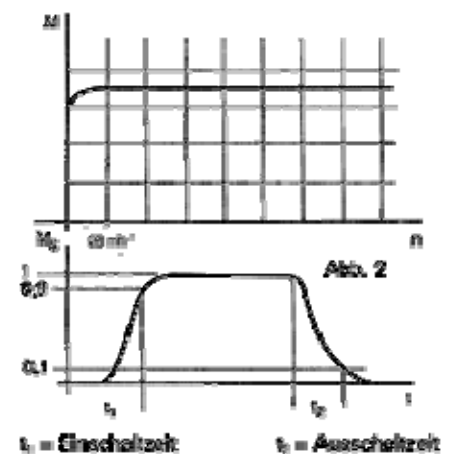
### Schaltzeiten

Die Schaltzeiten für Magnetpulvereinheiten sind von der Anordnung der elektrischen Versorgung abhängig, so ergibt sich beim Schalten auf der Gleichstromseite eine kürzere Schaltzeit als beim Schalten auf der Wechselstromseite. Die Schaltzeit ist außerdem abhängig von den dahinter befindlichen in Reihe geschalteten Widerständen.

Vorteile einer Magnetpulverbremse sind neben dem einfachen und kompakten Aufbau ein stufenlos einstellbares Drehmoment und ein hohes von der Schlupfdrehzahl unabhängiges Drehmoment bei geringer Steuerleistung.

## 3. Mechanische Bremsen

Bremsmotoren, mit mechanisch wirkenden Bremsen zu einer baulichen Einheit zusammengefasst, haben gegenüber den mit elektrischen Bremsverfahren abgebremsten Motoren den Vorzug, dass sie durch den Bremsvorgang thermisch nicht zusätzlich beansprucht werden. Sie weisen daher eine wesentlich höhere Schalthäufigkeit auf. Weiterhin sind sie durch die Arbeitsbereitschaft der Bremse bei Spannungsabfall und durch das über den gesamten Bremsbereich gleich bleibende Bremsmoment im Vorteil.



Es lassen sich drei Gruppen der Bremsmotoren unterscheiden: Verschiebeankeromotor, Motoren mit angebauter Bremse in Ruhestromschaltung und Motoren mit angebauter Bremse in Arbeitsstromschaltung

Als Anbaubremsen finden mit Gleichstrom und Wechselstrom erregte Magnetbremsen Verwendung, die als Kegel-, Backen-, oder Lamellenbremse ausgebildet sind.

#### 4. Abbremsen des Antriebs bei elektronischer Speisung

Ein elektronisch gespeister Motor kann gebremst werden durch folgende Maßnahmen:

- **Austrudeln.** Der Elektromotor bekommt keine Spannung mehr. Der Motorstrom geht auf Null. Die Last bestimmt wie schnell der Antrieb abbremsst.
- **Gleichstrombremsung.** Wird bei Asynchronmotoren angewendet. Der Motor wird sicher auf Stillstand abgebremst.
- **Widerstandsbremung.** Der Motor wird von der Elektronik getrennt und an einen externen Widerstand geschaltet. Die induzierte Spannung des Motors erzeugt einen Bremsstrom und führt zur Abbremsung des Antriebs. Die Methode ist möglich bei Gleichstrommotoren und permanenterregten Servomotoren. Reine Verlustbremsung (Wärme).
- **Generatorbremsung.** Statt eines Widerstandes wird eine Umrichterspannung so eingestellt, dass der Motorstrom bremsend wirkt. Anwendung bei Gleichstrommotoren. Bei Asynchronmotoren kann man durch Ändern der Frequenz generatorisch bremsen. Im unten stehenden Bild ergeben die rote Motorkennlinie und die grüne Lastkennlinie einen stabilen Arbeitspunkt. Verringert man die Drehfeldfrequenz, so ergibt sich die blaue Kennlinie. Last und Motor haben zwar wieder einen gemeinsamen Schnittpunkt aber bei einer anderen Drehzahl. Verringert man aber die Frequenz relativ schnell, so dass die Last nicht folgen kann, so ergibt sich ein bremsendes Drehmoment (blaue gestrichelt Linie). Nun wird die Last generatorisch abgebremst. Wenn nun die Lastdrehzahl sinkt, muss die Drehfeldfrequenz im gleichen Maße reduziert werden, damit die Bremswirkung erhalten bleibt.

