



INITIATIVE
EnergieEffizienz⁺
Industrie & Gewerbe

Infoblätter Fördertechnik: Elektrische Motoren und Antriebssysteme.

Einführung + Motoren + Stromrichter +
Energieeffizienz + Lebenszykluskosten.



Einführung in elektrische Motoren und Antriebssysteme.

Bei der Bewertung der Gesamtkosten von Anlagen und Produkten der Industrie über ihre Lebensdauer rücken ihre Energiekosten immer mehr in den Vordergrund. Elektrische Antriebe verursachen rund 65 Prozent des Stromverbrauchs in der Industrie. Der Elektromotor als Herz des Antriebs steht daher im Mittelpunkt vieler Bestrebungen zur Effizienzverbesserung in der Industrie und im Gewerbe. Elektrische Antriebe in der Fördertechnik stellen eine wichtige Stellschraube zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung dar. In größeren Förderanlagen und Logistik-Zentren sind meist Hunderte von Elektromotoren mit hoher Nutzungsdauer im Einsatz. In der Antriebstechnik gibt es vielfältige Ansätze zur Energieeinsparung.

Grundfunktionen elektrischer Antriebssysteme.

Förderprozesse unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Antriebe durch

- annähernd konstante Lastverhältnisse, oder
- überwiegend dynamische Belastungen, häufiges Beschleunigen, Drehrichtungswechsel und Bremsen.

Einfache Betriebsverhältnisse mit nahezu konstanter Belastung erlauben ungesteuerte Antriebe. Bei größeren Motorleistungen sind zumindest ein Anlasser, Motorschutz und eine einfache Ein-/Aussteuerung notwendig.

Ein Betrieb mit variabler Drehzahl erfordert einen gesteuerten Antrieb mit Hilfe eines Stellgliedes, z. B. einem drehzahlvariablen Getriebe oder Umrichter zur Einstellung der Motorfrequenz und Steuerung. Das Antriebssystem erfordert neben dem Elektromotor meist ein Getriebe, weitere mechanische und elektrische Komponenten sowie den Steuer- und Leistungsteil. Zu den elektrischen und elektromechanischen Komponenten zählen Steuer-, Regelungs- und Schutzfunktionen, Kommunikationsschnittstellen, Drehgeber und Sensoren.

Bei Förderaufgaben im Betrieb müssen meist Stoffmengen von Schüttgütern oder Stückgütern variiert werden. Werden dabei konventionelle Stellmethoden realisiert, kann das zu hohen Energieverlusten führen. Bei geregelten Antrieben kann die Drehzahl entsprechend der Antriebsaufgabe variiert werden. Statt konventioneller Technik können Motoren mit Umrichtern eingesetzt werden und dabei große Energieeinsparpotentiale erschließen. Umrichter sorgen dafür, dass Motoren in fördertechnischen Anlagen nur die Energie erhalten, die sie gerade für ihre Funktion benötigen. Damit wird die Verlustleistung reduziert und der Energieverbrauch minimiert. Unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung sollen Antriebsregelungen durch Stromrichter überall dort eingesetzt werden, wo die Last von der Drehzahl abhängt und eine bestimmte Mindest-Jahresbetriebsdauer erreicht wird. Bei Förderprozessen, in denen ungenutzt Bremsenergie verloren geht, kann die Rückspeisefunktion von Umrichtern die Energiebilanz weiter verbessern.

In der Fördertechnik sind komplexe Antriebe als Einzel- oder Gruppenantriebe mit übergeordneten Schutz- und Koordinationsfunktionen sowie rechnergeführter Optimierung eingesetzt. Bei einem Gruppenantrieb wird die mechanische Leistung eines Elektromotors über verschiedene Getriebe auf mehrere Förderkomponenten übertragen. Durch die Koordinationsfunktion kann z. B. ein Gleichlauf erzwungen werden. Die Wahl der geeigneten Antriebsarchitektur ist ein grundlegender Schritt der Optimierung und Effizienzverbesserung von Förderanlagen. Für eine bestmögliche Nutzung aller Energieeinspar- und Effizienzverbesserungspotentiale bietet sich die Optimierung des kompletten Antriebsstrangs und als deren Herz die Verwendung von wirkungsgradverbesserten und hocheffizienten Motoren an.

Motoren und Stromrichter für die Fördertechnik.

Abb. 1: Synchronmotor.

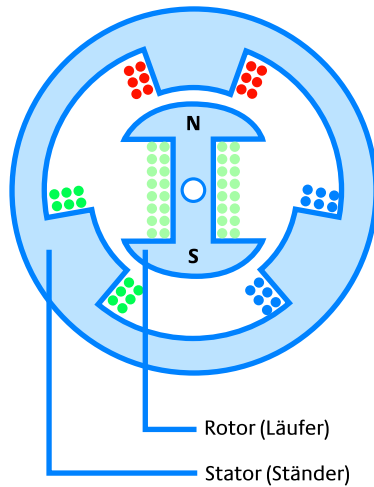
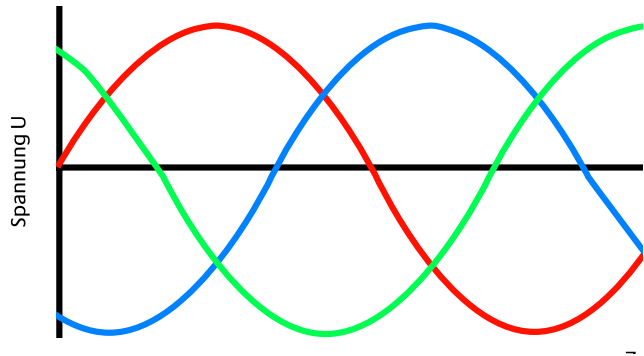


Abb. 2: Spannungsverlauf der drei Phasen beim Drehstrom.



Drehstrommotoren.

sind als Standardantrieb in der Industrie allgemein und speziell in der Fördertechnik am stärksten verbreitet. Durch ihre robuste Konstruktion sind sie nahezu wartungsfrei. Drehstrommotoren werden in ihrer Bauart nach Asynchron- und Synchronmotoren unterschieden. Frequenzumrichter können die Drehzahl kontinuierlich regeln. Das Entwicklungstempo der Leistungs- und Mikroelektronik für Frequenzumrichter und die Verbesserung des Preis-Leistungs-Verhältnisses dieser Komponenten erlaubten eine rasante Verbreitung geregelter Drehstromantriebe, auch für Anwendungen in der Fördertechnik.

Bei Synchronmotoren gibt das Stromnetz den Takt vor.

Das Funktionsprinzip von Synchronmotoren ist recht leicht verständlich und eignet sich daher am besten für eine Einführung in die Welt der Drehstrommotoren. Im einfachsten Fall besteht ein Synchronmotor aus einem drehbar gelagerten Permanentmagneten, dem „Rotor“ bzw. „Läufer“. Dieser sitzt in einem Käfig mit drei Kupferwicklungen, dem „Stator“. An diese Wicklungen wird je eine Phase des Stromnetzes angeschlossen. Aufgrund des phasenverschobenen, sinusförmigen Spannungsverlaufs der drei Phasen beim Drehstrom wird in den Statorwicklungen ein Magnetfeld erzeugt, dessen Ausrichtung (Nord- und Südpol) sich mit der Netzfrequenz im Stator dreht. Der magnetische Rotor folgt diesem Magnetfeld. Synchronmotoren drehen sich also mit der Netzfrequenz. Tatsächlich können sie auch nur in diesem Zustand ein Moment (Drehkraft) erzeugen. Kommt ein Synchronmotor aus dem Takt, z.B. weil er zu stark belastet wird, bricht das Drehmoment schlagartig zusammen. Aus diesem Grund benötigt er zum Anfahren eine Anlaufhilfe, z.B. einen Frequenzumrichter. Die Trägheit des Rotors wäre zu hoch, um ihn aus dem Stillstand auf Netzfrequenz zu beschleunigen. Die oben beschriebenen

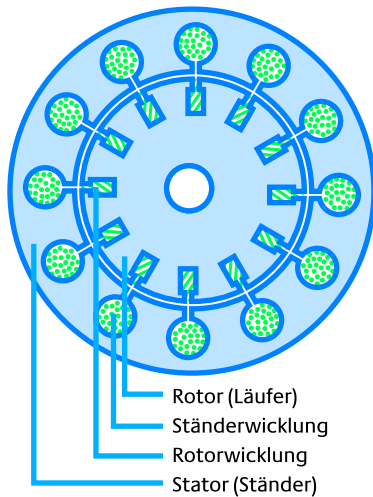
„permanentenerregten“ Motoren unterliegen einer wesentlichen Einschränkung. Permanentmagneten stehen zu vertretbaren Preisen nur für kleine Leistungen zur Verfügung. Dies führt dazu, dass in größeren Leistungsklassen überwiegend eine Variante ohne Permanentmagneten anzutreffen ist. Hier wird das Rotormagnetfeld elektrisch erregt, indem einer Wicklung auf dem Rotor über Schleifkontakte Gleichstrom zugeführt wird. Durch die Schleifringläufer sind diese Motoren jedoch weniger robust und auch immer noch relativ teuer.

Synchronmotoren: kompakt, gut regelbar und sehr effizient.

Synchronmotoren haben einige entscheidende Vorteile gegenüber anderen Motorbauarten. Sie haben einen sehr hohen elektrischen Wirkungsgrad, auch im Teillastbetrieb. Ihre Leistungsdichte, also das Verhältnis von Leistung zu Volumen, ist höher als bei anderen Motoren. In Verbindung mit Frequenzumrichtern ist eine präzise Regelung möglich. Die hohe Energieeffizienz hat ihren Preis: Synchronmotoren sind in der Anschaffung meist teurer als entsprechende Asynchronmotoren. In der Ausführung als Schleifringläufer sind sie auch etwas weniger robust. Dennoch macht sich in vielen Fällen die Mehrinvestition durch die Energiekosteneinsparung bald bezahlt.

Zurzeit haben Synchronmotoren in der Fördertechnik nur eine sehr geringe Verbreitung. Es ist jedoch anzunehmen, dass sich dies mit steigenden Energiepreisen und zugleich sinkenden Preisen für Frequenzumrichter ändern wird. Permanentenerregte Synchronmotoren können aufgrund ihres hohen elektrischen Wirkungsgrades bei geringen Instandhaltungskosten, deutliche Vorteile in Bezug auf ihre Lebenszykluskosten haben.

Abb. 3: **Asynchronmotor.**



Ein Asynchronmotor läuft der Netzfrequenz hinterher.

Auch der Asynchronmotor besteht aus einem Stator und einem Rotor (Läufer) mit Kupferwicklungen. Im Gegensatz zum Synchronmotor sind die Enden der Läuferwicklungen jedoch kurzgeschlossen und werden in den allermeisten Fällen nicht auf Schleifringe geführt. Durch das Wechselfeld im Stator wird im Läufer berührungslos ein Strom „induziert“ und damit ein Magnetfeld aufgebaut. Die Bezeichnung Asynchronmotor rührt daher, dass sich der Rotor nicht synchron mit dem Statormagnetfeld dreht, sondern etwas langsamer läuft. Man spricht von einem „Schlupf“. Dieser Schlupf hängt von der Last auf der Motorwelle ab. Je nachdem, wie die Statorwicklungen aufgebaut sind, spricht man von zwei-, vier-, sechs- oder mehrpoligen Motoren. Durch Veränderung der Größen Polpaarzahl, Frequenz und Schlupf wird die Nenndrehzahl bestimmt. Bei polumschaltbaren Motoren ergibt sich eine Halbierung der Drehzahl durch die Verdopplung der Polpaarzahl. Nachteilig sind dabei die großen Drehzahlsprünge. Es können immer nur ganze Polpaare, also geradzahlige Polzahlen auftreten. Die Synchrondrehzahl des Motors entspricht der Netzfrequenz geteilt durch die Polpaarzahl. Die Normdrehzahl wird durch die Polzahl und die Netzfrequenz bestimmt:

- bei 50 Hz und Polzahl 2: $n = 3.000$ Umdrehungen pro Minute
- bei Polzahl 4: $n = 1.500$ Umdrehungen pro Minute usw.

Zusammen mit dem Schlupf ergibt sich im Auslegungspunkt eine Nenndrehzahl von 2.900/min. Mit polumschaltbaren Motoren lassen sich verstellbare Drehzahlen respektive Leistungsstufen realisieren. Je nach Ausführung haben polumschaltbare Motoren in beiden Stufen das gleiche Drehmoment oder in der unteren Stufe ein geringeres Drehmoment. Andere Drehzahlen müssen durch Zwischenschaltung eines Getriebes erreicht werden. Das Anlaufverhalten kann durch verschiedene Maßnahmen z. B. an den Käfigstäben und Kurzschlussringen verändert werden. Der Einschaltstrom des Motors ist wesentlich höher als bei Nennbetrieb. Über eine Stern-Dreieck-Anlassschaltung kann der Anfahrstrom auf ein Drittel begrenzt werden, dabei wird das Anzugsmoment ebenfalls reduziert. Spezielle Anlaufsteuerungen erlauben ein sanftes und ruckfreies Hochfahren des Motors.

Asynchronmotoren sind preiswert und robust.

Asynchronmotoren lassen sich preiswert herstellen und sind – ohne Schleifringe – fast wartungsfrei. Ein Betrieb am Drehstromnetz ist meist ohne Anlaufhilfe möglich. Aufgrund dieser Vorteile sind die weit überwiegende Zahl der heute eingesetzten Drehstrommotoren Asynchronmaschinen. Diese weite Verbreitung sorgt dafür, dass der Anwender aus einem großen Angebot verschiedener Lieferanten auswählen kann. Um die Kompatibilität der angebotenen Motoren zu gewährleisten, wurden viele Eigenschaften in internationalen Normen festgelegt. Europaweit sind z.B. für Motoren bis 132 kW die Leistungsstufen und die zugehörigen Abmessungen in der EN 50347 festgelegt. Man spricht hier von „Normmotoren“. Es werden insbesondere die Achshöhe und die Wellenenden-Abmessungen genormt, so dass in diesem Leistungsbereich die Motoren problemlos gegen die eines anderen Herstellers ausgetauscht werden können.

Oberhalb von 132 kW beginnt der Bereich der „Transnormmotoren“. Hier werden die Abmessungen aus der IEC 60072 entnommen. Diese sind aber keinen Leistungsstufen zugeordnet, so dass bei diesen Maschinen teilweise nicht einmal die Baureihen des gleichen Herstellers problemlos austauschbar sind.

Beim **Asynchronmotor mit Käfigläufer** zeichnet sich der Motor durch ein ausgeprägtes Kippmoment aus. Bei Überschreitung dieser Belastung bleibt der Motor sofort stehen. Die Ständerwicklung wird an das Netz angeschlossen, Schleifringe entfallen völlig, so dass der Motor weitgehend ohne Funkenbildung läuft. Im Unterschied zu Kurzschluss- oder Käfigläufermotoren kann die Kennlinie des **Asynchron-Schleifringläufermotors** von außen durch Widerstände im Läuferkreis verändert werden. Die erforderlichen Schleifringe machen den Motor aufwändiger und verschleißanfälliger. Bei Asynchronmotoren bleibt die Drehzahl nicht exakt, sondern nur annähernd konstant.

Durch das Nachschalten von stufenlosen Getrieben (mechanisch oder hydraulisch) sind robuste und praktisch wartungsfreie Asynchron-Kurzschlussläufermotoren mit veränderbarer Drehzahl erhältlich.



Rollenbahn mit Drehstrom-Asynchronmotor und Frequenzumrichter.

EC-Motoren bestimmen ihren Takt selbst.

Elektronisch kommutierte oder EC-Motoren ergänzen die positiven Eigenschaften von Synchronmaschinen um die Fähigkeit, sich an die Last anzupassen. Sie sind wie Synchronmotoren aufgebaut, besitzen jedoch zusätzlich eine Leistungselektronik. Abhängig von der Rotorposition wird das Drehfeld so gesteuert, dass es dem Rotor stets vorausseilt. Der Drehstrom wird beim Erreichen einer bestimmten Rotorposition weitergeschaltet. Da der Rotor selbst das Drehfeld steuert, ist stets das volle Drehmoment verfügbar. Bei Überlastung nimmt die Drehzahl ab, das Drehmoment bricht nicht zusammen. EC-Motoren sind auch unter dem Namen „Brushless-DC Motor“ (BLDC) bekannt. Sie zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad - auch im Teillastbereich -, durch hohe Leistungsdichte und durch eine gute Regelbarkeit aus. Diesen Vorteilen im Betrieb stehen jedoch höhere Anschaffungskosten gegenüber. Zurzeit werden EC-Motoren im Leistungsbereich bis 2 kW eingesetzt.

Beim **Reluktanzmotor** enthält der Stator die Wicklungen als Magnetspulen. Der Rotor ist aus weichmagnetischem Material und weist ausgeprägte Pole auf. Er läuft wie ein Asynchronmotor an. Ist die Nähe der asynchronen Gleichgewichtsdrehzahl erreicht, überwiegt der Reluktanzeffekt. Ab diesem Betriebspunkt läuft der Rotor synchron mit dem Drehfeld im Stator. Nachteilig bei Drehfeld-Reluktanzmotoren ist der geringere Wirkungsgrad, der höhere Blindleistungsbedarf und die geringere Kraftdichte gegenüber Asynchronmotoren und Synchronmotoren. Vorteile bieten Reluktanzmotoren nur bei geringen Einschaltzeiten sowie durch den einfachen und robusten Aufbau ähnlich Drehstromasynchronmaschinen.

Gleichstrommotoren.

Klassische Regelantriebe waren in der Vergangenheit mit Gleichstrommotoren ausgerüstet. Sie lassen sich problemlos in der Drehzahl regeln und stellten lange Zeit den Hauptteil der drehzahlveränderlichen Antriebe dar. Da in vielen Industrieanlagen kein Gleichstrom verfügbar war, musste eine Kombination aus Drehstrommotor mit einem Gleichstromgenerator verwendet werden und dessen schlechter Wirkungsgrad in Kauf genommen werden (Leonard-Ward-Satz).

Diese Kombination wurde durch statische Stromrichter abgelöst. Mit hohem Wirkungsgrad kann Wechselstrom und Drehstrom in Gleichstrom umgeformt werden und damit Gleichstrommotoren versorgt werden.

Nachteil der Gleichstrommotoren: Das Drehmoment wird im Läufer durch ein über die verschiedenen Läuferwicklungen wandern des Magnetfeld erzeugt. Dazu ist ein Stromwender notwendig, auch Kommutator oder Kollektor genannt. Die wechselnde Stromübertragung auf die Läufer-Wicklungen erfolgt über ver-

schleissbehaftete Schleifkontakte und Bürsten. Der Kommutator erfordert einen höheren Preis gegenüber dem Käfigläufermotor und zudem höheren Wartungsbedarf. Weiterentwicklungen bei Gleichstrommotoren haben jedoch dazu geführt, dass ihre Lebensdauer und der Instandhaltungsaufwand den Drehstrommotoren fast gleichkommen.

Kleinmotoren.

Im Leistungsbereich von wenigen Watt bis einigen Kilowatt sind Kleinmotoren als Drehstrom-, Wechselstrom-, Universal- und Gleichstrommotoren weit verbreitet. Die weiteren Entwicklungen in der Miniaturisierung führten zu den Mikromotoren.

Getriebemotoren.

Motoren mit angeflanschem Getriebe sind die konstruktive Vereinigung von Elektromotoren mit Untersetzungsgetriebe. Gegenüber einer Trennung der Bauteile ergeben sich damit ein geringerer Platzbedarf und weniger Montageaufwand. Modulare Bauweisen erlauben eine beliebige Kombination von Motoren, Getriebe und elektromechanischen Zubehörteilen durch das Baukastenprinzip. In vielen Anwendungen der Fördertechnik sind hohe Drehmomente bei niedrigen Drehzahlen erforderlich, wozu sich Getriebemotoren eignen. Mit den Mikromotoren wurden auch Mikrogetriebemotoren für vielfältige Anwendungsbereiche entwickelt.

Spezielle „**Stillstandsmotoren**“ können bis zum Stillstand belastet werden und in diesem ein hohes Drehmoment z. B. zum Halten einer Last abgeben, ohne Schaden zu nehmen.

Motoren müssen in jedem Betriebszustand genügend gekühlt werden. Das ist bei eigenbelüfteten Motoren bei niedrigen Drehzahlen und besonders im Stillstand in der Regel nicht der Fall. Hier ist Fremdlüftung erforderlich.

Um Elektromotoren exakt stillsetzen zu können, werden sie mit integrierter oder angebaute Bremse ausgerüstet, als **Bremsmotoren** bezeichnet.

Hochwirkungsgrad-Motoren.

Der Wirkungsgrad eines Elektromotors lässt sich in erster Linie verbessern durch:

- Reduktion der Verluste in den Wicklungen. Dies kann durch Vergrößerung des Leiterquerschnitts oder durch geeignete Verbesserungen der Wickeltechnik erreicht werden
- Einsatz von Dynamoblech mit verbesserten magnetischen Eigenschaften
- Verbesserung der Luftführung im Motor
- Verkleinerung der Fertigungstoleranzen.

Motoren mit verbesserten Wirkungsgraden werden allgemein als Hochwirkungsgrad-Motoren (HEM) bezeichnet.

Servoantriebe.

Wechselstrom- und Gleichstrommotoren können – mit vorgeschaltetem Servoregler als Stromrichter – für Aufgaben der Positionierung und Automatisierung eingesetzt werden. Sie kommen als Präzisionsantriebe bei Förderaufgaben mit hoher Positioniergenauigkeit, großen Drehzahlstellbereichen sowie hoher Dynamik zum Einsatz.

Aktuatoren.

In der Fördertechnik und verwandten Prozessen der Handhabungstechnik werden Aktuatoren (auch Aktoren genannt) eingesetzt. Entsprechend der Aufgabenstellung werden sie verwandt in:

- Hydraulikzylindern
- Pneumatikzylindern
- Elektrozyklindern
- Elektromagneten
- Motorisierten linearen Führungen

Stromrichter.

Zur Drehzahl- und Momentenregelung von elektrischen Antrieben stehen für Wechsel- und Drehstromantriebe Frequenzumrichter, sowie Stromrichter für Gleichstromantriebe in einer Bandbreite von wenigen Watt bis mehreren Tausend Kilowatt zur Verfügung. Sie sorgen für eine bedarfsgerechte elektrische Energiezuführung durch verlustarmes Umformen, Steuern und Regeln. Leistungs- und Steuerelektronik kann durch Digitalisierung zunehmend fördertechnische und antriebsnahe Prozess- und Steuerungsauf-

gaben mit übernehmen. Über Bussysteme kann eine durchgängige Kommunikation auf der Prozessebene geschaffen werden. Die Modultechnik erlaubt Standardisierung und nutzerspezifische Anpassung an die jeweiligen Förderaufgaben. Stromrichter sind unter dem Aspekt der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) auszuwählen. Mit dem Vorteil der besseren elektromagnetischen Verträglichkeit und einfacheren Verkabelung werden zunehmend Motoren im unteren Leistungsbereich mit integrierten Stromrichtern angeboten.

Bauformen und Aufstellung elektrischer Maschinen.

Bauformen und Aufstellung elektrischer Maschinen sind in der DIN EN 60034-7 (VDE 0530 Teil 7) geregelt. Diese Norm beruht auf der IEC 60034-7. Zur Sicherstellung des bestimmungsgemäßen Gebrauchs muss die Bauform auf dem Leistungsschild der elektrische Maschine oder ihrer technischen Dokumentation angegeben werden.

Der Schutzgrad elektrischer Maschinen für Berührungs- und Wasserschutz lässt sich mit dem IP-Code definieren. Er ist gemäß der europäischen Norm EN 60529 aufgebaut.

Energieeffizienz von Motoren.

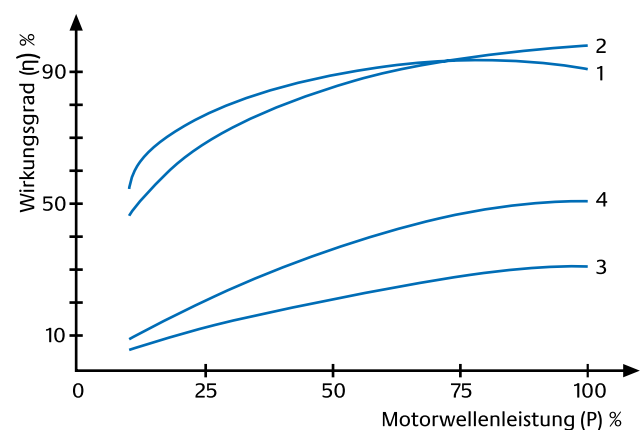
Aufgrund des starken Anteils elektrischer Antriebsprozesse am industriellen Stromverbrauch gibt es wirtschaftliche und politische Bestrebungen, den Einsatz energetisch optimierter Motoren zu forcieren. Mittels der optimalen Kombination von Elektromotoren und Steuerung will die Industrie erhebliche Beiträge zur Erfüllung der deutschen Selbstverpflichtung zur Reduzierung der CO₂-Emissionen leisten und diese im Bereich der Antriebstechnik aufzeigen. Der Einsatz von wirkungsgradverbesserten und hocheffizienten Elektromotoren sowie die Verwendung von Frequenzumrichtern zur elektronischen Drehzahlregelung kann den Stromverbrauch in der deutschen Industrie um ca. 8 Prozent reduzieren.

Wirkungsgrad von Elektromotoren.

Mit zunehmender Leistungsgröße von Motoren steigt ihr erzielbarer Wirkungsgrad. Zudem hat das gewählte Motorkonzept und die effektive Belastung Einfluss auf den Wirkungsgrad. Drehstrom-Synchronmotoren mit Permanentmagneten erzielen einen höheren Wirkungsgrad als Drehstrom-Käfigläufermotoren. Hier wird die Erregerleistung durch die eingebauten Magnete gedeckt und nicht dem Netz entnommen. Eine starke Überdimensionierung der Motoren kann hinsichtlich Lebensdauer und Betriebssicherheit Vorteile bringen, ist jedoch

aus energetischen Gründen nicht sinnvoll, wie sich im Wirkungsgradverlauf der abgegebenen Leistung zeigt:

Abb. 4: **Wirkungsgradverlauf eines 4-poligen Motors in Abhängigkeit der Motorwellenleistung P.**

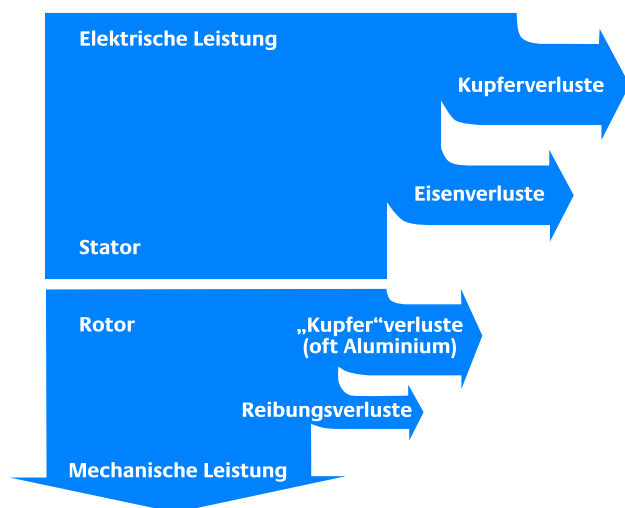


- 1) 3-Phasen-Normmotor, Normalausführung
- 2) 3-Phasen-Normmotor, High-Efficiency
- 3) Spaltpolmotor
- 4) Kollektormotor

Lebenszykluskosten elektrischer Antriebssysteme.

Die Auswahl des Förderantriebs sollte unter dem Gesichtspunkt erfolgen, welche Alternative über die Lebensdauer des Motors am wirtschaftlichsten ist. Zum Thema Lebenszykluskosten finden Sie detaillierte Informationen im Infoblatt „Lebenszykluskosten und Energieeffizienz“ unter www.industrie-energieeffizienz.de > Technologien > Fördertechnik. Bei Motoren haben die Anschaffungskosten einen eher geringen Einfluss auf die Lebenszykluskosten. Auch die Installationskosten unterscheiden sich kaum, solange es sich um Normmotoren handelt. Bei Transnormmotoren sollte darauf geachtet werden, dass die Anschlüsse von Motor und Förderkomponenten zusammenpassen. Die Folgekosten übertreffen die Anschaffungskosten eines Motors oft schon im ersten Jahr. Asynchronmotoren haben eine durchschnittliche Lebensdauer von 12 Jahren im Bereich unter 7,5 kW, von 16 Jahren im Bereich zwischen 7,5 und 75 kW und etwa 20 Jahren bei Leistungen größer als 75 kW. Angesichts dieser hohen Lebensdauer bestimmen die Wartungs- und vor allem die Energiekosten die Summe der Lebenszykluskosten. Durch hocheffiziente Motoren können die Energiekosten gesenkt werden.

Abb. 5: **Energieverluste von Motoren.**



Die Effizienzklasse ist entscheidend.

Der elektrische Wirkungsgrad eines Förderantriebs wird durch Energieverluste an verschiedenen Stellen bestimmt. Der Widerstand in den Kupferdrähten führt zu einer Erwärmung der Motorwicklung. Diese Wärmeenergie muss abgeführt werden

und kann nicht mehr für den Förderantrieb genutzt werden. Wenn bei der Kupferwicklung an Material gespart wird, sind die Verluste höher. Eisenverluste entstehen durch die periodische Ummagnetisierung des Stators (so genannte „Hystereseverluste“). Auch in der Rotorwicklung entsteht Wärme. Obwohl die Rotorwicklung oft aus Aluminium besteht, spricht man auch hier von Kupferverlusten. Reibungsverluste entstehen durch Lagerreibung. Hier kann auch die Energie für den Betrieb des Lüfters hinzugezählt werden.

Art, Nennleistung und Belastung der Motoren entscheiden über die Verluste von Elektromotoren im Dauerbetrieb. Mit steigender Nennleistung nehmen die relativen Verluste ab: Große Motoren haben wesentlich bessere Wirkungsgrade als kleine. Die Streuung der Wirkungsgrade von verschiedenen Motoren einer Leistungsklasse nimmt ebenfalls mit wachsender Leistung ab. Da viele Motoren aber hohe Betriebsstundenzahlen erreichen, ist jeder Prozentpunkt Wirkungsgrad bares Geld wert. Bei der Auswahl eines Motors sollte nicht allein dem Werbeversprechen des Herstellers Vertrauen geschenkt werden, sondern tatsächlich verglichen werden, wie hoch der angebotene Wirkungsgrad im Verhältnis zu dem bestmöglichen ist. Hierbei ist es wichtig zu wissen, dass die möglichen Wirkungsgrade von der Baugröße des Motors abhängen.

Eine Orientierung gibt die Klassifizierung nach der freiwilligen Vereinbarung zwischen der Europäischen Kommission und dem Komitee der Hersteller von elektrischen Maschinen und Leistungselektronik (CEMEP). Sie teilt Motoren im Leistungsbereich zwischen 1,1 kW und 90 kW in Effizienzklassen ein. Dabei wird nach Baugröße und Polzahl differenziert. Für Motoren, die mit hoher Auslastung laufen, bietet die Klasse „eff 1“ (Hocheffizienzmotoren) einen hohen Wirkungsgrad. Für Anwendungen mit geringeren Betriebsstundenzahlen reicht die Klasse „eff 2“ (im Wirkungsgrad verbesserte Motoren). Motoren der Klasse „eff 3“ entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik und sollten nicht mehr eingesetzt werden. Befindet sich im Katalog oder auf dem Typenschild keine Angabe, kann das ein Hinweis darauf sein, dass der Motor nach CEMEP-Nomenklatur in die Effizienzklasse eff 3 (herkömmliche Motoren) fällt. Künftig sollen alle 2- und 4-poligen Drehstrommotoren von 1 – 100 kW in Standardausführung in Abhängigkeit ihres Wirkungsgrades klassifiziert werden. Die Wirkungsgradklasse ist zukünftig auf den Typenschildern auszuweisen. Zusätzliche Angaben müssen in der Produktdokumentation aufgeführt werden. Die Wirkungsgradkennzeichnung erfolgt mittels geschützter Logos.

Im internationalen Vergleich sind die europäischen Anforderungen an die Energieeffizienz elektrischer Antriebe wenig ambitioniert. Im Gegensatz zu Europa gibt es in den USA und Kanada Mindestanforderungen für auf dem nordamerikanischen Markt eingesetzte Motoren. Diese wurden in den Vereinigten Staaten bereits 1997 mit dem Energy Policy Act (EPAAct) und in Kanada durch den Energy Efficiency Act verabschiedet. Auch im oberen Qualitätssegment sind die Nordamerikaner anspruchsvoller als die Europäer. Die Motoren der Klasse NEMA Premium Motor Efficiency Standard haben einen besseren Wirkungsgrad als die europäischen eff 1-Motoren.

Getriebe.

Viele Anwendungen in der Fördertechnik mit niedrigen Drehzahlen lassen sich auf einfache Weise umsetzen, wenn dem Elektromotor ein Getriebe nachgeschaltet wird. Dabei wirkt das Getriebe als Verstärker und liefert ein größeres Drehmoment. Würde bei bestimmten Förderaufgaben ein Frequenzumrichter anstelle eines Getriebes zur Drehzahlreduzierung eingesetzt, wäre ein deutlich größerer Motor notwendig. Dies ist wirtschaftlich wenig sinnvoll. Getriebe können in fester Form und als gestuftes oder stufenloses Verstellgetriebe ausgeführt sein.

Zu unterscheiden sind folgende Getriebearten:

- Stirnradgetriebe
- Kegelradgetriebe
- Schneckengetriebe

Innerhalb des Getriebes entstehen durch Reibung, Verzahnung und Abdichtung zwischen Motor und Getriebe Verluste, die den Wirkungsgrad beeinflussen. Stirnradgetriebe bieten durch form-schlüssige Kraftübertragung einen hohen Wirkungsgrad von ca. 95 – 96 Prozent. Schneckengetriebe weisen physikalisch bedingt einen deutlich schlechteren Wirkungsgrad im weiten Bereich von ca. 50 – 90 Prozent auf. Ihr Vorteil liegt in den maximalen Untersetzungen. Als weitere Variante bieten sich Kegelrad-

getriebe an, die einen wesentlich besseren Wirkungsgrad gegenüber Schneckengetrieben besitzen. Eine starre Kupplung zur Kraftübertragung auf die Arbeitswelle arbeitet praktisch verlustfrei. Fördertechnische Aufgaben verlangen jedoch häufig zusätzliche Untersetzungen der Drehzahl oder den Einsatz von Riemen und Ketten. Dabei sollten vorrangig Flach- und Zahnriemen oder Ketten verwendet werden. Keilriemen weisen einen etwas geringeren Wirkungsgrad auf. Die Nachteile von Wellenkupplungen lassen sich vermeiden, wenn das Getriebe mit dem Motor zu einer baulichen Einheit als Getriebemotor zusammengefasst wird. Getriebemotoren bieten durch die direkte Kupplung bei geringem Platzbedarf und Montageaufwand einen höheren Wirkungsgrad gegenüber getrennten Bauteilen.



Quelle: Wieland Electric GmbH

Praxis-Tipps:

- Betreiben Sie Motoren nur bei Bedarf.
- Passen Sie die Motorenleistung an die benötigten Leistungsanforderungen an.
- Achten Sie bei der Auswahl des Motors auf eine möglichst gute Effizienzklasse. Eine Orientierung bietet das CEMEP-Gütesiegel. Motoren mit dem Label eff 1 sind die effizientesten innerhalb dieser Klassifizierung.
- Ersetzen Sie ineffiziente Antriebe wie vorrangig Flach- und Zahnriemen oder Ketten.
- In Antriebsaufgaben mit periodischer Beschleunigung und Verzögerung liegen große Potenziale zur Energieeinsparung und Vermeidung von Verlusten durch Einsatz von Frequenzumformern. Diese können beim Hochlaufen die Frequenz kontinuierlich mit der Rotordrehzahl steigern. Beim Bremsen wird die kinetische Energie als elektrische Energie ins Netz zurückgespeist. Unter dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung sollten Antriebsregelungen durch Stromrichter überall dort eingesetzt werden, wo die Last von der Drehzahl abhängt und eine bestimmte Mindest-Jahresbetriebsdauer erreicht wird. Zusätzlich wird der Motor durch diese Funktion thermisch entlastet und damit seine Lebensdauer verlängert.

Die Angebote der Initiative EnergieEffizienz.

Die Fördertechnik ist eine in Industrie und Gewerbe weit verbreitete Technologie. Dabei bestehen in diesem Bereich erhebliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz: meist können in den Betrieben der Stromverbrauch – und damit die Kosten – um 5 bis 50 Prozent gesenkt werden. Die meisten Effizienzmaßnahmen sind mit Amortisationszeiten von weniger als zwei Jahren und hohen Kapitalrenditen von über 20 Prozent wirtschaftlich sehr attraktiv für die Unternehmen. Die *Initiative EnergieEffizienz* will mit diesen Faktenblättern einen Beitrag zur Erschließung dieser Potenziale leisten.

Neben der Fördertechnik bestehen auch in weiteren Bereichen oft große Effizienzpotenziale in Industrie- und Gewerbebetrieben aller Branchen. Daher bietet die *Initiative EnergieEffizienz* über das Thema Fördertechnik hinaus auch in weiteren Bereichen umfassende Informationen und praxisnahe Unterstützung für Unternehmen, die Strom effizienter nutzen und Kosten einsparen möchten. Das Angebot richtet sich insbesondere an kleine und mittlere Unternehmen. Näheres zu diesen Angeboten finden Sie im Internetportal www.industrie-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* steht für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren und ist eine in dieser Form einmalige Public-Private-Partnership: Mit zielgruppenspezifischen Kampagnen und Projekten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor über die Möglichkeiten des effizienten Stromeinsatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert.

Näheres zu den Angeboten in diesen Sektoren finden Sie unter www.initiative-energieeffizienz.de.

Die *Initiative EnergieEffizienz* wird getragen von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) sowie den Unternehmen der Energiewirtschaft – EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON AG, RWE AG und Vattenfall Europe AG und wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Eine Initiative von



Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Impressum:

Informationsblätter
Fördertechnik

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH
(dena)
Energieeffizienz im
Elektrizitätsbereich
Chausseestraße 128a, 10115 Berlin

Kontakt:

Tel: +49 (0)30 72 61 65- 600

Tel: +49 (0)30 72 61 65- 699

E-Mail: info@dena.de

Internet:

www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de

Autor:

Dipl.-Ing. Günther Volz

Abbildungen sofern nicht anders
gekennzeichnet:

Dipl.-Ing. Günther Volz