

Drehzahlgeregelte Antriebe



Inhalt

1	Einleitung	5
	Allgemeines	5
2	Prozesse und ihre Anforderungen	6
	Warum wird die Drehzahlregelung verwendet?	6
	Industriezweige, in denen die Drehzahlregelung verwendet wird	7
	Einflussgrößen in Prozess-Systemen	8
	Maschinen ändern Materialeigenschaften...	9
	Genau vorgegebene Form	9
	Unbestimmte Form	9
	...und Maschinen für den Materialtransport	10
	Feste Materialien	10
	Flüssigkeiten	10
	Gase	10
3	Das Arbeitspferd der Industrie: der Elektromotor	11
	Die meisten Maschinen werden von Elektro- motoren angetrieben	11
	Motoren wandeln elektrische Energie in mechanische Energie um	12
	Frequenzumrichter regeln elektromagnetische Induktion	13
	Die Effizienz des Antriebssystems	14
	Manchmal sind Drehrichtungsumkehr oder eine Änderung der Momentenrichtung erforderlich ..	15
	Die Last, die Reibung und das Trägheitsmoment bremsen die Drehung	16
	Der Motor muss das Lastmoment überwinden	17
	Antriebsmoment und Lastmoment sind bei Nenn- drehzahl gleich	18
4	Variable Mengen benötigen eine Regelung	19
	Veränderlicher Materialfluss und Eingangs-/ Ausgangsbedingungen	19
	Einfachere Regelungsverfahren	20
	Das beste Regelverfahren ist der drehzahlgeregelte Antrieb	21
	Mechanische, hydraulische und elektrische drehzahlgeregelte Antriebe	22
	Hydraulikkupplung	22
	DC-Antrieb	22
	AC-Antrieb	22
	Elektrische drehzahlgeregelte Antriebe haben den größten Marktanteil	23

	Wartungskosten	23
	Produktivität	23
	Energieersparnis	23
	Höhere Qualität	23
	Der Markt der AC-Antriebe wächst schnell	24
5	Der AC-Antrieb: das führende Regelverfahren	25
	Die Grundfunktionen eines AC-Antriebs	25
	Die Belastbarkeitskurven eines Motors mit AC-Antrieb	26
	Merkmale des AC-Antriebs für eine bessere Prozessregelung	27
	Drehrichtungsumkehr	28
	Drehmomentregelung	28
	Verhinderung mechanischer Schwinungen	28
	Netzausfallregelung	29
	Blockiert-Meldung	29
	Schlupfkompensation	30
	Fliegender Start	30
	Umwelteinflüsse	31
	EMV	31
6	Kostenvorteile der AC-Antriebe	34
	Technische Unterschiede zwischen anderen Systemen und AC-Antrieben	33
	Keine mechanischen Teile erforderlich	34
	Kostenfaktoren	35
	Investitionskosten: Mechanische und elektrische Komponenten	36
	Der Motor	36
	Der AC-Antrieb	36
	Installationskosten: Drosselregelung zum AC-Antrieb	37
	Betriebskosten: Wartung und Energie des Antiebs ..	38
	Gesamtkostenvergleich	39
7	Index	40

Kapitel 1 - Einleitung

Allgemeines

Mit diesem Band, in dem die verschiedenen drehzahlgeregelten Antriebe und ihre Verwendung in industriellen Prozessen beschrieben werden, setzt ABB die Reihe der Technischen Anleitungen fort. Die besondere Aufmerksamkeit gilt hier den AC-Antrieben.

Dieses Handbuch orientiert sich so nahe wie möglich an der Praxis. Spezielle Kenntnisse über drehzahlgeregelte Antriebe sind nicht erforderlich, obwohl technische Grundkenntnisse zum vollständigen Verständnis erforderlich sind.

Kapitel 2 - Prozesse und ihre Anforderungen



Warum wird die Drehzahlregelung verwendet?

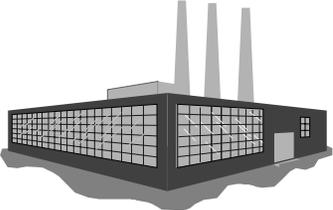
Um die Notwendigkeit der Drehzahlregelung zu erkennen, müssen wir zuerst die Anforderungen der verschiedenen Prozesse verstehen. Diese Prozesse können in zwei Hauptfunktionen unterteilt werden; Materialbehandlung und Materialtransport, obwohl es eine Vielzahl weiterer Unterteilungen dieser beiden Funktionen gibt.

Die Notwendigkeit der Prozessanpassung ist der gemeinsame Aspekt dieser beiden übergeordneten Funktionen. Dieses Ziel wird mit drehzahlgeregelten Antrieben erreicht. In diesem Kapitel werden die wesentlichen Prozesse in der Industrie und anderen Bereichen beschrieben, in denen drehzahlgeregelte Antriebe eingesetzt werden.

Hier einige Beispiele!

Industrie:

- Chemische Industrie
- Zellstoff-, Papier-, Druckindustrie
- Nahrungsmittel, Getränke
- Kraftwerke
- Bergbau
- Metallindustrie
- Werkstätten
- Kunststoffindustrie
- Textil



Nichtindustrieller Bereich:

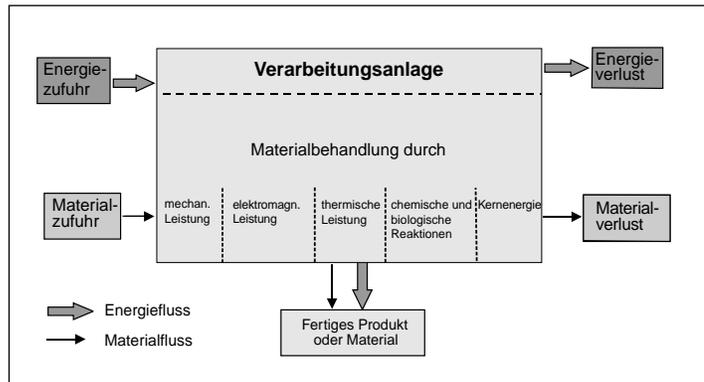
- HKL
- Wasserwirtschaft

***Industriezweige,
in denen die
Drehzahl-
regelung
eingesetzt
wird***

Es gibt eine Vielzahl industrieller Prozesse mit Drehzahlregelung. Die oben aufgelisteten Industriezweige stellen nur einige Beispiele dar. Allen gemeinsam ist die Notwendigkeit einer Prozessführung unter Einsatz der Drehzahlregelung.

Bei der Klimatisierung als Teil einer HKL-Einrichtung ändern sich die Bedingungen für den Luftstrom entsprechend der in dem Raum herrschenden Feuchtigkeit und Temperatur. Diese Bedingungen können durch entsprechende Einstellungen der Zuluft- und Abluftgebläse erfüllt werden.

Lüfter werden auch in Kraftwerken und in der chemischen Industrie eingesetzt. In beiden Fällen müssen die Lüfter auf den Hauptprozess abgestimmt werden. In Kraftwerken ist der Hauptprozess dem unterschiedlichen Leistungsbedarf zu den verschiedenen Zeiten im Jahr, der Woche oder am Tag anzupassen. Der Einsatz der drehzahlgeregelten Antriebe hängt vom jeweiligen Prozess ab.



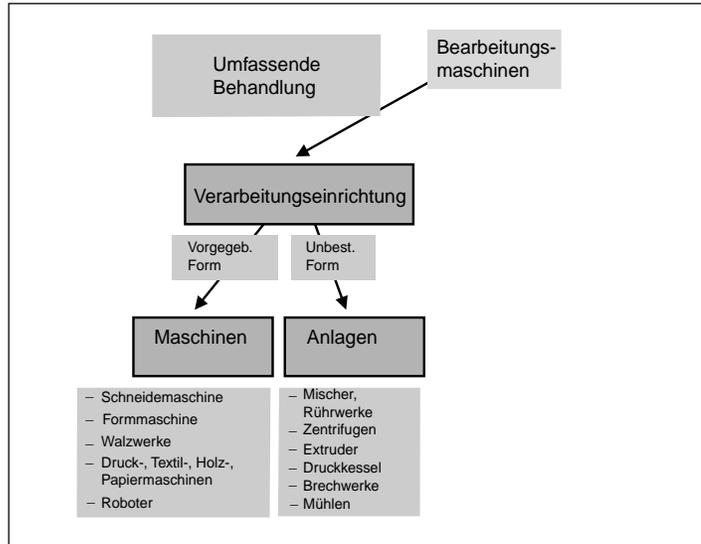
Einflussgrößen in Prozess- Systemen

In dieser Abbildung sind die Größen dargestellt, die ein Prozess-System beeinflussen. Diese Größen können in Energie- und Materialgrößen unterteilt werden. Im Prozess-System selbst werden Material oder Energie durch mechanische, elektromagnetische, thermische Leistung, chemische und biologische Reaktionen oder sogar durch Kernenergie verarbeitet.

Damit ein Prozess durchgeführt werden kann, müssen Material und Energie zugeführt werden. Das Produkt oder der Endzustand des Materials sind das Ergebnis des Prozesses. In jedem Prozess jedoch entsteht auch Abfall in Form von Energie und/oder Material.

Im Arbeitsprozess wird die mechanische Leistung der einzelnen, am Prozess beteiligten Maschinen über VSD-Antriebe geregelt.

Auch bei der Materialbearbeitung können drehzahlgeregelte Antriebe eingesetzt werden. Ein gutes Beispiel hierfür sind Trocknungsanlagen, in denen die Temperatur der warmen Luft konstant sein muss. Der Prozess wird durch die Verstellung der Drehzahl der Heissluftgebläse mittels drehzahlgeregelter Antriebe geregelt.



**Maschinen
ändern
Material-
eigenschaften ...**

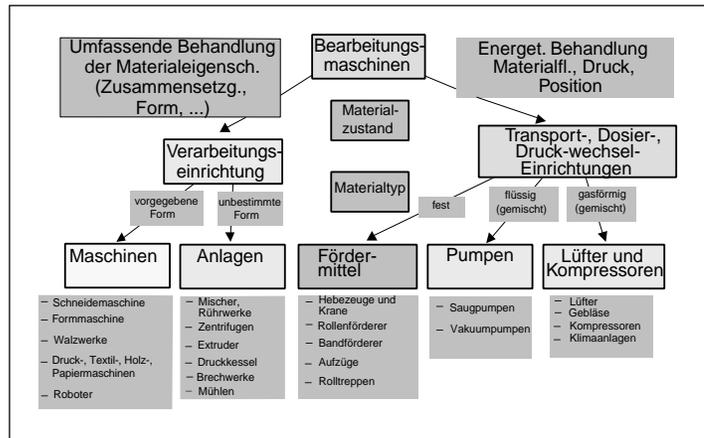
**Genau
vorgegebene
Form**

Wie bereits erwähnt, können die Prozesse von Arbeitsmaschinen in zwei Kategorien unterteilt werden. Die erste Kategorie ist die Materialbearbeitung, die mit verschiedenen Bearbeitungsmaschinen erfolgt, um die Eigenschaften des Materials zu verändern.

Die Verarbeitungsgeräte können nach der Form des Materials in zwei Bearbeitungsgruppen unterteilt werden. Die Form kann entweder genau festgelegt oder unbestimmt sein. Materialien mit einer festgelegten Form, wie Papier, Metall und Holz werden maschinell verarbeitet. Beispiele sind Papiermaschinen, Walzstrassen und Sägelinien.

**Unbestimmte
Form**

Materialien in unbestimmter Form (Schüttgut) wie Lebensmittel, Kunststoffe usw. werden in Anlagen verarbeitet. Beispiele für solche Anlagen sind Margarinerührwerke, sowie verschiedene Zentrifugen und Extruder.



...und Maschinen für den Material- transport

Die zweite Kategorie bilden die Maschinen zum Transport des Materials an den gewünschten Ort. Diese Gruppe besteht aus Förder-, Dosier und Druckänderungseinrichtungen. Diese Maschinen können nach Art des zu verarbeitenden Materials - feste Materialien, Flüssigkeit, Gas - in drei Untergruppen unterteilt werden.

Feste Materialien

Feststoffe, wie Frachtcontainer, Metall, Holz, Mineralien und auch Personen werden mit Fördereinrichtungen transportiert. Derartige Einrichtungen sind Krane, Förderer und Aufzüge.

Flüssigkeiten

Flüssigkeiten z.B Wasser, Öl oder flüssige Chemikalien werden mit Pumpen transportiert.

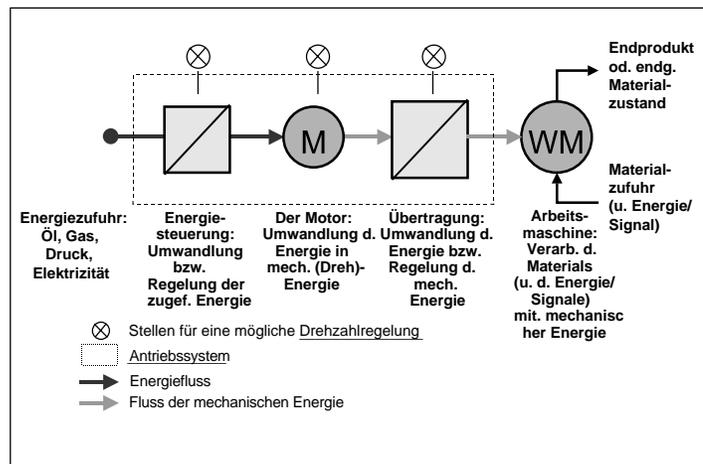
Gase

Gase, wie Luft, werden mit Lüftern, Kompressoren oder Gebläsen transportiert. Die Klimatisierung stellt eine Sonderanwendung dieser Maschinen dar.

In der Abbildung oben werden fünf verschiedene Typen von Maschinen dargestellt. Diese Maschinen geben dem Material entweder eine andere Form oder transportieren es. Alle diese Maschinen können mit drehzahlgeregelten Antrieben verwendet werden.

Kapitel 3 - Das Arbeitspferd der Industrie: der Elektromotor

Alle zuvor bereits erwähnten Maschinen werden von Elektromotoren angetrieben. Man kann sagen, dass der Elektromotor das Arbeitspferd der Industrie ist. In diesem Kapitel werden die Elektromotoren - besonders der Drehstromkäfigläufermotor - näher betrachtet. Dieser Motor ist der am häufigsten in der Industrie verwendete Motor.

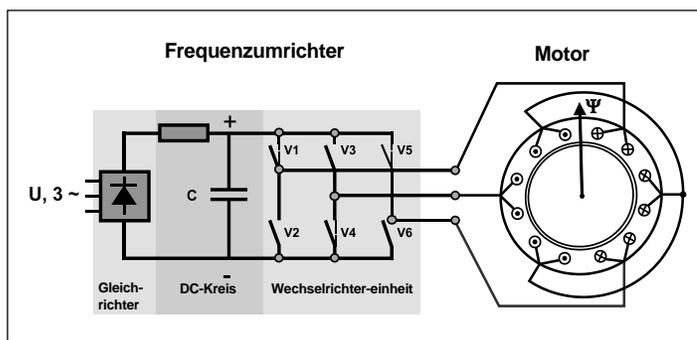


Die meisten Maschinen werden von Elektromotoren angetrieben

Jede Maschine besteht, wie oben dargestellt, aus vier Komponenten. Diese Komponenten sind Energieregulation, Motor, Kraftübertragung und Arbeitsmaschine. Die drei ersten bilden zusammen das sogenannte "Antriebssystem". Mit dem Antriebssystem kann Energie, normalerweise elektrische Energie, in mechanische Energie umgewandelt werden, die dann von der Arbeitsmaschine verwendet wird. Das Antriebssystem wird über die Einspeisung mit Energie versorgt.

Die Drehzahlregelung kann z.B. durch einen Frequenzumrichter als Energie-Regelungskomponente, einen Motor mit zwei Drehzahlen als Motorkomponente und einem Getriebe als Übertragungskomponente realisiert werden.

Wie bereits erwähnt, werden die meisten Maschinen von Elektromotoren angetrieben. Elektromotoren können in AC- und DC-Motoren unterteilt werden. AC-Motoren, insbesondere Käfigläufermotoren, sind die in der Industrie am weitesten verbreiteten Motoren.



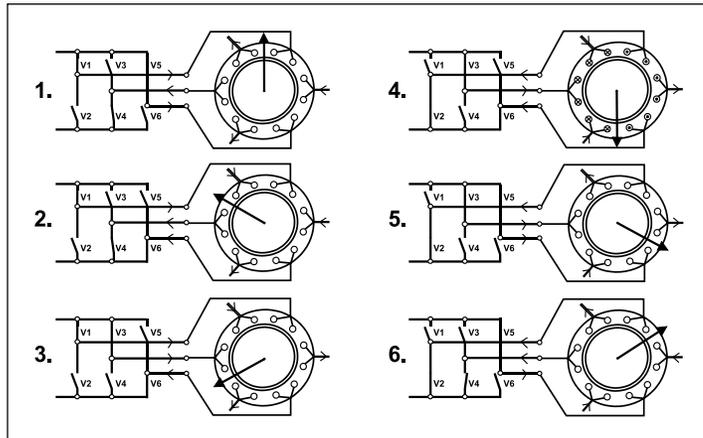
Motoren wandeln elektrische Energie in mechanische Energie um

Die Fähigkeit des AC-Motors, elektrische Energie in mechanische Energie umzuwandeln, basiert auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion. Die Spannung in den Statorwicklungen bildet den Strom und den Magnetfluss. Die Richtung dieses Flusses kann mit der Korkenzieherregel aus dem Statorstrom bestimmt werden.

Durch Änderung der Spannungsrichtung in der Statorwicklung, kann auch die Flussrichtung geändert werden. durch Änderung der Spannungsrichtung in der Wicklung des Drehstrommotors in der richtigen Reihenfolge bewirkt der Magnetfluss die Motorrotation. Der Rotor des Motors folgt dann diesem Fluss mit einem bestimmten Schlupf. Dies ist das Grundprinzip, das bei der Regelung der AC-Motoren verwendet wird.

Diese Regelung kann mit Hilfe eines Frequenzumrichters realisiert werden. Wie der Name schon sagt, ändert ein Frequenzumrichter die Frequenz und die Spannung des Stroms. Ein Frequenzumrichter besteht aus drei Teilen. Ein 3-phasiger Strom mit 50Hz wird in den Gleichrichterteil eingespeist, wo er in einen Gleichstrom umgewandelt wird. Die DC-Spannung wird in den DC-Zwischenkreis eingespeist, in dem die pulsierende Spannung gefiltert wird. Der Wechselrichter verbindet dann in einer definierten Reihenfolge die einzelnen Motorphasen entweder mit der negativen oder der positiven DC-Sammelschiene.

Um die in der Abbildung dargestellte Flussrichtung zu erhalten, müssen die Schalter V1, V4 und V5 geschlossen sein. Damit der Fluss links herum dreht, muss der Schalter V6 geschlossen und der Schalter V5 geöffnet sein. Wenn der Schalter V5 nicht geöffnet ist, entsteht ein Kurzschluss. Der Fluss hat sich um 60° nach links gedreht.



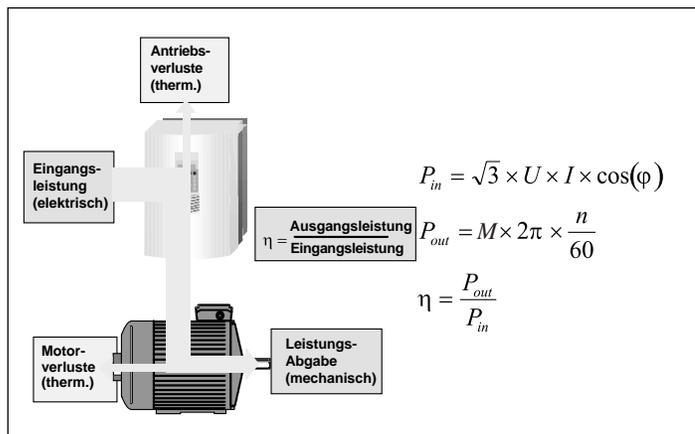
**Frequenz-
umrichter
regeln elektro-
magnetische
Induktion**

Im Wechselrichter gibt es acht verschiedene Schalterstellungen. In zwei Stellungen ist die Spannung Null, d.h. alle Phasen sind entweder negativ oder positiv an dieselbe DC-Sammelschiene angeschlossen. Somit liegt bei den übrigen sechs Schalterstellungen Spannung in der Motorwicklung an, die den Magnetfluss erzeugt.

In der Abbildung sind diese sechs Schalterstellungen und die Richtungen des Magnetflusses dargestellt, die die Spannung in der Wicklung erzeugen. Spannung erzeugt auch Strom in der Wicklung, die Stromrichtung wird für jede Phase mit Pfeilen angegeben.

In der Praxis ist die Regelung natürlich nicht so einfach, wie hier dargestellt. Der Magnetfluss erzeugt Ströme im Rotor. Diese Rotorströme machen die Sache komplizierter. Externe Einflüsse wie die Temperatur oder Laständerungen können ebenfalls zu Problemen bei der Regelung führen. Mit der heutigen Technik und dem heutigen Wissen kann diesen Schwierigkeiten wirksam begegnet werden.

Elektrische drehzahlgeregelte Antriebe bieten auch noch weitere Vorteile, wie Energieersparnis, da der Motor nicht mehr elektrische Energie verbraucht als notwendig. Außerdem ist die Regelung besser als mit herkömmlichen Methoden, da elektrische drehzahlgeregelte Antriebe auch die Möglichkeit der stufenlosen Regelung besitzen.



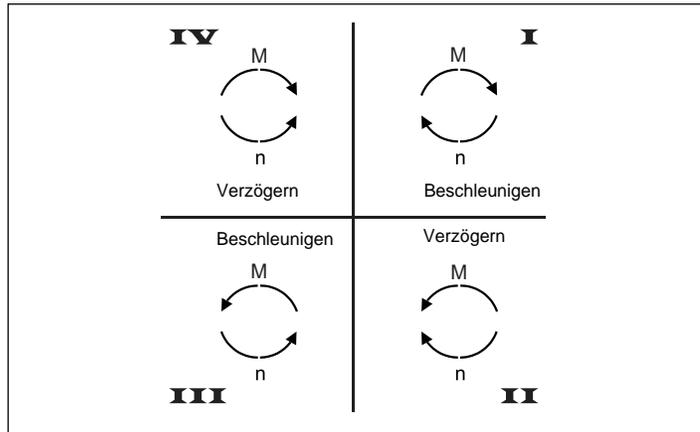
Die Effizienz des Antriebssystems

Der Gesamtwirkungsgrad des Antriebssystems hängt von den Verlusten im Motor und seiner Regelung ab. Sowohl die Verluste des Antriebs als auch des Motors sind thermisch, das heißt, sie treten in Form von Wärme auf. Die Eingangsleistung des Antriebssystems ist elektrisch, während die Ausgangsleistung mechanisch ist. Deshalb sind für die Berechnung des Wirkungsgrades (η) sowohl Kenntnisse in Elektrotechnik als auch Maschinenbau notwendig.

Die elektrische Eingangsleistung P_{in} hängt von der Spannung (U), dem Strom (I) und der Leistungsfaktor ab ($\cos\varphi$). Der Leistungsfaktor sagt aus, welcher Anteil der gesamten elektrischen Leistung die Wirkleistung ist. Für die Erzeugung der erforderlichen mechanischen Leistung ist die Wirkleistung maßgebend. Die Blindleistung wird zur Erzeugung der Magnetisierung im Motor benötigt.

Die mechanische Ausgangsleistung P_{out} hängt von dem Produkt aus erforderlichem Drehmoment (M) und der Drehzahl (n) ab. Je höher die erforderliche Drehzahl oder das erforderliche Drehmoment ist, desto höher muss die Leistung sein. Dies wirkt sich direkt auf die Leistungsaufnahme des Antriebssystems aus. Wie bereits erwähnt, regelt der Frequenzumrichter die Spannung, die in den Motor eingespeist wird und bestimmt auf diese Weise direkt den Leistungsverbrauch des Motors und des geregelten Prozesses.

Die elektrische Schaltung mit Transistoren ist sehr wirkungsvoll, so dass sich ein sehr hoher Wirkungsgrad des Frequenzumrichters von 0,97 bis 0,99 ergibt. Der Wirkungsgrad des Motors liegt üblicherweise zwischen 0,82 und 0,97 je nach Motorgröße und Nenndrehzahl. Man kann sagen, dass der Gesamtwirkungsgrad im Nennarbeitspunkt des Antriebssystems bei einer Regelung mit Frequenzumrichtern immer über 0,8 liegt.



Manchmal sind Drehrichtungs-umkehr oder eine Änderung der Momenten-richtung erforderlich

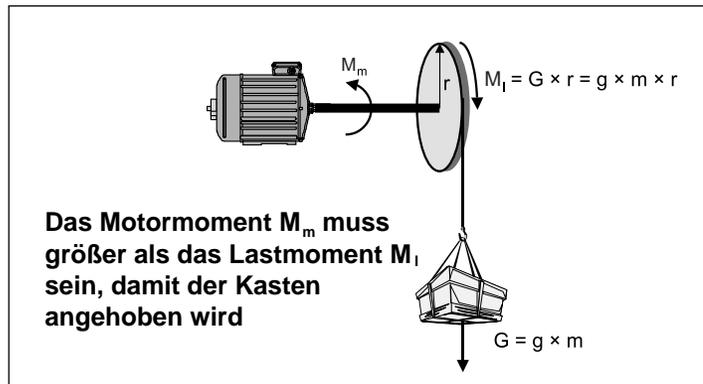
In manchen Fällen ist eine Umkehr der Drehrichtung erforderlich. Damit kann auch die Änderung der Momentenrichtung notwendig werden. Diese Faktoren zusammen bilden einen sogenannten "Vier-Quadranten-Antrieb". Der Name stammt von den vier verschiedenen Quadranten (I bis IV), die in der Abbildung dargestellt sind.

Quadrant I: Im ersten Quadrant dreht der Motor im Uhrzeigersinn. Da das Drehmoment die gleiche Richtung wie die Drehzahl hat, arbeitet der Motor motorisch, d.h. er wandelt elektrische Energie in mechanische um.

Quadrant II: Im zweiten Quadrant dreht der Motor immer noch im Uhrzeigersinn, das Drehmoment hat jedoch die entgegengesetzte Richtung, jetzt arbeitet der Motor generatorisch, d.h. er wandelt mechanische Energie in elektrische um.

Quadranten III und IV: Im dritten und vierten Quadrant dreht der Motor gegen den Uhrzeigersinn und der Antrieb verhält sich umgekehrt wie in Quadrant I und II.

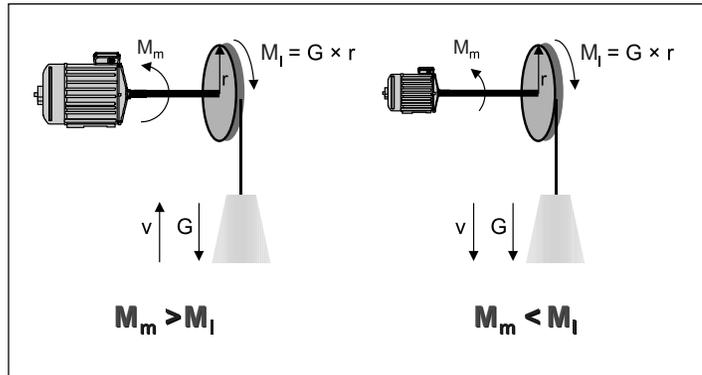
Bei Einsatz eines Frequenzumrichters können Änderungen der Momentenrichtung unabhängig von der Drehrichtung realisiert werden. Damit der vier-Quadranten-Antrieb effizient läuft, ist eine Bremseinrichtung notwendig. Diese Art der Regelung ist besonders bei Kranapplikationen notwendig, bei denen sich die Drehrichtung ändern kann, die Momentenrichtung aber gleich bleibt.



Die Last, die Reibung und das Trägheitsmoment bremsen die Drehung

Der Motor muss das notwendige Drehmoment erzeugen, um das Lastmoment zu überwinden. Das Lastmoment besteht aus der Reibung, dem Trägheitsmoment der beweglichen Teile und der Last selbst, abhängig von der Applikation. In der in der Abbildung dargestellten Anwendung muss, wenn der Kasten nach oben gezogen werden soll, das Motormoment größer sein als das Lastmoment, das von der Masse des Kastens abhängt.

Die Lastfaktoren ändern sich entsprechend der Anwendung. Bei einer Zerkleinerungsmaschine beispielsweise hängt das Lastmoment nicht nur von der Reibung und dem Trägheitsmoment ab, sondern auch von der Härte des zu zerkleinernden Materials. Bei Lüftern und Gebläsen wirken sich Luftdruckänderungen auf das Lastmoment aus usw.

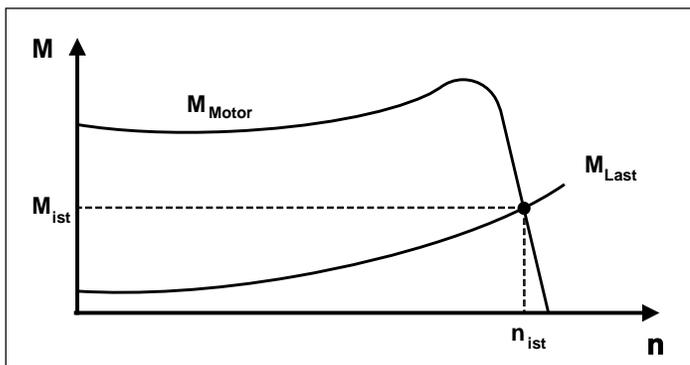


Der Motor muss das Lastmoment überwinden

Auf jeden Fall muss vor Auswahl des Motors das Lastmoment bekannt sein. Außerdem muss die erforderliche Drehzahl bekannt sein. Nur dann kann für die Applikation ein geeigneter Motor ausgewählt werden.

Wenn der Motor zu klein ist, werden die Anforderungen nicht erfüllt werden und es können schwerwiegende Probleme entstehen. Bei Kranapplikationen z.B. ist ein zu kleiner Motor eventuell nicht in der Lage, die Last schnell genug auf die erforderliche Höhe zu heben. Die Last kann sogar, wie in der Abbildung dargestellt, ganz herunterfallen. Dies wäre für Personen, die im Hafen oder auf einer Baustelle arbeiten, wo dieser Kran eingesetzt wird, verhängnisvoll. Folgende Formel wird zur Berechnung des Motornennmoments verwendet:

$$M[Nm]=9550 \times \frac{P[kW]}{n[1/min]}$$

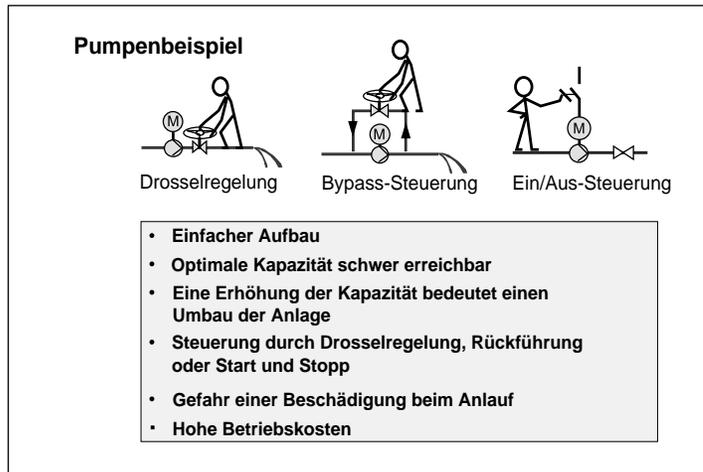


Antriebsmoment und Lastmoment sind bei Nenn-drehzahl gleich

Die Drehmoment/Drehzahlkurve eines Motors ist einmalig und muss für jeden Motortyp separat berechnet werden. Eine typische Drehmoment/Drehzahlkurve ist in dem Diagramm als M_{Motor} dargestellt. Wie zu sehen ist, wird das maximale Lastmoment knapp unterhalb der Nenn-drehzahl erreicht.

Das Lastmoment M_{Last} erhöht sich normalerweise mit der Drehzahl. Die Erhöhung kann anwendungsabhängig linear oder quadratisch sein. Der Motor beschleunigt automatisch solange, bis das Lastmoment und das Motormoment gleich sind. Der Punkt ist in der Abbildung als Schnittpunkt von M_{Motor} und M_{Last} dargestellt. Das Istmoment (M_{ist}) wird auf der y-Achse und die Ist-drehzahl (n_{ist}) auf der x-Achse dargestellt.

Nach diesen Prinzipien arbeitet ein herkömmlicher Käfigläufermotor. Mit einem Frequenzumrichter ergibt sich eine optimale Regelleistung für den Motor und das gesamte Antriebssystem. Dies wird noch an anderer Stelle in diesem Handbuch behandelt.



Einfachere Regelungs- verfahren

Es gibt eine Vielzahl einfacherer Regelungsverfahren wie die Drossel- oder Bypassregelung. Der Aufbau solcher Einrichtungen ist normalerweise sehr einfach und scheint auf den ersten Blick kostengünstig zu sein.

Es gibt jedoch viele Nachteile. Die optimale Prozesskapazität, beispielsweise, die die beste Qualität liefert, ist nur sehr schwer mit einer einfachen Regelung zu erreichen. Eine Steigerung der Produktionskapazität erfordert normalerweise einen Umbau des gesamten Prozesses und bei jedem direkten Einschalten besteht die Gefahr eines Schadens an der Elektrik und/oder Mechanik.

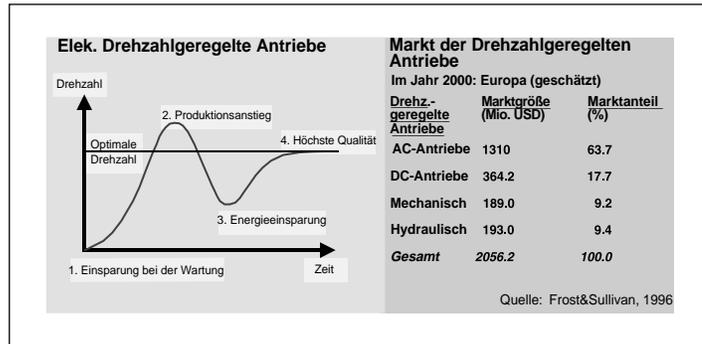
Die einfachen Regelungsverfahren sind auch energieintensiv, damit sind die Gesamtbetriebskosten höher als beim Einsatz drehzahl geregelter Antriebe, außerdem belasten sie die Umwelt stärker z.B. durch CO_2 -Emissionen aus Kraftwerken. Deshalb sind über die gesamte Betriebsdauer gerechnet die Investitions- und Betriebskosten bei einfachen Regelungsverfahren deutlich höher als bei drehzahl geregelten Antrieben.



Das beste Regelverfahren ist der drehzahlge-regelte Antrieb

Für die meisten Systeme ist VSD das beste Regelungsverfahren. Stellen Sie sich vor, Sie fahren Auto. Wenn Sie von der Autobahn kommen und in ein Wohngebiet einbiegen, müssen Sie die Geschwindigkeit reduzieren.

Das beste Weg ist natürlich, die Drehzahl des Motors zu vermindern, indem Sie den Fuss vom Gaspedal nehmen und eventuell in einen niedrigeren Gang schalten. Eine andere Möglichkeit ist, in demselben Gang zu bleiben, den Fuss auf dem Gas zu lassen und die Geschwindigkeit einfach durch Bremsen zu reduzieren. Dieses Vorgehen würde nicht nur zu einem Verschleiß des Motors und der Bremsen führen, sondern auch viel Kraftstoff verbrauchen und die Kontrolle über das Fahrzeug vermindern. Darüber hinaus wäre das eigentliche Ziel, wäre nur bedingt erreicht.



Elektrische drehzahl geregelte Antriebe haben den größten Marktanteil

Dies sind die vier wichtigsten Argumente für den Einsatz elektrischer drehzahl geregelter Antriebe, die zusammen mit den geschätzten Marktanteilen auf dem europäischen Markt im Jahr 2000 aufgeführt werden. Die vier wichtigsten Vorteile der elektrischen Drehzahlverstellung werden an den Wendepunkten der Drehzahlkurve verdeutlicht.

Wartungskosten

Das direkte Einschalten belastet den Motor und die Elektrik. Bei elektrischen Regelantrieben ist ein Sanftanlauf möglich, der sich direkt auf die Wartungskosten auswirkt.

Produktivität

Bei der Auslegung einer Anlage wird normalerweise eine Reserve für künftige Produktivitätssteigerungen berücksichtigt. Der Austausch der Einrichtungen mit konstanter Drehzahl, mit dem Ziel, ein höheres Produktionsvolumen zu erreichen, kostet Zeit und Geld. Bei einem AC-Antrieb sind Drehzahlerhöhungen von 5 bis 20 Prozent in der Regel kein Problem und die Produktion kann ohne Zusatzinvestitionen gesteigert werden.

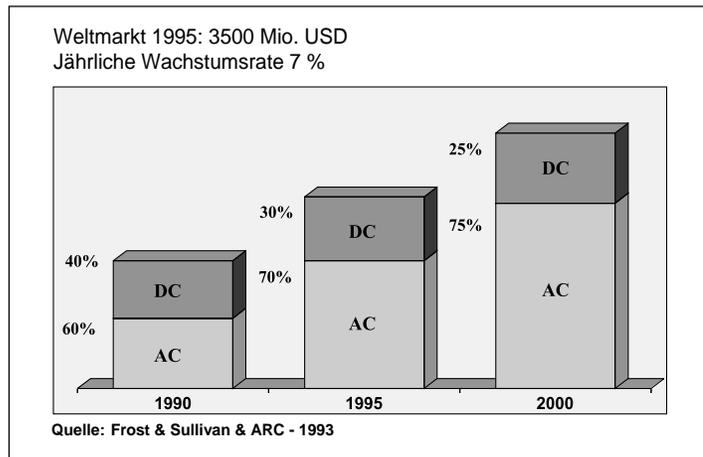
Energieersparnis

Bei vielen Prozessen schwankt das Produktionsvolumen. Eine mechanische Änderung zur Anpassung des Produktionsvolumens ist wenig effizient. Bei elektrischen drehzahl geregelten Antrieben kann eine Änderung des Produktionsvolumens durch Änderung der Motordrehzahl erreicht werden. Hierdurch wird besonders bei Pumpen- und Lüfterapplikationen viel Energie gespart, da die Wellenleistung proportional zur dritten Potenz der Durchflussrate ist.

Höhere Qualität

Die mit elektrischen Antrieben erreichbare Genauigkeit der Drehzahlregelung führt zu einer Optimierung des Prozesses. Die optimale Prozessregelung ergibt die beste Qualität des Endproduktes, d.h. den höchsten Gewinn für den Kunden.

Aufgrund dieser Vorteile haben die elektrischen Antriebe eine marktbeherrschende Stellung, wie aus der Tabelle oben ersichtlich ist. AC- und DC-Antriebe machen im Jahr 2000 zusammen mehr als 75% und AC-Antriebe mehr als 50% des gesamten VSD-Marktes in Europa aus.



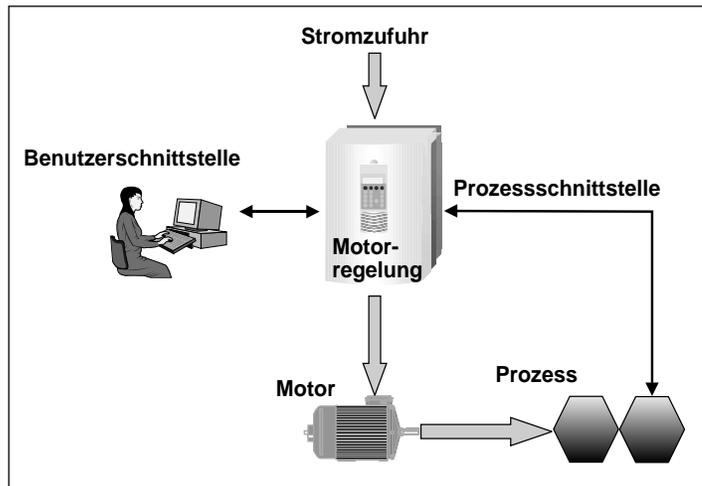
**Der Markt der
AC-Antriebe
wächst schnell**

In diesem Diagramm werden die Wachstumserwartungen auf dem Markt der elektrischen drehzahlgeregelten Antriebe für das Jahr 2000 dargestellt. Es wird deutlich, dass der Markt der AC-Antriebe um etwa 10 % pro Jahr wächst und somit zum Wachstum des gesamten Marktes der elektrischen Anlagen und Antriebe beiträgt. Der DC-Markt bleibt relativ konstant.

Wie in diesem Handbuch bereits erläutert, hat der AC-Antrieb viele Vorteile gegenüber anderen Verfahren der Prozessregelung. Ein wesentlicher Unterschied zwischen AC- und DC-Antrieben besteht in der aufwendigen Art, hohe Schutzarten bei DC-Motoren zu realisieren.

Kapitel 5 - Der AC-Antrieb: das führende Regelverfahren

In diesem Kapitel werden die einzelnen Merkmale des AC-Antriebs und die Leistungsmöglichkeiten des Antriebs näher betrachtet.

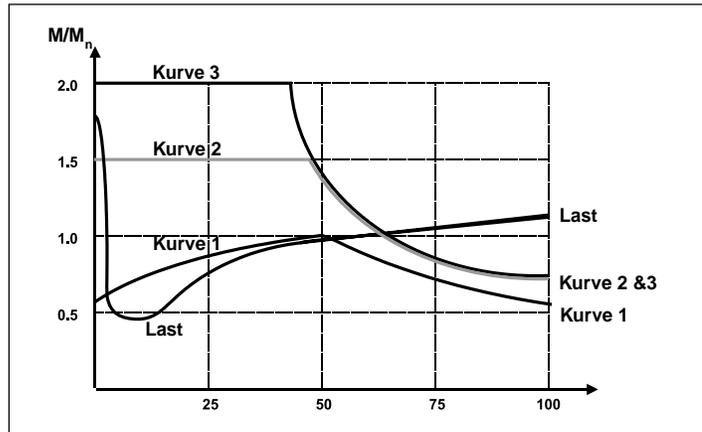


Die Grundfunktionen eines AC-Antriebs

In dieser Abbildung werden die Grundfunktionen eines AC-Antriebs dargestellt. Die Motorregelung besteht bei einem AC-Antrieb aus vier Komponenten. Diese Komponenten sind die Benutzerschnittstelle, der Motor, die Stromversorgung und die Prozess-Schnittstelle.

Der Antrieb wird über eine Einspeisung mit dem notwendigen Strom versorgt. Kriterien für die Auswahl des Antriebs sind die Einspeisespannung und ihre Frequenz. Der AC-Antrieb wandelt die Frequenz und die Spannung um und versorgt den Motor. Dieser Umwandlungsprozess wird über Signale vom Prozess oder vom Benutzer über die Prozess- und Benutzerschnittstellen geregelt.

Über die Benutzerschnittstelle kann der AC-Antrieb beobachtet und verschiedene Prozessinformationen über den AC-Antrieb gewonnen werden. Hierdurch kann der Antrieb leicht in andere Prozessführungseinrichtungen und übergeordnete Leitsysteme integriert werden.



Die Belastbarkeitskurven eines Motors mit AC-Antrieb

Wenn der Motor nicht mit einem Frequenzumrichter betrieben wird, können seine Belastbarkeitskurven nicht verändert werden. Er wird bei einem festgelegten Drehmoment eine bestimmte Drehzahl erzeugen und das maximale Drehmoment kann nicht überschritten werden.

Bei einem Antrieb mit Frequenzumrichter gibt es verschiedene Belastungsmöglichkeiten. Die Standardkurve, Kurve 1 in der Abbildung, stellt die Dauerbelastungskennlinie dar. Andere Kurven können nur für bestimmte Zeiten verwendet werden, da das Kühlsystem des Motors nicht für diesen Schwerlastbetrieb ausgelegt ist.

Diese erhöhte Belastbarkeit kann z.B. beim Start notwendig sein. Bei bestimmten Applikationen ist beim Start das zweifache Drehmoment erforderlich. Bei einem Frequenzumrichter ist dies möglich, d.h. dass ein Motor für den normalen Gebrauch ausgelegt werden kann. Hierdurch werden die Investitionskosten reduziert.

Um diese Möglichkeiten nutzen zu können, ist es sehr wichtig, dass Last, AC-Antrieb und Motor zueinander passen. Andernfalls kommt es zu einer Überhitzung und Beschädigung des Motors oder des Wechselrichters.

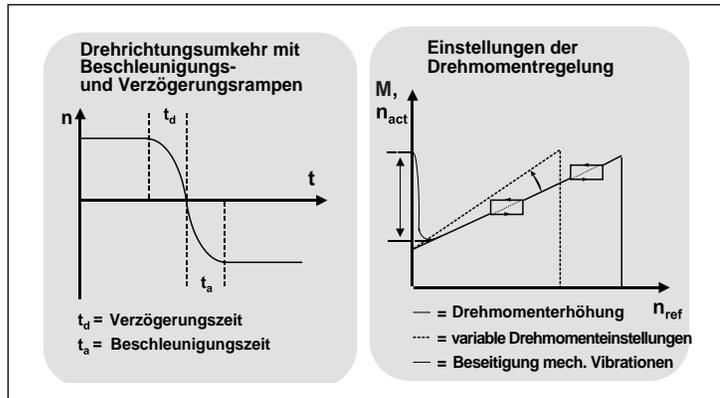
Wichtige Merkmale:

- Eingaben und Ausgaben
- Reversierfunktion
- Rampenzeiten-Beschleunigung/Verzögerung
- Variable Drehmoment V/Hz-Einstellungen
- Drehmomenterhöhung
- Ausschluss mechanischer Schwingungen
- Drehmomentgrenzwerte
- Netzausfallregelung
- Stillstandfunktion
- Schlupfkompensation
- Fliegender Start

***Merkmale des
AC-Antriebs
für eine
bessere
Prozessregelung***

AC-Antriebe haben noch weitere interne Merkmale und Funktionen, die in manchen Fällen für eine Verbesserung der Prozessführung erforderlich sind. Beispiele für diese Merkmale sind oben aufgelistet. Bei den Eingaben und Ausgaben beispielweise können verschiedene Prozessinformationen in den Antrieb eingegeben werden und der Motor wird entsprechend geregelt. Alternativ kann die Last begrenzt werden. Die Last kann so begrenzt werden, dass die Arbeitsmaschine und das gesamte Antriebssystem geschützt werden.

In den folgenden Abschnitten werden diese Merkmale im Detail vorgestellt.



**Drehrichtungs-
umkehr**

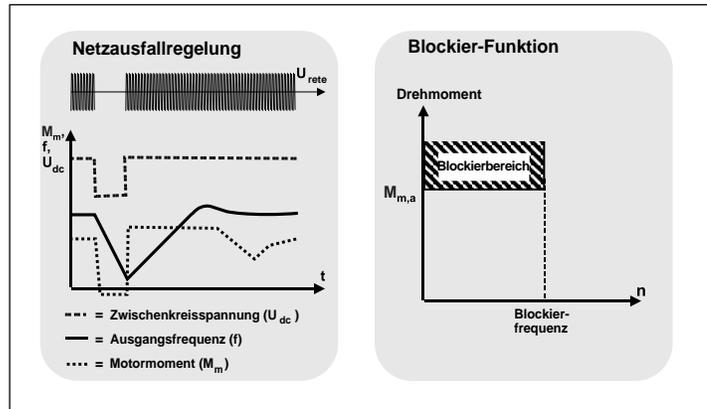
Mit einem AC-Antrieb kann die Drehrichtung des Motors auf einfache Weise umgekehrt werden. Bei den Frequenzumrichtern von ABB geschieht dies einfach per Knopfdruck. Außerdem können unterschiedliche Beschleunigungs- und Verzögerungszeiten eingestellt werden. Darüber hinaus kann die Form der Rampe auch nach den Wünschen des Kunden gestaltet werden. In dem Diagramm oben links wird eine S-Rampe dargestellt. Eine andere Möglichkeit ist ein linearer Verlauf.

Drehmomentregelung

Die Drehmomentregelung ist mit einem AC-Antrieb relativ einfach. Die zuvor bereits vorgestellte Drehmomenterhöhung ist notwendig, wenn ein sehr hohes Startmoment erforderlich ist. Variable Einstellungen von Drehmoment bedeuten, dass das maximale Drehmoment bei einer niedrigeren Drehzahl als normalerweise üblich erreicht werden kann.

**Verhinderung
mechanischer
Schwingungen**

Mechanische Schwingungen können durch Umgehung der kritischen Drehzahlen verhindert werden. Das bedeutet, wenn ein Motor nahezu auf die kritische Drehzahl beschleunigt wird, verhindert der Antrieb, dass die Ist-drehzahl des Motors dem Drehzahl-Sollwert folgt. Nach Überschreiten des kritischen Punktes kehrt der Motor sehr schnell zu der normalen Kurve zurück und überschreitet so den kritischen Drehzahlbereich.



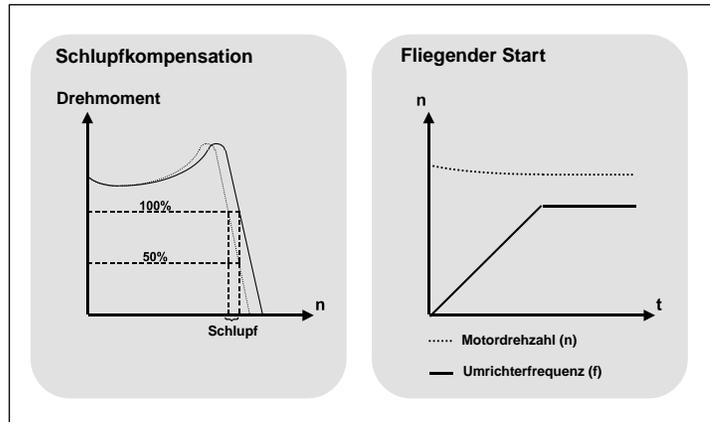
Netzausfallregelung

Die Funktion Netzausfallregelung wird bei einem Wegfall der Einspeisespannung verwendet. In einer derartigen Situation läuft der AC-Antrieb mit der kinetischen Energie des drehenden Motors weiter. Der Antrieb bleibt voll funktionsfähig, solange der Motor dreht und Energie in den Umrichter über den Motor fließt.

Blockiert-Meldung

Mit einem AC-Antrieb kann ein festgebremster Motor geschützt werden. Überwachungsgrenzen können eingestellt und die Reaktion des Motors auf das Festbremsen können eingestellt werden. Der Schutz wird aktiviert, wenn drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind.

1. Die Antriebsfrequenz muss unterhalb der voreingestellten Blockiert-Frequenz liegen.
2. Das Motormoment muss über den zulässigen Höchstwert, der von der Antriebssoftware errechnet wurde, steigen. Dieser Wert ändert sich ständig in Abhängigkeit verschiedener Faktoren z.B. der Motortemperatur. Wenn die Bedingungen 1 und 2 erfüllt sind, befindet sich der Motor in dem in der Abbildung markierten Blockiert-Bereich.
3. Die letzte Bedingung ist die, dass sich der Motor länger als die vom Benutzer festgelegte Zeit im Blockiert-Bereich befunden hat.

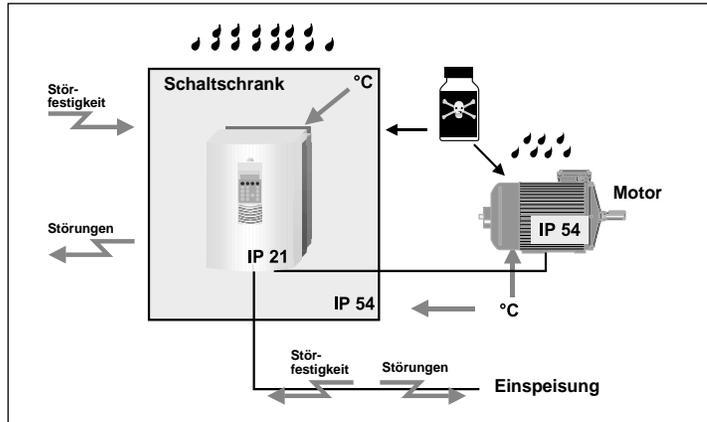


**Schlupf-
kompensation**

Wird das Lastmoment des Motors erhöht, vermindert sich die Drehzahl des Motors, wie in der Abbildung oben links dargestellt. Um diesen Schlupf zu kompensieren, kann die Drehmoment/ Drehzahl-Kurve mit dem Frequenzumrichter so geändert werden, dass die Erhöhung des Drehmoments ohne Einbruch der Drehzahl erfolgt.

Fliegender Start

Die Eigenschaft fliegender Start wird benötigt, wenn ein Motor an ein Schwungrad oder eine Maschine mit großem Massenträgheitsmoment angeschlossen ist. Wird ein Umrichter auf ein rotierendes System aus Motor und Schwungrad geschaltet, wird der Motor durch die Funktion fliegender Start exakt mit der richtigen Spannung und Frequenz gespeist. Ohne die Eigenschaft fliegender Start würden in einer solchen Situation Probleme auftreten.



Umwelteinflüsse

Jedes Antriebssystem muss in der Lage sein, mit verschiedenen Umweltbelastungen wie Feuchtigkeit oder elektrischen Störungen fertig zu werden. Der Käfigläufermotor ist sehr kompakt und kann unter extremen Bedingungen eingesetzt werden. Die Schutzart IP 54 gewährleistet den Einsatz in einer staubigen Umgebung und schützt vor Spritzwasser aus unterschiedlichen Richtungen.

Der Frequenzumrichter hat normalerweise die Schutzart IP 21. Das heißt, die spannungsführenden Teile können nicht berührt werden und von oben herunter tropfendes Wasser verursacht keine Schäden. Wenn eine höhere Schutzart erforderlich ist, kann der Antrieb in einen Schrank mit der erforderlichen Schutzart eingebaut werden. In solchen Fällen muss sichergestellt sein, dass die Temperatur im Schrankinneren die zulässigen Grenzwerte nicht überschreitet.

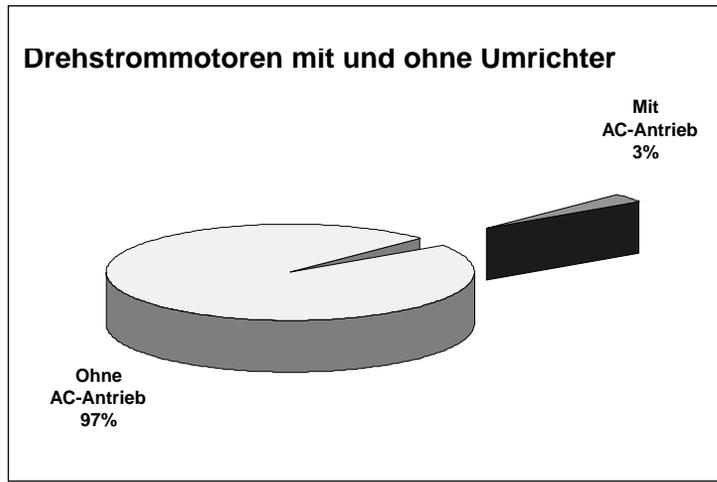
EMV

Ein weiteres, wichtiges Umweltmerkmal ist die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Es ist sehr wichtig, dass ein Antriebssystem die EMV-Richtlinien der Europäischen Union erfüllt. EMV bezieht sich sowohl auf die leitungsgebundenen als auch die abgestrahlten Störungen.

Weitere Informationen über die EMV-Richtlinien und ihre Auswirkungen auf Antriebe finden Sie in ABB Technische Anleitung Nr. 2, EMV-Handbuch.

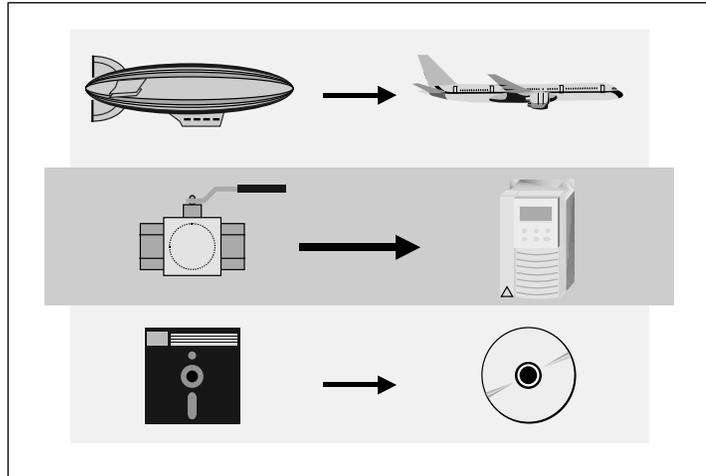
Kapitel 6 - Kostenvorteile der AC-Antriebe

Zusätzlich zu ihren technischen Vorteilen bieten AC-Antriebe auch kostenmäßige Vorteile. Dieses Kapitel befasst sich mit diesen Vorteilen, die nach Investitions-, Installations- und Betriebskosten unterteilt werden.



Gegenwärtig werden immer noch viele Motoren ohne AC-Antriebe mit Drehzahlregelung verkauft. Dieses Diagramm zeigt, wie viele Motoren kleiner als 2.2 kW mit Frequenzumrichtern und ohne Frequenzumrichter verkauft werden. Nur 3% der Motoren in diesem Leistungsbereich werden pro Jahr mit Frequenzumrichter ausgeliefert; 97% werden ohne Umrichter verkauft.

Dies ist erstaunlich, wenn man das zuvor Gesagte bedenkt. Dies gilt umso mehr bei einer näheren Betrachtung der Kosten eines ACAntriebs verglichen mit konventionellen Regelungsverfahren. Zunächst soll ein kurzer Überblick über die AC-Antriebs-Technik im Vergleich zu anderen Regelungsverfahren gegeben werden.

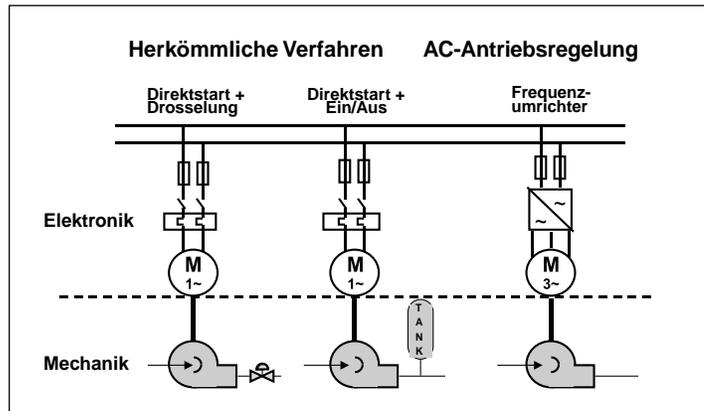


**Technische
Unterschiede
zwischen
anderen
Systemen und
AC-Antrieben**

Die AC-Antriebs-Technologie unterscheidet sich fundamental von anderen, einfacheren mechanischen Regelverfahren. Sie kann mit dem Unterschied zwischen einem Luftschiff und einem modernen Flugzeug verglichen werden.

Man kann die AC-Antriebs-Technologie mit der Entwicklung von der Diskette zur CD-ROM vergleichen. Obwohl eine Diskette das einfachere Speichermedium ist, kann sie nur einen Bruchteil der Informationen einer CD-ROM speichern.

Die Vorteile dieser beiden Innovationen sind allgemein bekannt. Ähnlich ist es bei der AC-Antriebs-Technik, die auch auf einer völlig anderen Technik beruht wie die früheren Regelverfahren. In diesem Handbuch wurden die Vorteile des AC-Antriebs verglichen mit einfacheren Regelverfahren dargestellt.



**Keine
mechanischen
Teile
erforderlich**

Um einen richtigen Kostenvergleich vornehmen zu können, müssen die Konfigurationen der verschiedenen Regelverfahren untersucht werden. Eine Pumpenapplikation soll als Beispiel dienen. Bei den herkömmlichen Verfahren gibt es immer mechanische und elektrische Teile.

Bei der Drosselregelung werden Sicherungen, Schütze und Drosselspulen auf der elektrischen Seite und Ventile auf der mechanischen Seite benötigt. Bei der Ein/Aus-Regelung werden die gleichen elektrischen Komponenten sowie ein Drucktank auf der mechanischen Seite benötigt. Der AC-Antrieb bietet eine neue Lösung. Eine Mechanik wird nicht benötigt, da die Regelung immer auf der elektrischen Seite erfolgt.

Ein weiterer Vorteil im Hinblick auf die Kosten kann darin bestehen, dass mit einem AC-Antrieb ein herkömmlicher dreiphasiger Motor verwendet werden kann, der erheblich billiger ist als einphasige Motoren, wie sie häufig in anderen Regelverfahren eingesetzt werden. Die einphasige 220V Einspeisung kann bei Leistungen unter 2,2 kW weiterhin verwendet werden.

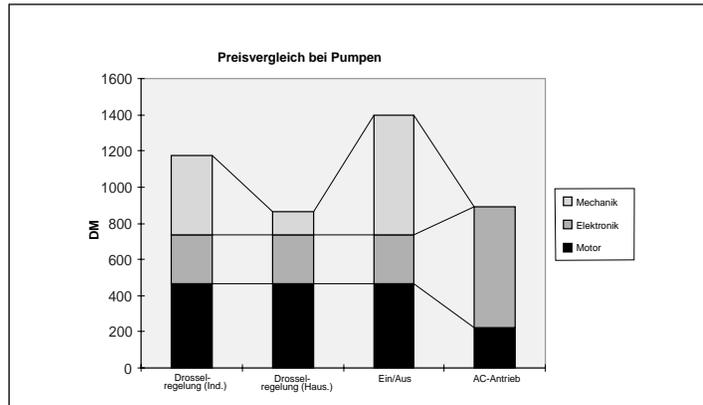
Konventionelles Verfahren:	AC-Antrieb:
- elektrische und mechanische Teile	- alles in einem
- viele elektrische Teile	- nur eine elektrische Komponente
- mech. Teile benötigen regelmäßige Wartung	- keine mech. Teile, verschleißfrei
- mechanische Regelung ist energieintensiv	- energiesparend

Kostenfaktoren

In dieser Auflistung werden die Merkmale der konventionellen Regelverfahren mit denen des AC-Antriebs verglichen sowie ihren Einfluss auf die Kosten. Bei konventionellen Verfahren gibt es sowohl elektrische als auch mechanische Komponenten, die in der Regel einzeln gekauft werden müssen. Die Kosten sind normalerweise höher als ein Gesamtpaket.

Außerdem haben mechanische Teile einen höheren Verschleiß. Dies wirkt sich direkt auf die Wartungskosten aus und auf lange Sicht ist die Wartung ein wichtiger Kostenfaktor. Bei herkömmlichen Verfahren gibt es auch noch viele elektrischen Komponenten. Die Installationskosten sind mindestens doppelt so hoch, wenn es mehrere verschiedene Komponententypen gibt.

Abschließend bleibt noch zu erwähnen, dass eine mechanische Regelung sehr viel mehr Energie verbraucht, wohingegen AC-Antriebe praktisch Energie sparen. Hierdurch werden nicht nur Kosten gespart, sondern aufgrund der verminderten Emissionen aus Kraftwerken auch die Umwelt entlastet.



**Investitions-
kosten:
Mechanische
und elektrische
Komponenten**

In dieser Grafik werden die Struktur der Investitionen und der Gesamtpreis der einzelnen Verfahren der Pumpenregelung dargestellt. Nur die Pumpe selbst wird nicht zu den Kosten hinzugerechnet, da ihr Preis gleich bleibt, unabhängig davon, ob sie mit einem AC-Antrieb oder Ventilen eingesetzt wird. Bei der Drosselung gibt es entsprechend der Verwendung - in der Industrie oder im Haushalt - zwei Möglichkeiten. Für den industriellen Einsatz gelten für Ventile strengere Vorschriften, wodurch sich die Kosten erhöhen.

Der Motor

Es wird deutlich, dass der Motor bei herkömmlichen Regelverfahren wesentlich teurer ist als beim AC-Antrieb. Der Grund ist der beim AC-Antrieb verwendete dreiphasige Motor im Gegensatz zu dem bei anderen Regelverfahren verwendeten einphasigen Motor.

Der AC-Antrieb

Der AC-Antrieb benötigt keine mechanischen Teile, so dass sich die Kosten drastisch reduzieren. Die mechanischen Teile selbst sind in den meisten Fällen kostengünstiger als ein Frequenzumrichter, jedoch werden zusätzlich elektrische Teile benötigt, die die Gesamtinvestitionskosten erhöhen.

Nach Berücksichtigung sämtlicher Kosten ist ein AC-Antrieb immer die kostengünstigste Investition verglichen mit anderen Regelverfahren. Nur die in privaten Haushalten verwendete Drosselregelung ist günstiger als der AC-Antrieb. Dies sind jedoch nicht die Gesamtkosten. In Zusammenhang mit den Investitionskosten müssen auch die Installations- und Betriebskosten betrachtet werden.

	Drosselung	AC-Antrieb
Installationsmaterial	40 DM	20 DM
Installationsarbeiten	5h x 130 DM = 650 DM	1h x 130 DM = 130 DM
Inbetriebnahme- arbeiten	1h x 130 DM = 130 DM	1h x 130 DM = 130 DM
Gesamt	820 DM	280 DM
Einsparungen:	540 DM!	

**Installations-
kosten:
Drosselregelung
im Vergleich
zum AC-
Antrieb**

Nun werden die Installations- und Betriebskosten der Drosselregelung mit denen des AC-Antriebs verglichen. Wie bereits erwähnt, gehören zur Drosselung sowohl elektrische als auch mechanische Komponenten. Das heißt, es wird das Doppelte an Montagematerial benötigt.

Der Installationsaufwand ist bei der Drosselregelung mindestens doppelt so hoch wie beim AC-Antrieb. Der Einbau eines mechanischen Ventils in ein Rohr ist nicht so einfach und kostet Zeit. Ein mechanisches Ventil einsatzbereit zu machen, dauert normalerweise fünf Stunden. Für einen AC-Antrieb wird nur eine Stunde benötigt. Durch Multiplikation dieser Stundenzahl mit dem Stundensatz eines Monteurs ergeben sich die Gesamtinstallationkosten.

Für die Inbetriebnahme eines auf Drosselung basierenden Systems wird normalerweise nicht mehr Zeit benötigt als für die Inbetriebnahme eines Systems auf Basis eines AC-Antriebs. In beiden Fällen wird normalerweise eine Stunde benötigt. Nun können die Gesamtinstallationskosten addiert werden. Dabei zeigt sich, dass bei einem AC-Antrieb bis zu DM 540 pro Installation gespart werden. Selbst wenn die Investitionskosten für die Drosselung niedriger sind als der Preis eines einphasigen Motors (ca. DM 400), macht sich der AC-Antrieb schon bezahlt, bereits bevor er auch nur eine Sekunde eingeschaltet ist.

	Drossel- regelung	AC-Antrieb Ersparnis 50%
Benötigte Leistung	0,75 kW	0,37 kW
Jährl. Energieverbrauch 4000 h/Jahr	3000 kWh	1500 kWh
Jährl. Energiekosten bei 0,1 USD/kWh	600 DM	300 DM
Wartungskosten/Jahr	80 DM	10 DM
Gesamtkosten/Jahr	680 DM	310 DM
Einsparungen in einem Jahr: 370 DM! (DM = Deutsche Mark)		

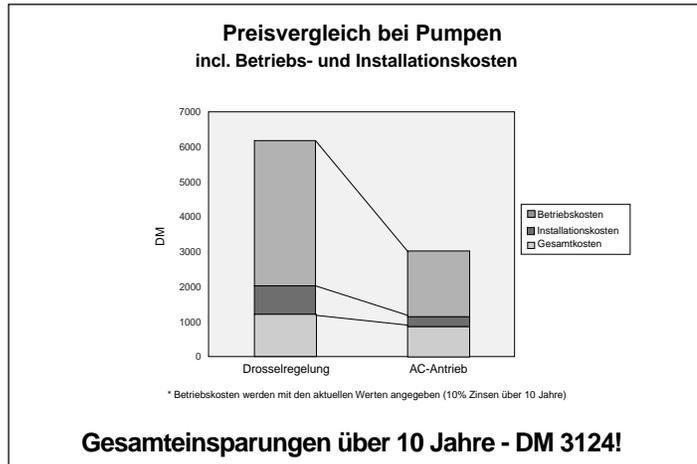
**Betriebskosten:
Wartung und
Energie des
Antriebs**

Durch viele Untersuchungen und Experimente wurde bewiesen, dass eine Energieeinsparung von 50% leicht mit einem AC-Antrieb erreicht werden können. Das heißt, wo für eine Drosselung ein Leistungsbedarf von 0,75 kW notwendig wäre, genügen bei einem AC-Antrieb 0,37 kW. Wenn eine Pumpe pro Jahr 4000 Stunden arbeitet, würden für die Drosselung 3000 kWh und für den AC-Antrieb 1500 kWh an Energie verbraucht.

Um die Einsparungen zu berechnen, muss der Energieverbrauch mit dem länderspezifischen Energiepreis multipliziert werden. In diesem Beispiel werden DM 0,2 pro kWh zu Grunde gelegt.

Wie zuvor bereits erwähnt, mechanische Teile unterliegen einem hohen Verschleiß. Deshalb müssen sie regelmäßig gewartet werden. Es wurde geschätzt, dass bei der Drosselregelung pro Jahr DM 80 für die Wartung aufgewendet werden müssen. Die Wartungskosten für einen AC-Antrieb würden DM 10 betragen. In vielen Fällen ist der Frequenzumrichter jedoch wartungsfrei.

Deshalb würden die Einsparungen bei den Betriebskosten DM 370 betragen. Dies ist in etwa die Hälfte des Kaufpreises für einen Frequenzumrichter dieser Größe. Das heißt, der Frequenzumrichter amortisiert sich innerhalb von zwei Jahren. Deshalb sollte überlegt werden, ob sich nicht lohnt, anstelle der jährlichen Wartung eines alten Ventils auf ein Regelsystem mit AC-Antrieb umzusteigen. Die Nachrüstung eines bestehenden Drosselsystems amortisiert sich in zwei Jahren.



Gesamtkosten- vergleich

Die Gesamtkosten sind in der oben stehenden Grafik zusammengefasst. Der übliche Zeitraum für eine Berechnung der Betriebskosten einer derartigen Investition sind zehn Jahre. Die Betriebskosten werden hier als Barwert bei einem Zinssatz von 10% angegeben.

Auf lange Sicht ist das konventionelle Verfahren mehr als zweimal so teuer wie ein Frequenzumrichter. Den größten Teil an den Einsparungen haben beim AC-Antrieb die Betriebskosten und insbesondere die Energiekosten. Das höchste individuelle Einsparungspotential liegt bei der Installation und diese Einsparungen werden erzielt, sobald der Antrieb installiert ist.

Unter Berücksichtigung der Gesamtkosten ist es sehr schwer zu verstehen, warum nur 3% der Motoren mit einem Frequenzumrichter verkauft wurden. In diesem Handbuch haben wir versucht, die Vorteile des AC-Antriebs darzustellen und zu erläutern, warum ABB der Auffassung ist, dass der AC-Antrieb die absolut beste Möglichkeit zur Prozess-Steuerung ist.

Kapitel 7 - Index

A

ABB 31, 39, 42
AC-Antrieb 5, 22 - 39
AC-Antriebsmarkt 3, 24
AC-Motor 11, 12

B

Blindleistung 14
Blockierfunktion 27

C

CD-ROM 33

D

DC-Antrieb 22, 23, 24
DC-Motor 11, 22, 24
DC-Sammelschiene 12, 13
Drehmoment 15, 27, 28
Drehzahl geregelter Antrieb 39
Drehzahlregelung 21, 22, 23, 24

E

Eingangsleistung 14
elektromagnetische Induktion
12, 13
elektromagnetische Verträglichkeit
31
EMV 31
Energie 8, 11, 12, 23, 35, 38
Extruder 9

F

Fliegender Start 30

H

Hydraulikkupplung 22

I

IP 21 31
IP 54 31

M

Magnetfluss 13
Maschine 9
Materialbehandlung 6
Materialtransport 6
mechanische Vibrationen 28
Motor-Wirkungsgrad 14

S

Schlupf 27

W

Wartung 23, 38



ABB Automation Products

Standard Drives

Dudenstrasse 44 - 46

D-68309 Mannheim

DEUTSCHLAND

Hotline Vertrieb 0180-33 22 400

Telefax 0621-381 1777

Internet <http://www.abb-drives.de>



Copyright©ABB Automation Group Ltd, 2000 3BFE 64314718 R0103 Änderungen ohne Vorankündigung vorbehalten.

DE 17.3.2000