

TM400

# Übersicht Antriebstechnik



## **Voraussetzungen**

Trainingsmodule	keine Voraussetzungen
Software	keine Voraussetzungen
Hardware	keine Voraussetzungen

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	4
1.1 Lernziele.....	5
2 Die mechatronische Antriebslösung.....	6
2.1 Kernaspekte der Mechatronik.....	7
2.2 Grundlegende Anforderungen an ein Antriebssystem.....	7
3 Komponenten eines Antriebssystems.....	9
3.1 Elektrische Antriebe.....	10
3.2 Positionsgeber.....	21
3.3 Stromrichter.....	31
3.4 Antriebsmechanik und Kraftübertragung.....	39
4 Die B&R Antriebslösung.....	44
4.1 Typische Topologien.....	45
4.2 Produktübersicht.....	46
4.3 Umsetzung der Antriebsanwendung.....	50
4.4 Auswahl der Technologie.....	54
5 Antriebsauslegung und Tuning.....	55
5.1 Antriebsdimensionierung mit SERVOsoft.....	56
5.2 Autotuning und Optimierung der Antriebsparameter.....	57
6 Dokumentation und Installation.....	60
6.1 Anwenderhandbücher.....	61
6.2 Hinweise zu Erdung und Schirmung.....	63
6.3 CAD-Konfigurator.....	64
6.4 Drehzahl-Drehmomentkennlinien.....	65
7 Zusammenfassung.....	66

# Einleitung

## 1 Einleitung

Nahezu jeder Maschinen- oder Anlagenteil umfasst heutzutage Bewegungen in mehr oder weniger komplexen Ausprägungen. Der Trend dabei geht eindeutig in Richtung Anwendung sogenannter mechatronischer Antriebslösungen.

Bewegungsabläufe, welche früher über teils sehr aufwendige mechanische Konstruktionen realisiert wurden, können durch den Einsatz neuer Technologien aus dem Bereich der modernen Antriebstechnik sehr flexibel und damit höchst effizient umgesetzt werden.



Abbildung 1: B&R Antriebstechnikproduktpalette

Eine wichtige Rolle dabei spielt die Einheitlichkeit und Durchgängigkeit der Antriebslösung. Durch optimale Abstimmung der einzelnen Komponenten aufeinander, kommen die technologischen Stärken voll zum Tragen. Der mechatronische Antriebsverbund lässt sich als Funktionseinheit in den Prozess integrieren.

Der Schwerpunkt der Entwicklungen kann so voll auf die Optimierung des übergeordneten Prozesses gelegt werden.

Die grundlegenden Konzepte und Vorgänge werden in dieser Unterlage auf einfache Art und Weise dargestellt.

## 1.1 Lernziele

Mit diesem Trainingsmodul erhalten Sie einen Überblick über die Elemente und Funktionsweise einer mechatronischen Antriebslösung.

- Sie erhalten einen Überblick der Komponenten einer mechatronischen Antriebslösung.
- Sie erhalten Informationen über die Funktionsweise von unterschiedlichen elektrischen Antrieben und deren typischen Einsatzgebiete.
- Sie erhalten einen Überblick über die Funktion von Positionsgebern und Stromrichtern.
- Sie erhalten einen Einblick in die Eigenschaften von verschiedenen Antriebsmechaniken.
- Sie erhalten eine Übersicht der B&R Antriebskomponenten und deren Einbindung in verschiedene Topologien.
- Sie erhalten Information zu wichtigsten Kriterien einer Antriebskonfiguration.
- Sie erhalten einen Überblick über die für die B&R Antriebslösung bereitgestellte Dokumentation

# Die mechatronische Antriebslösung

## 2 Die mechatronische Antriebslösung

Mit einer mechatronischen Antriebslösung werden meist weitere Begriffe wie elektrisches Antriebssystem, Antriebsstrang, Antriebslösung, Prozess, Antriebskonfiguration und Servoantrieb verbunden.

Sehr häufig werden diese oder ähnliche Ausdrücke verwendet, um den Umfang an Komponenten eines Antriebssystems zu bezeichnen. Die eindeutige Definition mit einem einzigen Begriff ist nur schwer möglich.

### Feststellung

Elektrische Antriebssysteme gibt es in den verschiedensten Ausprägungen. Zusätzlich stehen meist verschiedene Ausführungen der Einzelkomponenten mit spezifischen Eigenschaften zur Verfügung.

In einem Anwendungsfall wird ein servobetriebener Linearmotor mit einer sehr genauen Positionsbestimmung benötigt, in einem anderen Fall reicht ein Asynchronmotor in Verbindung mit einem Frequenzumrichter aus.



Aus diesen Umständen ergeben sich folgende Fragen:

- Aus welchen Komponenten besteht ein Antriebs- oder Positionierungssystem?
- Wo liegen die Unterschiede zwischen den existierenden Technologien?
- Wann kommt welche Technologie zum Einsatz?

Durch eine einfache Darstellung der verwendeten Komponenten wird versucht diese Fragen zu beantworten.

Abbildung 2: Orientierung

Das nachfolgende Schema trifft grundsätzlich auf alle elektrischen Antriebssysteme zu:

#### Folgende Komponenten werden verwendet:

- Stromrichter bzw. Energieumformung
- Elektromotor
- Getriebe und Kupplungen
- Arbeitsmaschine bzw. Mechanik

Der Stromrichter entnimmt elektrische Energie aus dem Netz und bringt sie für die Anspeisung des Elektromotors auf eine geeignete Form. Der Motor wiederum wandelt die elektrische Energie in kinetische Energie um und bringt so, falls erforderlich über ein Getriebe, das mechanische System in Bewegung.

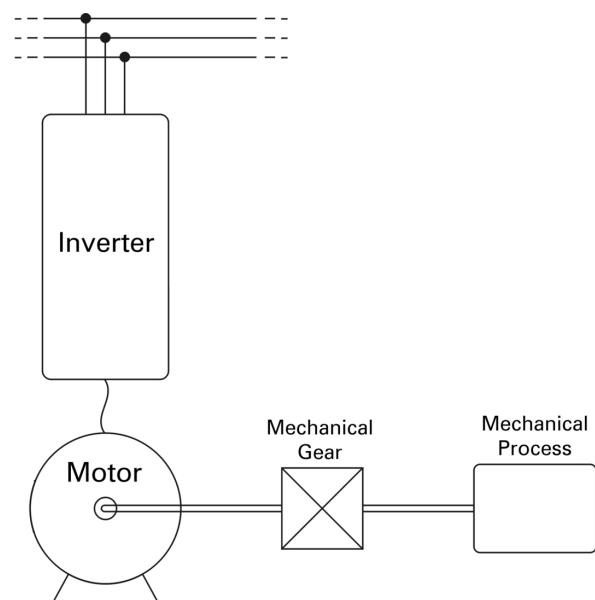
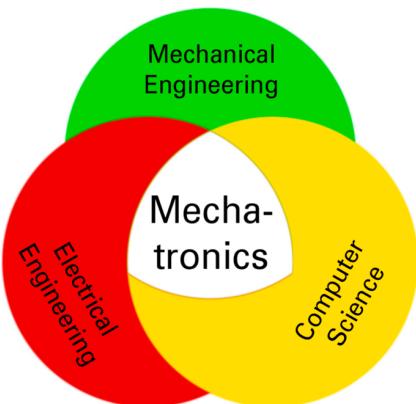


Abbildung 3: Grundkomponenten mechatronischer Antriebstechnik

Dieses Grundschema wird im Laufe der folgenden Abschnitte Schritt für Schritt erweitert. Die Konzentration liegt dabei auf der Funktionsweise der einzelnen Komponenten und deren Eigenschaften im Gesamtsystem.

Vorher ist es notwendig, sich mit einem Themenbereich, der alle Aspekte der modernen Antriebstechnik umfasst, zu beschäftigen. Die Rede ist vom Fachbereich der Mechatronik.

## 2.1 Kernaspekte der Mechatronik



Das Gebiet der Mechatronik beschäftigt sich mit dem Zusammenwirken mechanischer, elektronischer und informationstechnischer Systeme.

In der Mechatronik wird dafür die Trennung zwischen den Fachgebieten Mechanik, Elektrik, Elektronik und Informationstechnik aufgehoben. Das System wird als eine Funktionseinheit betrachtet.

Dabei liegt das Hauptziel in der Aufbereitung aller Informationen zur fachübergreifenden Verwendung.

Abbildung 4: Mechatronik vereint mehrere Disziplinen

Bereits der Entwurf und die Entwicklung dieser Technologien erfolgt in enger Abstimmung mit den Anforderungen des Prozesses, in unserem Fall des mechanischen Systems.

### Aus diesem ganzheitlichen Ansatz der Mechatronik ergeben sich klare Vorteile:

- Optimale Abstimmung des Grundsystems auf die Anforderungen des Prozesses
- Bildung kompakter Funktionseinheiten (Automatisierungsobjekte) und verbesserte Möglichkeiten zur Standardisierung, denn die verschiedenen Prozessroutinen können modular entwickelt und damit einfach wiederverwendet werden
- Einfachere Anwendung durch standardisierte Anwenderoberflächen und detaillierte Diagnosemöglichkeiten
- Alle sich daraus ergebenden Vorteile für die Prozessoptimierung, Wirtschaftlichkeit, Qualitätsmanagement (Prozessbeobachtung)

## 2.2 Grundlegende Anforderungen an ein Antriebssystem

Welche Eigenschaften charakterisieren ein Antriebssystem?

Eine wichtige Anforderung an das System sind eine hohe Dynamik und eine hohe Wiederholgenauigkeit. Der Begriff Dynamik bezeichnet allgemein Kraft, Triebkraft oder auf Veränderung gerichtete Kraft. Eine zeitliche Entwicklung wird hiermit in Zusammenhang gebracht.

### Sehr häufig werden in der Praxis folgende Eigenschaften gefordert:

- Schnelles Erreichen einer Geschwindigkeit
- Schnelles Erreichen einer genauen Position
- Exaktes Einhalten einer Geschwindigkeit
- Einhalten eines vorgegebenen Drehmoments

## Die mechatronische Antriebslösung

Das Antriebssystem muss dazu fähig sein, die verbundene Mechanik exakt nach Vorgabe anzutreiben und höchste Kräfte umzusetzen, ohne dabei an Genauigkeit zu verlieren.

Diese Eigenschaft wiederum geht direkt in die Produktivität der Arbeitsmaschine ein. Bei vielen Anwendungen entscheidet die Positioniergenauigkeit über die Eignung eines Antriebssystems. Neben den dynamischen Eigenschaften muss der Antrieb auch in der Lage sein, genaue Positionen einzunehmen und diese mit entsprechender Kraft zu regeln.

Nicht nur die Auswahl des Elektromotors ist entscheidend. Ausgeklügelte Messsysteme und Regelalgorithmen tragen entscheidend zur Bewältigung dieser Aufgaben bei.

Hohe Anforderungen können nur durch ein kompaktes Zusammenspiel aller Komponenten im System bewältigt werden.

Durch die richtige Auswahl der Antriebs- und Motortechnologie lassen sich die technische Anforderung und die kostengünstige Umsetzung gezielt miteinander vereinbaren.

## 3 Komponenten eines Antriebssystems

Unter einem Antriebssystem wird eine konstruktive Einheit verstanden, welche mittels Energieumformung eine Maschine bewegt.

Die Betrachtung des Prozesses beginnt bei der Maschine. Diese wird in der Regel von einem Elektromotor angetrieben. Eine Verbindung dieser beiden Einheiten kann mit Hilfe eines Getriebes realisiert werden. Der Hintergrund dazu ist die Anpassung der Drehzahl und des Drehmoments.

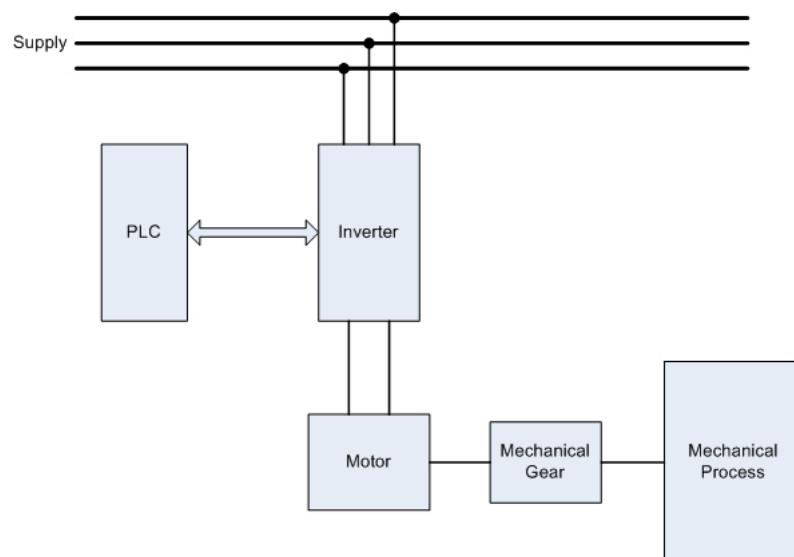


Abbildung 5: Schematische Darstellung eines Antriebssystems

Der Motor ist für die Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie zuständig. Dadurch entstehen Momente und Kräfte. Um diese Größen auch entsprechend steuern zu können, wird ein Stromrichter benötigt. Dieser dient der Aufbereitung der elektrischen Energie, die in weiterer Folge an den Motor weitergeleitet wird.

Für Positionierungsaufgaben ist es wichtig, eine Aussage über die aktuelle Lage des Antriebes treffen zu können. Dazu wird ein Positionsgeber verwendet, der in den meisten Fällen direkt am Motor verbaut wird.

Der Stromrichter erhält seine Positionierungsbefehle von einer Steuerung. Diese führt das Applikationsprogramm aus, welches die geforderten Bewegungsabläufe beinhaltet.

# Komponenten eines Antriebssystems

## 3.1 Elektrische Antriebe

Die Geschichte der elektromechanischen Maschine, insbesondere der Entwicklung von Motoren, beginnt in den Anfängen des 19. Jahrhunderts. Im Laufe der Zeit sind viele Typen entstanden, die sich in ihrer Bauform und ihren grundlegenden Eigenschaften unterscheiden.

Jede entstandene Bauform wurde für ihr Einsatzgebiet konzipiert und hat in diesem Bereich seine Stärken.

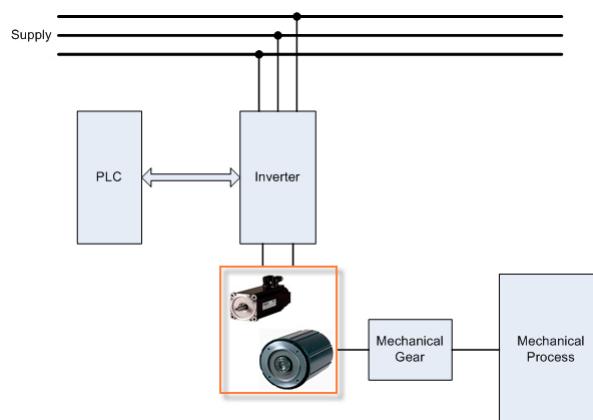


Abbildung 6: Der Motor im elektrischen Antriebssystem

**Folgende drei Motortypen haben sich etabliert:**

- [3.1.2 "Gleichstrommaschine"](#)
- [3.1.4 "Asynchronmaschine"](#)
- [3.1.5 "Synchronmaschine"](#)

**Diese Grundtype bildet die Basis für weitere Varianten:**

- [3.1.6.1 "Linearmotoren"](#)
- [3.1.6.2 "Torquemotoren"](#)
- [3.1.7 "Schrittmotor"](#)

Der nachfolgende Abschnitt befasst sich mit den Grundlagen von Motoren und deren Aufbau. Die Funktionsweise und Einsatzgebiete der verschiedenen Motortypen werden näher beleuchtet.

### 3.1.1 Grundprinzip elektrischer Antriebe

Das Grundprinzip von elektrischen Antrieben lässt sich mit der **Lorentz-Kraft** erklären:

Befindet sich ein stromdurchflossener elektrischer Leiter in einem Magnetfeld, so wirkt auf diesen Leiter eine Kraft.

Die Wirkungsrichtung dieser Kraft ist abhängig von der Ausrichtung der beiden Ursachengrößen, Stromfluss und Magnetfeld.

Mit Hilfe der "Linken-Hand-Regel" lassen sich die Zusammenhänge veranschaulichen.

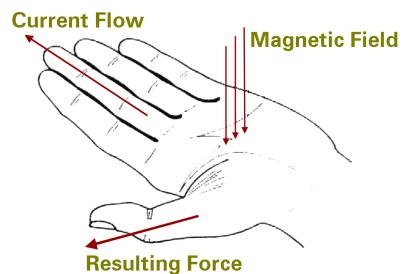


Abbildung 7: "Linke-Hand-Regel"

Die mathematische Herangehensweise sieht wie folgt aus, für den Betrag der resultierenden Kraft gilt allgemein:

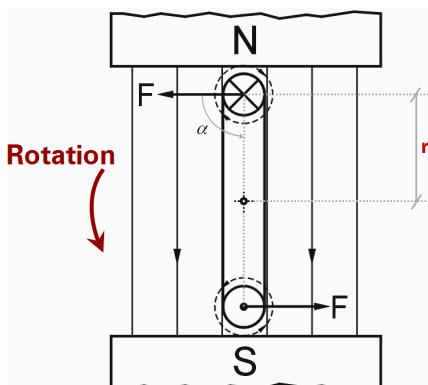
$$F = I * L * B * \sin(\alpha)$$

Dabei ist  $\alpha$  der Winkel zwischen Magnetfeld- und Stromflussrichtung.

Größe	Beschreibung
F	Kraftvektor
B	Induktionsvektor (Feldlinien)
L	Längenvektor des Leiters im Feld
I	Strom



Für elektrische Antriebe beträgt dieser Winkel im Normalfall immer  $90^\circ$ , wie in den nachfolgenden Skizzen zu sehen ist.



Die Kraft auf den Leiter hängt von der Intensität des Magnetfeldes, der Stromstärke und der Länge des Leiters in diesem Magnetfeld ab.

Nachstehende Skizzen veranschaulichen das Prinzip der Umsetzung dieser Kraft in eine Rotationsbewegung.

Abbildung 8: Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld

Eine drehbar gelagerte leitende Spule befindet sich in einem Magnetfeld. Ein Stromfluss im Leiter bewirkt in den Spulenabschnitten quer zur Ausrichtung des Magnetfeldes mechanische Kräfte - in der Skizze sind diese Abschnitte senkrecht zur Bildebene eingezeichnet.

Diese Kräfte wirken am Rotationsumfang der drehbaren Spule. Für die resultierende Drehbewegung lässt sich das Moment folgendermaßen ausdrücken:

$$M = 2 * F * r * \sin(\alpha)$$

Von dieser Stellung aus würde das System nach einer bestimmten Zeit eine Ruhelage einnehmen:

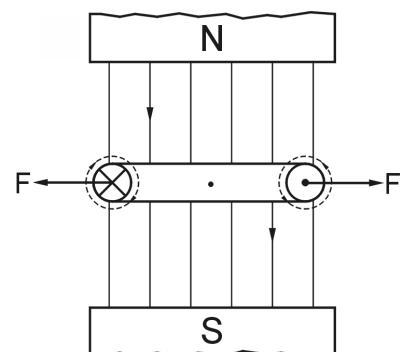


Abbildung 9: Drehbare Spule in Ruhelage

**Um die Rotationsbewegung aufrechtzuerhalten gibt es zwei Möglichkeiten:**

- Umkehrung der Stromflussrichtung
- Umkehrung der Magnetfeldpolarität

# Komponenten eines Antriebssystems

## Umkehrung der Stromflussrichtung

Die Spule rotiert durch ihre mechanische Trägheit über die Ruhelage hinaus. Zu diesem Zeitpunkt wird der Stromfluss umgekehrt und dadurch die Wirkungsrichtung der Spulenkräfte invertiert. Die Rotationsbewegung wird fortgesetzt. Durch die Umkehrung der Stromflussrichtung in der Erregerwicklung wird das Erregerfeld invertiert. Die Steuerung des Stromflusses wird von elektronischen Schaltelementen (Leistungstransistoren) übernommen, wodurch mechanische Verschleißteile entfallen.

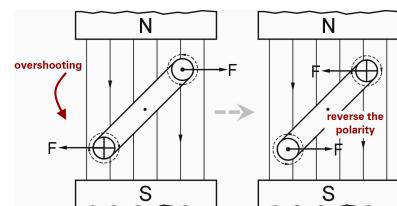


Abbildung 10: Umkehrung der Stromflussrichtung

Bei der Gleichstrommaschine wird dies, wie in der Anordnung oben gezeigt, durch einen Kollektor und Bürsten zur Kontaktierung realisiert. In diesem Zusammenhang wird von einer mechanischen Kommutierung gesprochen.

Nachteil des Kollektormotors ist der Verschleiß der mechanischen Elemente des Stromwenders (Kollektor, Kohlebürsten) und den dadurch entstehenden Wartungsanforderungen.

Die Veränderung des Erregerfeldes (Stator) kann mit Hilfe von elektronischen Stellgliedern (Leistungstransistoren) durchgeführt werden. In diesem Fall entspricht der Rotor einem Magneten.

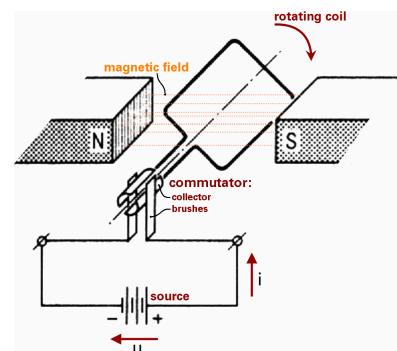


Abbildung 11: Rotation durch Stromrichtungs-Umkehr

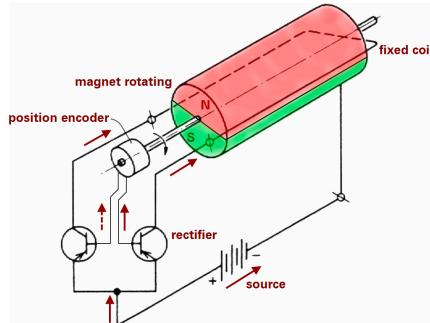


Abbildung 12: Rotation durch Umkehrung des Magnetfeldes

## Umkehrung der Magnetfeldpolarität

Elektrische Antriebsmotoren bestehen aus einem beweglichen Teil, dem sogenannten Rotor und einem feststehenden Teil, dem Stator. Im Beispiel entspricht die drehbar gelagerte Spule dem Rotor, vom Stator wird das Magnetfeld erzeugt.

Mit dem soeben gewonnenen Erkenntnissen wird die Funktionsweise von elektrischen Antrieben anschaulicher. Die **Kommutierung** oder Stromwendung sorgt dafür, daß sich immer eine stromdurchflossene Leiterschleife in der richtigen Stellung - um  $0^\circ$  zum Feld - im Erregerfeld befindet.

## 3.1.2 Gleichstrommaschine

Die Gleichstrommaschine ist auch unter dem Begriff DC-Motor bekannt. Über die Wirkungsweise des Gleichstrommotors wurde bereits im vorangegangenen Kapitel gesprochen. Der Gleichstrommotor ist mit mehreren Wicklungen am Rotor ausgeführt, die über statische Kohlebürsten am Kollektor, bei idealer Stellung, bestromt werden.

Bei größeren Motoren kann auch das Statorfeld in mehrere Pole aufgeteilt werden. Das Funktionsprinzip bleibt dabei völlig gleich. Mehrere Kohlebürsten sorgen dann für die gezielte Bestromung der Rotorwicklungen.

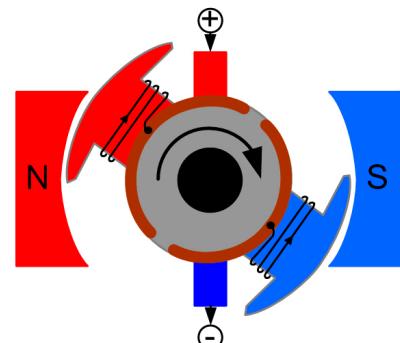


Abbildung 13: Aufbau eines Gleichstrommotors (haade / de.wikipedia.org)

Vor der Entwicklung industriell einsetzbarer Leistungselektronik war der Gleichstrommotor aufgrund seiner einfachen Regelbarkeit (einfache Drehzahlverstellung durch Verstellung der Versorgungsspannung) gegenüber den Drehstrommotoren stark bevorzugt.

Erst mit den Möglichkeiten der modernen Antriebstechnik mit Drehstrommotoren wurde der Gleichstrommotor bei Positionierungsanwendungen mehr und mehr ins Abseits gedrängt.

### Einsatzgebiete:

- Fahrzeugtechnik (z.B. Scheibenwischermotoren, Fensterheber)
- Unterhaltungselektronik (z.B. Vibrationsalarm bei Mobiltelefonen)
- Stellantriebe
- Haushaltstechnik (z.B. Staubsauger)

## 3.1.3 Drehfeldmaschine

Entwicklungen im Bereich der Elektronik aber auch auf dem Gebiet der Werkstoffe haben bei den Antriebssystemen zu einer Verlagerung vom Gleichstrommotor zum Drehstrommotor geführt. Bei Servoantrieben, welche früher fast ausschließlich in Gleichstromtechnik ausgeführt wurden, geht die Tendenz zum Drehstrom-Synchronmotor (siehe Synchronmaschine).

Die Funktionsweise der Drehfeldantriebe lässt sich auf die Variation des Statorfeldes zurückführen. Das von den Statorspulen erzeugte Feld in dem sich der Rotor befindet wird zeitlich so verändert, dass sich eine rotierende Magnetfeld-Ausrichtung ergibt (→ Drehfeld).

Die dazu benötigte Einspeisung der Spannungen an den Statorwicklungen lässt sich am einfachsten über den Spannungsverlauf des dreiphasigen Versorgungsnetzes beschreiben:

# Komponenten eines Antriebssystems

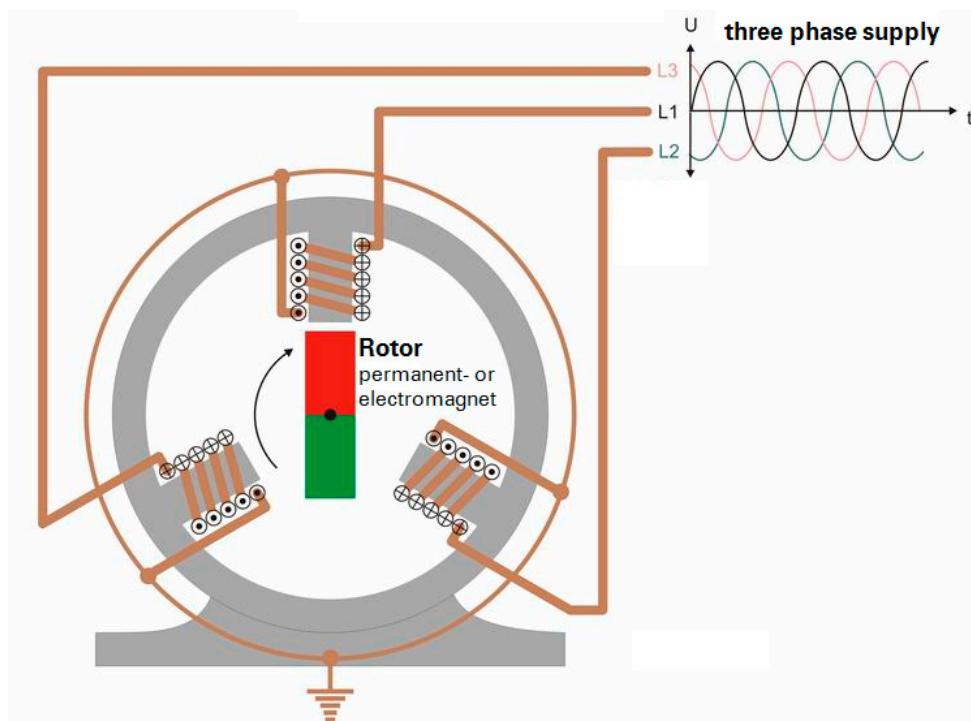


Abbildung 14: Funktionsprinzip Drehfeldmaschine

Die sinusförmigen Versorgungsspannungen der einzelnen Phasen erreichen in zeitlich regelmäßigen Abständen jeweils nacheinander ihre Spitzenwerte, elektrisch um  $120^\circ$  versetzt. Auch die Wicklungen sind am Stator gleichmäßig aufgeteilt.

Der Rotor kann als Permanentmagnet oder als Elektromagnet ( $\rightarrow$  stromdurchflossene Spule) ausgeführt sein. Man kann sich den Rotor auf jeden Fall als Magneten vorstellen, der sich entsprechend dem Feld in dem er sich befindet ausrichtet.

Das Maximum der Speisespannung und damit das Maximum des Statorfeldeinflusses wandern am Statorumfang im Kreis. Der aus den einzelnen Spulenfeldern zusammengesetzte Magnetfeldvektor rotiert.

Der Rotor wird zwischen den einzelnen Statorwicklungen weitergegeben.

Spezielle Bauformen der Drehfeldmaschine sind auf dem Vormarsch. Die sogenannten Direktantriebe gewinnen durch ihre speziellen Eigenschaften für die automatisierte Positionierung zunehmend an Bedeutung.

**In der Art und Weise, wie das Magnetfeld im Rotor zustandekommt, unterscheiden sich die beiden Drehstrommotor-Typen:**

- 3.1.4 "Asynchronmaschine" auf Seite 15
- 3.1.5 "Synchronmaschine" auf Seite 16



Eine Beschreibung wie die verschiedenen Typen von Drehfeldmaschinen geregelt werden können ist unter 3.3 "Stromrichter" auf Seite 31 zu finden.

## 3.1.4 Asynchronmaschine

Der Stator einer Asynchronmaschine ist, gemäß einer Drehfeldmaschine, mit einer Drehstromwicklung ausgeführt.

Der Rotor unterscheidet sich von der Synchronmaschine durch das Fehlen der permanenten Erregung. Leiterstäbe werden im Rotor über einen Kurzschlussring verbunden (Kurzschlussläufer). Es entsteht ein System aus Leiterschleifen.

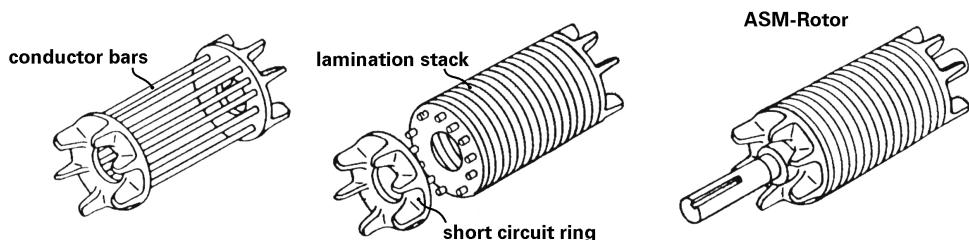


Abbildung 15: Kurzschlussläufer einer Asynchronmaschine

Da sich der Rotor in einem veränderlichen Magnetfeld befindet, wird in die Leiterschleifen eine Spannung induziert (Lenz'sche Regel). Diese Spannung erzeugt einen Stromfluss in den Leiterstäben. Auf den stromdurchflossenen Leiter wirkt nun wiederum durch das Statorfeld eine Kraft (Lorentz-Kraft), welche den Rotor in Bewegung versetzt.

Nach dem Hochlaufvorgang dreht sich der Rotor schließlich mit einer Geschwindigkeit, die knapp unterhalb des Drehfeldes liegt. Diese Geschwindigkeitsdifferenz (der Schlupf) ist notwendig um noch genügend Strom in den Läufer zur Überwindung von Reibung, Luftwiderstand, bzw. Lastmomenten induzieren zu können.

Da der Läufer nie die Geschwindigkeit des Drehfeldes erreichen kann, wird der Bewegungsvorgang als asynchron bezeichnet, daher der Name Asynchronmaschine.

Durch den mechanischen und elektrischen Aufbau der Asynchronmaschine ergibt sich das typische Einsatzgebiet. Asynchronmotoren werden meist bei Nenndrehzahl betrieben, selten jedoch im Stillstand, da die Kühlung des Motors meist drehzahlabhängig erfolgt. Die Kühlung wird beispielsweise durch ein am Rotor montiertes Schaufelrad, welches einen Luftstrom durch die Kühlrippen leitet, realisiert. Für Lüfter und Pumpen reicht oft ein langsames Anfahren des Motors und anschließender Betrieb zwischen 30 und 100% der Nenndrehzahl aus.

### Mögliche Einsatzgebiete für Asynchronmaschinen:

- Pumpen
- Kompressoren
- Ventilatoren
- Fördertechnik
- Pressen, Mischen, Rührer
- Zentrifugen



Dieser Motortyp eignet sich gut für den Betrieb an einen Frequenzumrichter. Hier erfolgt die Drehfeldvorgabe ohne Bezug auf die Rotorposition.

# Komponenten eines Antriebssystems

## 3.1.5 Synchronmaschine

Der geblechte Stator nimmt die sternförmig geschaltete Drehstromwicklung mit den Ausführungen U, V und W auf. Durch den Anschluss an ein Drehstromnetz wird von der Statorwicklung ein Drehfeld erzeugt.

Der Rotor wird bei der Synchronmaschine entweder mit einem Elektromagneten (stromdurchflossene Wicklungsanordnung) oder einem Permanentmagneten bestückt. Das Rotorfeld wird also aktiv erzeugt.

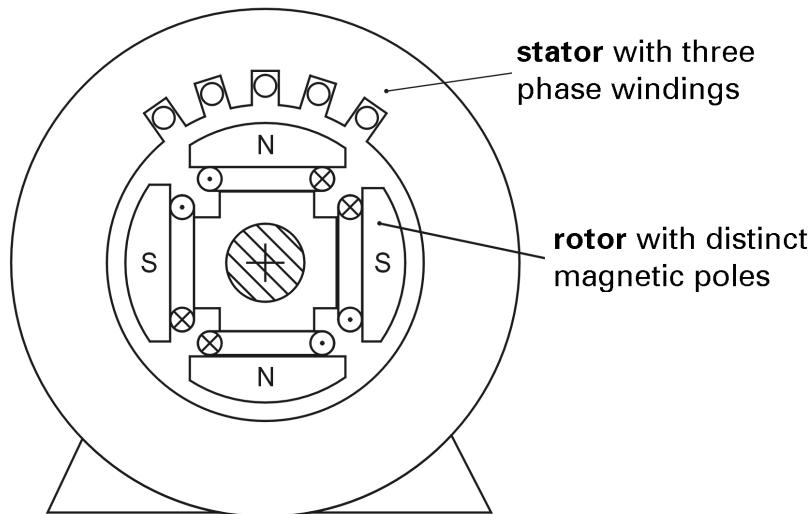


Abbildung 16: Schematischer Aufbau einer Synchronmaschine

Der Rotor wird ohne Schlupf im Drehfeld ausgerichtet, daher kommt auch die Bezeichnung Synchronmotor. Durch diese Eigenschaften kann der Synchronmotor gut für Positionieraufgaben eingesetzt werden. Die Drehzahl ist durch die Polpaarzahl mit der Frequenz der Wechselspannung verknüpft.

Neuartige, extrem leistungsfähige Permanentmagnete steigern durch ihre hohe Energiedichte die Leistung des Motors bei gleichzeitiger Reduzierung der Masse. Damit erhöht sich die Dynamik der Antriebe und die Baugröße der Motoren wird geringer. Die optimalen Rundlaufegenschaften ermöglichen hochpräzise Positionierungen.

Synchronmotoren können durch ihren mechanischen und elektrischen Aufbau gut im Stillstand sowie am Nenn- und Maximalpunkt der Motorkennlinie betrieben werden. Durch die Oberflächenkühlung ist es möglich den Motor im Stillstand ein Moment halten zu lassen, dann auf einen Position zu schicken und anschließend wieder ein Haltemoment ausüben zu lassen. Bewegungszyklen und Dynamik im Millisekunden-Bereich sind möglich.



Abbildung 17: B&R Drehstrom-Synchronmotor

### Mögliche Einsatzgebiete:

- Hochgenaue Stell- und Positionierantriebe
- Elektronische Getriebekopplungen
- Handlingsysteme
- Werkzeugmaschinen, CNC-Anwendungen
- Roboter



In den nachfolgenden Abschnitten folgen Beschreibungen über weit verbreitete Sonderbauformen der permanenterregten Synchronmaschine. Diese werden oft als Direktantriebe eingesetzt.



Hardware \ Antriebstechnik \ Drehstrom-Synchronmotoren

## 3.1.6 Direktantriebe

Ein Direktantrieb besitzt die markante Eigenschaft, dass die elektrische Maschine direkt mit der Arbeitsmaschine verbunden ist. Ein solches System stellt hohe Ansprüche an eine korrekte Auslegung, da die Drehzahl vom Motor auch der Arbeitsmaschine entspricht. In dieser Konfiguration wird völlig auf ein Getriebe verzichtet. Weitere Informationen über Antriebsmechanik sind hier zu finden: [3.4 "Antriebsmechanik und Kraftübertragung" auf Seite 39](#)

In diesem Zusammenhang ist ein besonderes Augenmerk auf die Baugröße bei hohen Drehzahlen zu legen. Grund dafür ist nicht nur der Wegfall des Getriebes, sondern auch die verringerte Masse des Motors.

Dies lässt sich auf die abgegebene Leistung zurückführen, da diese bei gleichem Drehmoment mit steigender Drehzahl steigt.

**Häufig werden die Direktantriebe anhand ihrer unterschiedlichen Drehzahlen aufgeteilt in:**

- Langsamläufer
- Schnellläufer

### Langsamläufer

Bei dem Langsamläufer erfolgt die Drehzahlreduzierung über eine hohe Polzahl. Beispielsweise besitzt eine 30-polige Maschine eine Nenndrehzahl von  $200 \text{ min}^{-1}$ . Als klassischer Anwendungsfall gelten Generatoren in Wasserkraftwerken, die eine Drehzahl von  $65,2 \text{ min}^{-1}$  bei einer Polzahl von 92 aufweisen.



Motoren mit einer hohen Anzahl an Polpaaren werden "Hochpolig" genannt. Derartige Motoren haben eine geringere Drehzahl und liefern ein höheres Drehmoment.

Bei gleichbleibender Leistung kann der Motor mehr Moment liefern.

### Schnellläufer

Die Schnellläufer sind deutlich schneller als herkömmliche Motoren. Die Drehzahlen bewegen sich durchaus in Bereichen über  $100.000 \text{ min}^{-1}$ . Diese Bereiche lassen sich durch eine Speisung mit Frequenzumrichtern und einer Speisefrequenz von mehreren Hundert Hz bis über 1000 Hz realisieren. Mechanisch gesehen sind diese Motoren kleiner als herkömmliche - bei gleicher Leistung. Es gelten hohe Anforderungen für die umlaufenden Teile, da diese teils erheblichen Radialbeschleunigungen (Fliehkräfte) entgegenwirken müssen. Typische Einsatzbereiche für Schnellläufer sind zum Beispiel Turbomolekularpumpen (Vakuumpumpe) und elektrische Turbolader, welche bis zu  $130.000 \text{ min}^{-1}$  erreichen.

Die Leistungsdichte beschreibt die erreichbare Abgabeleistung eines Antriebes auf seine Masse und Baugröße bezogen.

# Komponenten eines Antriebssystems

Spezielle Motorentypen bei den Direktantrieben sind:

- 3.1.6.1 "Linearmotoren"
- 3.1.6.2 "Torquemotoren"

## Vorteile von Direktantrieben im Detail

Kernaufgabe ist es, die für die Bewältigung von Prozessen wie Fördern, Mischen oder Trennen erforderlichen Kräfte, Momente und Bewegungsformen durch geeignete Antriebe bereitzustellen.

Die Antriebsauslegung erfordert dabei eine Anpassung des Betriebspunkts der Antriebsmaschine an den Betriebspunkt des Lastprozesses (Moment, Drehzahl). Die Anpassung an den Prozess erfolgt dann in der Regel durch ein Getriebe, in dem Drehmoment und Drehzahl entsprechend gewandelt werden:

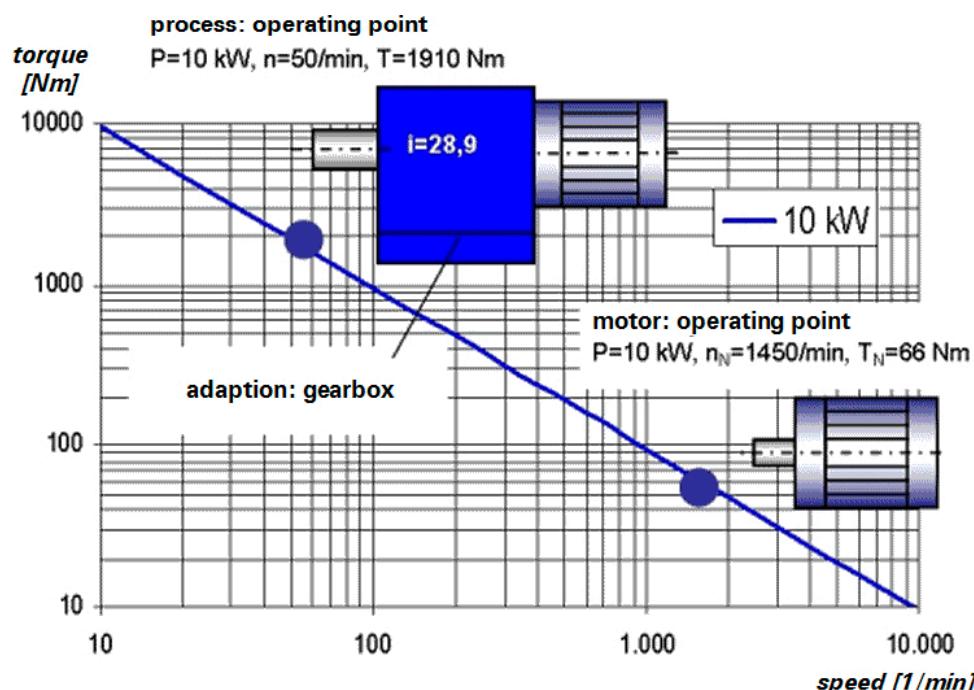


Abbildung 18: Anpassung durch mechanisches Getriebe

Wenn der Betriebspunkt des Prozesses mit dem der Antriebsmaschine zusammenfällt, kann also auf ein Getriebe verzichtet werden, der Motor - hier der Elektromotor - wird zum Direktantrieb.

Durch den Entfall der mechanischen Übertragungselemente ist ein Direktantrieb spielfrei.

Systemgrößen wie Strom, Kraft bzw. Drehmoment und Geschwindigkeit bzw. Drehzahl können direkt erfasst und in ein Regelungskonzept miteinbezogen werden. Dies wirkt sich neben der verbesserten Positioniergenauigkeit auch vereinfachend auf die Regelung dieser Antriebe aus.

**Generelle Eigenschaften der Direktantriebe sind:**

- Geringe Massenträgheitsmomente
- Präzision (spielfrei) gepaart mit Dynamik
- Eliminierung von Verschleißteilen
- Kleinerer Bauraum
- Große Hohlwellendurchmesser möglich

Bei Direktantrieben kann die hohe Leistungsdichte zu einer stärkeren Erwärmung des Antriebs führen. Sie werden daher häufig mit Wasser- oder Luftkühlungssystemen ausgestattet, was bei vergleichbaren Antrieben mit mechanischer Leistungsumformung nicht immer erforderlich ist.

## 3.1.6.1 Linearmotoren

Translatorische Direktantriebe nutzen die an Hand der rotatorischen Motoren erläuterten Wirkprinzipien (Translation = geradlinige Bewegung). Dabei kommt das Prinzip der permanenterregten Synchronmaschine am häufigsten zur Anwendung.

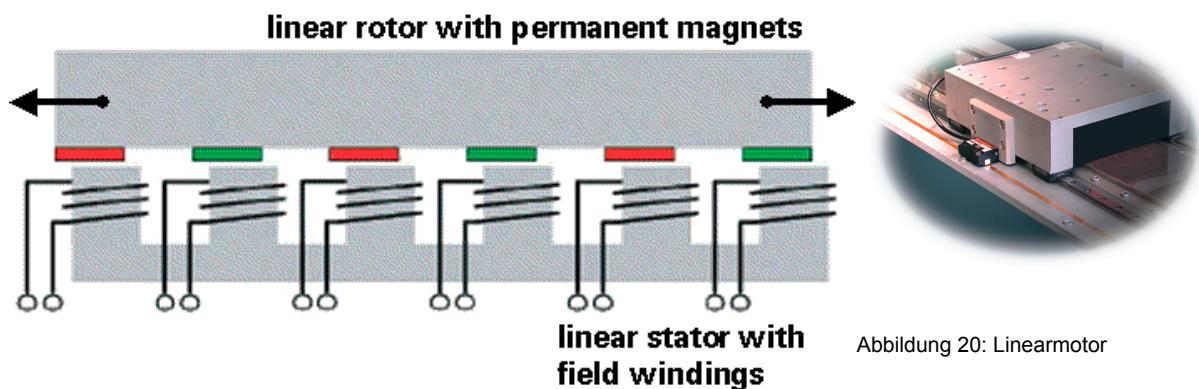


Abbildung 20: Linearmotor

Abbildung 19: Aufbau eines Linearmotors

Beim Linearmotor finden sich die gleichen Komponenten wie bei der Drehfeldmaschine, Stator und Rotor, in linearer Form. Durch die Drehstromanspeisung der Statorwicklungen wird der Rotorschlitten linear positioniert.

### Einsatzgebiete:

- Werkzeugmaschinen
- Positioniersysteme
- Handlingsysteme
- Schneidanlagen
- Haushalts-Elektro-Kleingeräte

# Komponenten eines Antriebssystems

## 3.1.6.2 Torquemotoren

Vom Aufbau her werden Torquemotoren meist als hochpolige permanenterregte Synchronmotoren gefertigt.

Häufig wird der Torquemotor mit einem zu einer Hohlwelle ausgeformten Rotor gebaut. Dies ermöglicht die mechanische Verbindung für die Übertragung hoher Drehmomente. Der Torquemotor kann optimal an die Arbeitsmaschine angepasst werden.

### Mögliche Einsatzgebiete:

- getriebeloser Direktantrieb
- Druckzylinderachsen (Präzision, Spielfreiheit, Steifigkeit)
- Exzenterpressen
- Belichter
- Folienreckanlagen
- Papiermaschinen



Abbildung 21: B&R Motoren,  
Torquemotor im Hintergrund

## 3.1.7 Schrittmotor

Der Schrittmotor zählt zur Familie der Synchronmotoren. Das Funktionsprinzip ist sehr simpel. Der Rotor wird schrittweise um einen minimalen Winkel, auch Schritt genannt, gedreht. Dies erfolgt durch Steuerung des rotierenden elektromagnetischen Feldes in der Statorspule.

Ein Schrittmotor besitzt in der Regel eine deutlich höhere Polpaarzahl als ein Synchronmotor.

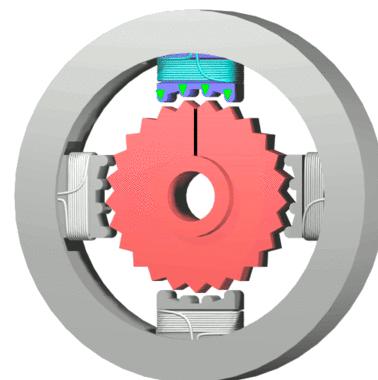


Abbildung 22: Aufbau eines  
Schrittmotors (*Teravolt /  
en.wikipedia.org*)



Durch Betrieb des Motors mit ungeeigneter Last, zu hohem Moment oder zu hoher Drehzahl, kann der Rotor dem Drehfeld nicht mehr folgen.

In diesem Fall wird von einem Schrittverlust gesprochen. Durch richtige Antriebsdimensionierung kann dieser jedoch ausgeschlossen werden.

Intelligente Schrittmotoransteuerungen sind in der Lage Schrittverluste zu erkennen, eine Kombination mit einem Positionsgeber ist möglich.

Abbildung 23: B&R Schrittmotoren

Des Weiteren kann der Rotor in mehreren Schritten innerhalb eines sogenannten Vollschrittes positioniert werden (Microschrittbetrieb). Durch die richtige Dimensionierung des Antriebs ist eine hochgenaue Positionierung möglich.

Schrittmotoren zeichnen sich durch ihre hohe Lebensdauer, hohes Drehmoment und ihre geringen Anschaffungskosten aus. Drehzahlen bis  $1000 \text{ min}^{-1}$  sind üblich. Meistens werden Schrittmotoren ohne Geberrückführung angesteuert und positioniert.

## Mögliche Einsatzgebiete:

- Zustellachsen
- Verfahreinheiten
- Schlauchpumpen
- Schwenkantriebe
- Webmaschinen
- CNC Einheiten
- Nadel- und Tintenstrahldrucker



Hardware \ Antriebstechnik \ Schrittmotoren

## 3.2 Positionsgeber

Ein wichtiger Bestandteil vieler Antriebssysteme ist der Positionsgeber. Er ermöglicht die genaue Bestimmung der Position und Lage eines mechanischen Elements. Daraus lässt sich auch die Bewegungsgeschwindigkeit ableiten. Der gemessene Positionswert hat häufig einen direkten Einfluss auf die Antriebslösung.

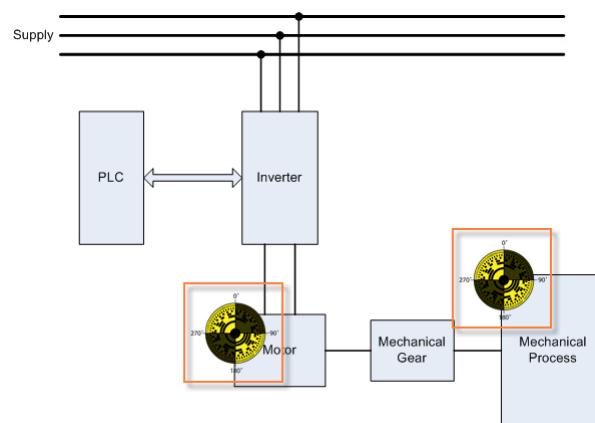


Abbildung 24: Positionsmeßung im Antriebssystem

Gebersysteme mit verschiedener Auflösung und Funktionsweise werden eingesetzt. Oft ist der Positionsgeber direkt Bestandteil des Motors, jedoch sind auch Positionsmeßungen an der Last möglich.

# Komponenten eines Antriebssystems



Abhängig von der Positionieraufgabe ist eine Positionsrückführung an den Positionsregler notwendig. Häufig wird in Verbindung mit Frequenzumformern oder Schrittmotoren auf eine Positionsrückführung verzichtet. Dies geschieht einerseits aus Kostengründen, andererseits ist oftmals die erreichbare Positionier- oder Geschwindigkeitsgenauigkeit auch ohne Geber ausreichend.

## Das Einheitensystem

Die exakte Position eines Antriebes ist die wichtigste Information bei der Steuerung eines Positionierungsprozesses. Durch die Einführung eines eindeutigen Einheitensystems bei dem die Lage des Positionsnullpunktes und die Aufteilung der Motorumdrehungen in eine bestimmte Anzahl von Positionereinheiten definiert ist, kann das Antriebssystem und damit die verbundene Mechanik der Arbeitsmaschine auf eine definierte Position verfahren werden.



Durch die Definition eines Einheitensystems kann in der Positionieranwendung für den Verfahrweg eine physikalische Einheit verwendet werden. Die Angabe des Weges erfolgt dann nicht mehr in Rotorumdrehungen sondern beispielsweise in 10tel mm oder Grad.

### 3.2.1 Der Positionsgeber als Messglied

Der Positionsgeber stellt ein wichtiges Messglied in einer Antriebskonfiguration dar. In einem Positioniersystem wird Positionsgeber als Messwerkzeug verwendet und nimmt eine Mehrfachrolle ein.

Über den Positionsgeber erhält der Antriebsregler die Information zur aktuellen Position bzw. Geschwindigkeit des Antriebes. Das Statorfeld des elektrischen Antriebes wird vom Servoverstärker gezielt gesteuert (sog. elektronische Kommutierung). Durch diese Ansteuerung kann der Antriebsrotor auf eine definierte Ausrichtung gebracht oder dynamisch in Bewegung versetzt werden.

Damit kann der Antriebsregler über eine interne Regelung auf Abweichungen des Antriebs vom vorgegebenen Positionierungsverlauf (Sollposition, Sollgeschwindigkeit) reagieren.

Ein Antriebsregler muss zusätzlich noch die aktuelle Lage des Antriebsrotors innerhalb einer Umdrehung genau kennen, um die Ansteuerung an der richtigen Stelle wirksam zu machen.

Darum wird bei Servomotoren (→Synchronmotoren, die für den Betrieb über einen Servoverstärker vorgesehen sind) der Positionsgeber meist direkt im Motorengehäuse an die Antriebswelle gekoppelt.

Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl eines Gebertyps ist die Auflösung und Genauigkeit. Beide Faktoren haben Einfluss auf die Güte der Regelung. Die Auflösung gibt die physikalisch unterscheidbaren Messwerte des Gebers innerhalb einer Motorumdrehung an (Strichzahl).

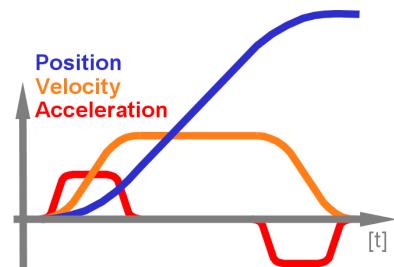


Abbildung 25: Durch Gebersysteme messbare Größen



Abbildung 26: Integrierter Positionsgeber

Je hochwertiger ein Geber ist, umso mehr unterscheidbare Messwerte oder Striche innerhalb einer Umdrehung weist dieser auf. Damit verbunden ist auch die kleinste messbare Positions differenz innerhalb einer Umdrehung. Das Auflösungsvermögen hat Einfluss auf die Messbarkeit kleinstster Positionsveränderungen und Positionsabweichungen. Die Genauigkeit des Gebers beschreibt, welche kleinste Positionsdistanz unterschieden werden kann. Sie wird in Winkelkunden oder Winkelminuten angegeben

## Im nächsten Abschnitt werden folgende Gebersysteme näher erläutert:

- Optischer Inkrementalwertgeber
- Induktiver Absolutwertgeber - Resolver
- Optischer Absolutwertgeber
- Absolutwertgeber - EnDat
- Absolutwertgeber für funktionale Sicherheit
- Synchronserielles Interface - SSI
- BISS - Interface
- Motorfeedbacksystem - Hiperface

### 3.2.2 Optischer Inkrementalwertgeber

Der optische Inkrementalwertgeber besitzt eine lichtdurchlässige Glasscheibe auf der ein digitaler Strichcode aufgedampft wird. Eine Drehrichtungserkennung, Geschwindigkeitsmessung und Positionserfassung mit hoher Auflösung sind Eigenschaften des optischen Inkrementalwertgebers. Für die Erfassung der Position ist in jedem Fall eine Referenzfahrt erforderlich.

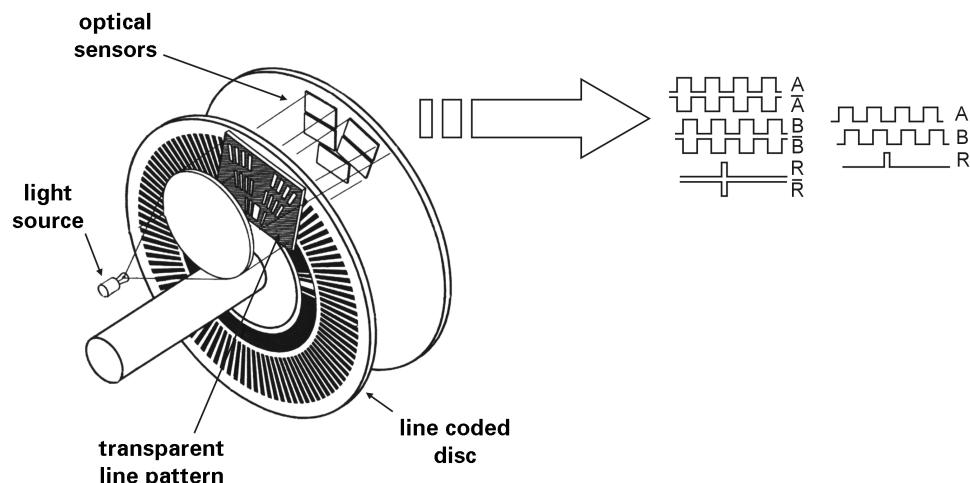


Abbildung 27: Optischer Inkrementalgeber

Durch die Überlagerung wird ein Sinus-Signal, bzw. ein um  $90^\circ$  verschobenes Cosinus-Signal zu Rechteck-Gebersignalen verarbeitet.

Diese werden von der Auswerteelektronik zur Bildung des Positionszählerstandes genutzt.

Durch das Auswerten der Reihenfolge, der fallenden und steigenden Flanken der Geberspuren, ist eine Drehrichtungserkennung möglich.

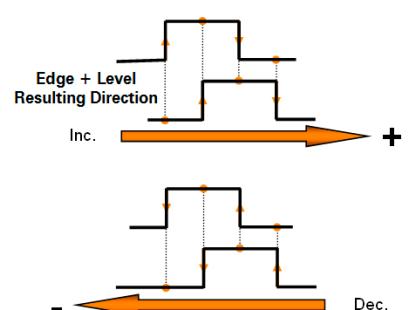


Abbildung 28: Singalauswertung

## Komponenten eines Antriebssystems

Aufgrund der Geberinformation kann beim Inkrementalwertgeber nicht von vorne herein auf die Lage der Mechanik (→Lage des Gebers) geschlossen werden. Als Lageinformation wird immer nur das Inkrement in positiver oder negativer Richtung erkannt. Somit kann die Lage des Gebers, innerhalb einer Umdrehung, nicht ermittelt werden.

Eine zusätzlich ausgeführte Referenzspur liefert einen Anhaltspunkt für die Positionsbestimmung innerhalb einer Umdrehung. Um zwischen Zählerstand und aktueller Position einen Bezug herstellen zu können, muss eine Referenzierung durchgeführt werden.

Die Auflösung des Inkrementalwertgebers hängt von der Strichzahl, der Art der Auswertung und der maximalen Eingangsfrequenz der Folgelogik ab.

Der optische Inkrementalwertgeber besitzt eine sehr hohe Auflösung (mehrere Millionen Inkremente pro Umdrehung sind realisierbar) und zeichnet sich durch eine schnelle Auswertung aus.

Für die Regelung des Antriebsreglers (Geschwindigkeit, Position etc.) ist das von Vorteil. Informationen über eine Abweichung der aktuellen Werte von den Sollwerten stehen am Antriebsregler sehr schnell zur Verfügung. Es kann mit minimaler Verzugszeit reagiert werden.

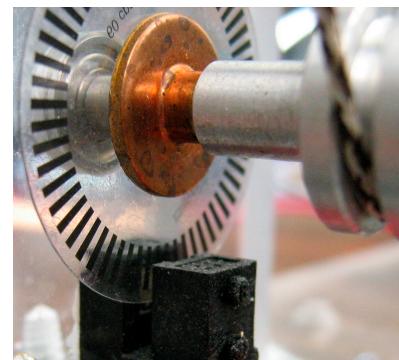


Abbildung 29: Laboraufbau eines Inkrementalwertgebers (Tycho / de.wikipedia.org)



Vor einer Positionierung muss mit Hilfe eines Referenzvorgangs zunächst das Positionssystem vorbereitet werden. Meist wird hierzu das mechanische System auf eine definierte Position gebracht, beispielsweise durch das Anfahren eines fix montierten Referenzschalters oder Endschalters.

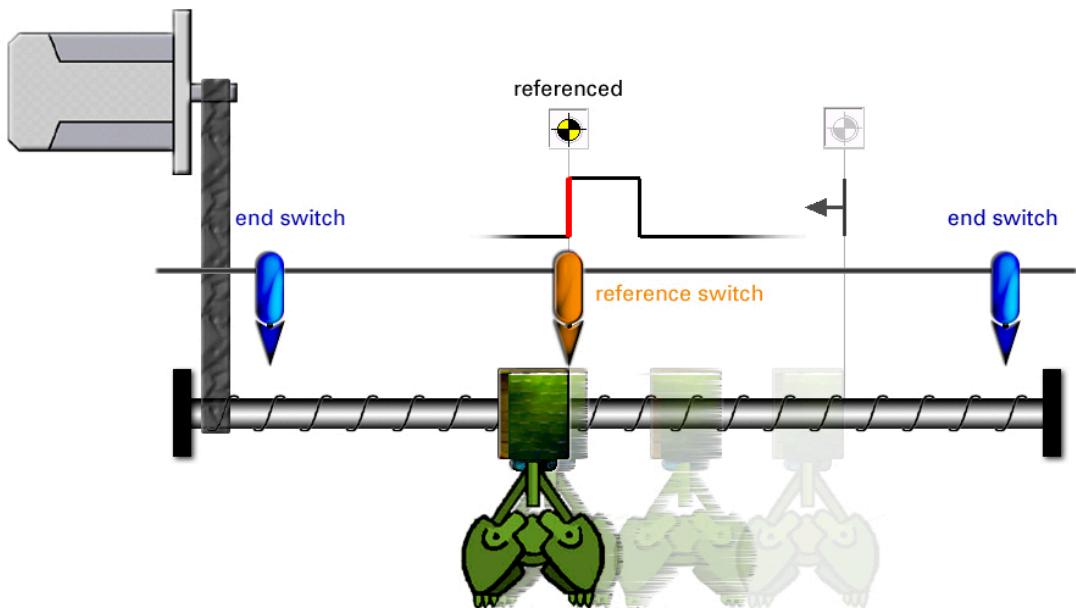


Abbildung 30: Referenzfahrt

Anschließend wird der aktuelle Position ein definierter Wert (für die softwaremäßige Positionierung) zugewiesen. Von diesem Zeitpunkt an verfügt das Antriebssystem über die Information, wo sich die Mechanik befindet. Es kann mit der Positionierung begonnen werden.

Für eine reine Geschwindigkeitserfassung kann der Referenzvorgang entfallen, da nur die gezählten Striche pro Zeiteinheit relevant sind.

### 3.2.3 Induktiver Absolutwertgeber - Resolver

Aus der Militärtechnik entstammt die Anforderung nach einem sehr robusten Geber mit einfacherem Aufbau. Diese Charakteristik entspricht dem Resolver. Der Resolver arbeitet nach dem Prinzip eines Drehtransformators. Beim Drehtransformator besteht der Rotor aus einer Spule (Wicklung), die mit der Sta-

## Komponenten eines Antriebssystems

torwicklung einen Transformator bildet. Der Resolver ist prinzipiell genauso aufgebaut, mit dem Unterschied, dass der Stator nicht aus einer, sondern aus zwei um  $90^\circ$  zueinander versetzten Wicklungen gebildet wird.

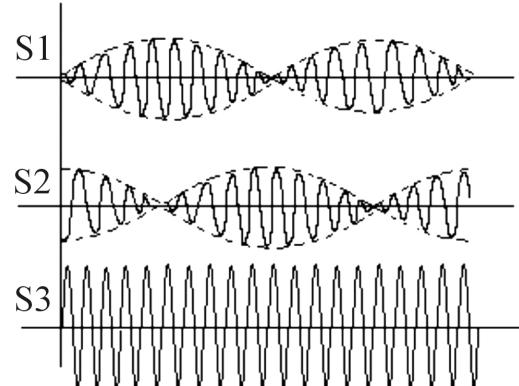
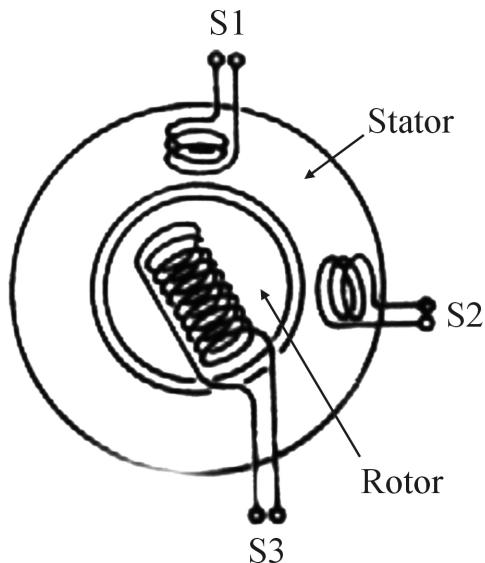


Abbildung 31: Aufbau und Messsignal eines Resolvers

Die Signalgenerierung erfolgt durch Einspeisen eines Sinussignals konstanter Frequenz in die Rotor-spule (S3). Diese überträgt nach dem Trafoprinzip auf die um  $90^\circ$  versetzten Statorspulen die Spannungssignale S1 und S2.

Bewegt sich der Rotor so ergibt sich der oben gezeigte Signalverlauf für S1 und S2. Die Hüllkurven dieser Signale beschreiben zwei um  $90^\circ$  versetzte Sinusse. Aus dieser Information schließt eine Auswertelogik auf die Position.

Liegt der Verfahrbereich der Achse innerhalb einer Geberumdrehung, so lässt sich jedem Geberwert eine eindeutige Position zuordnen und es ist keine Referenzierung notwendig. Es wird von einem Absolutwertgeber gesprochen.



Beim Resolver wiederholt sich die Lageinformation mit jeder neuen Umdrehung. Würde man das Antriebssystem deaktivieren und die Motorwelle manuell um  $360^\circ$  verdrehen, so hätte das Auswertesystem keine Chance diese Manipulation zu erkennen.

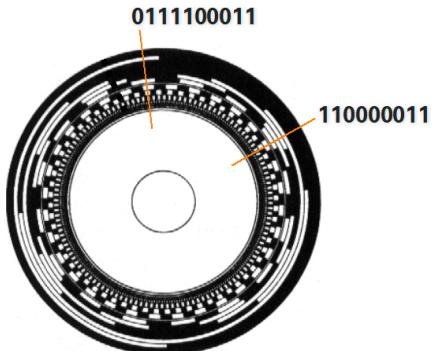
Geht der Verfahrbereich der Maschine über diese eine Umdrehung hinaus, muss eine Referenzierfahrt durchgeführt werden.

Die Auflösung des Resolvers ist von der Auswertelogik bzw. der Speisefrequenz an der Rotorspule abhängig (4096 bis 16384 Inkrementen).

Abbildung 32: Demontierter Resolver

Bis die Auswertelogik den entsprechenden Wert zur aktuellen Position liefert, vergeht eine bestimmte Zeit. Für den Regelkreis bedeutet das eine zusätzliche Totzeit.

## 3.2.4 Optischer Absolutwertgeber



Beim Absolutwertgeber wird jeder Geberposition ein eindeutiger Wert zugeordnet. Die Auflösung einer Geberumdrehung wird mit einer Bit-kodierten optischen Geberscheibe realisiert.

Abbildung 33: Bit-codierte Geberscheibe

Die Geberscheiben sind entweder im Binär- oder im Graycode ausgeführt.

Die Position wird als Bit-Kombination angegeben, wobei jedes Bit einer Spur auf der Geberscheibe entspricht. Die Signalübertragung zur Auswertelogik erfolgt beispielsweise über das SSI-Protokoll (Synchronserielles Interface - SSI).



Abbildung 34: Binär-Code



Abbildung 35: Gray-Code

Der optische Absolutwertgeber weist Ähnlichkeiten mit dem Resolver auf, da eine volle Geberumdrehung eindeutig aufgelöst werden kann. In diesem Fall wird von einem "Single-Turn"- Geber gesprochen.

Wird im Laufe der Positionierung, der Bereich einer Motorumdrehung nicht verlassen, ist mit diesem Gebertypen keine Referenzfahrt nötig. Nach dem Start des Systems zeigt der Geber einen eindeutigen Wert. Damit kann auf die Position der Mechanik geschlossen werden.

Eine Erweiterung des „Single-Turn“- Gebers ist der "Multi-Turn"- Geber. Dabei wird der Geber durch eine Zähleinrichtung erweitert, welche die Anzahl der vollständigen Umdrehungen erfasst. Mit dieser Information lässt sich der eindeutig definierte Bereich für die Positionsmeßung auf eine bestimmte Anzahl an Umdrehungen ausdehnen (typisch 4096 Umdrehungen).

Eine Referenzfahrt wird beim Einsatz eines Multi-Turn Gebers nur einmal benötigt. Sobald der Positionoffset einmal ermittelt wurde, kann sofort auf die aktuelle Maschinenposition geschlossen werden.



Abbildung 36: Mechanisches Zählwerk eines "Multi-Turn"- Gebers

## Komponenten eines Antriebssystems



Der Positionoffset ist der Unterschied zwischen tatsächlicher interner Geberposition und der Maschinenposition.

Steht die Mechanik beispielsweise auf Nullposition, die Softwareposition hat beispielsweise den Positions値 = 56343, so soll die Position hier auf den Wert Null referenziert werden. Es ergibt sich ein Positionoffset von 56343.

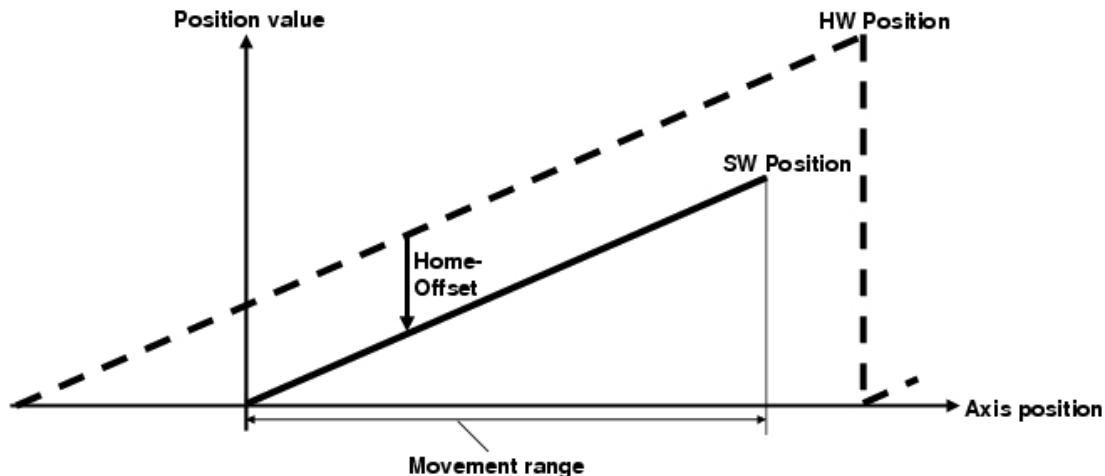


Abbildung 37: Geberoffset: Verschiebung der Geberposition zur realen Mechanikposition

In jeder Lage kann mit diesem Offset auf die Position der Mechanik geschlossen werden.

Dieses Mitzählen wird entweder mit einem zusätzlichen mechanischen Umsetzungsgetriebe oder einer elektronischen Logik bewerkstelligt.

### 3.2.5 Absolutwertgeber - EnDat

Beim EnDat<sup>1</sup>-Positionsgeber („EncoderData“) werden die beiden optischen Gebertypen, Inkrementalgeber und Absolutwertgeber, kombiniert. Damit lassen sich die Vorteile beider Technologien nutzen.

<sup>1</sup> Das EnDat-Interface ist eine von der Fa. HEIDENHAIN entwickelte digitale, bidirektionale Schnittstelle für Messgeräte.

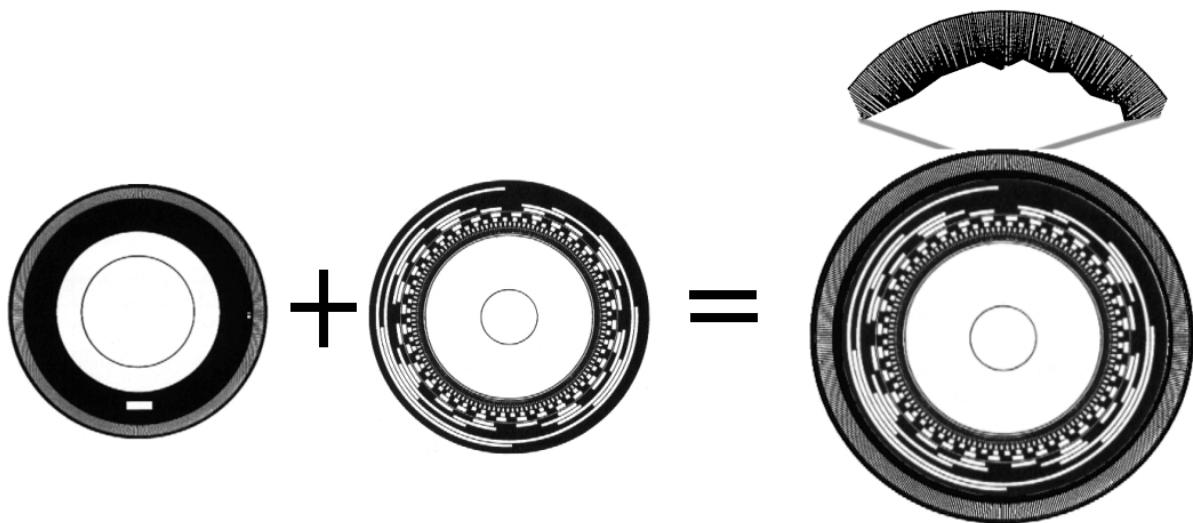


Abbildung 38: Aufbau EnDat

#### Vorzüge:

- **Inkrementalgeber:** Die Vorteile liegen in der schnellen Signalübertragung und der hohen Auflösung. Diese Eigenschaften bilden ideale Voraussetzungen für die Antriebsregelung.
- **Absolutwertgeber:** Ein ständiger Bezug (Offset) zwischen Geber- und Maschinenposition ist gegeben. Es kann von der Geberposition auf die aktuelle Stellung der Mechanik (→ Softwareposition für das Steuerungsprogramm) geschlossen werden. Eine Referenzierfahrt wird nicht immer benötigt. Dazu muss der gültige Verfahrbereich für den Geber berücksichtigt werden („Single-Turn“ / „Multi-Turn“).

#### Elektronisches Typenschild

Das EnDat-Gebersystem enthält einen nullspannungssicheren und wartungsfreien Datenspeicher, worin alle für die Inbetriebnahme des Antriebsmotors nötigen Daten gespeichert werden. Kennwerte, wie Motorparameter und Kenndaten des Gebers können vom Motorhersteller auf diesen Speicher vorprogrammiert werden. Beim Systemstart werden die Daten automatisch an den Servoverstärker übermittelt.

#### 3.2.6 Absolutwertgeber für funktionale Sicherheit

Für Antriebsapplikationen ist es heute üblich beim Durchbrechen einer Sicherheitskette, beispielsweise das Öffnen einer Schutztür, die Antriebe mit einer sicher begrenzten Geschwindigkeit oder einem sicher begrenzten Drehmoment weiterzubetreiben. Für diese Anwendungen wird ein sicherer Positionsgeber eingesetzt. Beispielsweise die EnDat Version 2.2 - FS, wobei FS für funktionale Sicherheit steht, kann für die sichere Positions- und Geschwindigkeitsüberwachung eingesetzt werden.



Weiterführende Informationen zur sicheren Antriebstechnik sind im Trainingsmodul "TM540 – Integrierte sichere Antriebstechnik" nachzulesen.

Zudem bietet B&R zu diesem Thema das Standardseminar "Automation Studio Training: Integrierte sichere Antriebstechnik (Safe Motion)" an.

# Komponenten eines Antriebssystems



Hardware \ Antriebstechnik \ ACOPOSmulti mit SafeMC

Hardware \ Antriebstechnik \ ACOPOSmulti mit SafeMC SinCos

## 3.2.7 Synchronserielles Interface - SSI

Die Synchron-Serielle Schnittstelle, kurz SSI, ist eine Datenübertragung für Absolutwertgeber. Durch die serielle Übertragung wird es ermöglicht eine absolute Information zur Position zu erhalten. Eine Reihe von Herstellern verwendet diese Schnittstelle.

### Eigenschaften:

- **Synchron:** Die Positionsdaten werden synchron zu einem Taktsignal übertragen.
- **Seriell:** Die Positionsdaten werden nacheinander mit einer bestimmten Baudrate übertragen.

Die Datenübertragung ist sehr robust und einfach aufgebaut. Die Daten werden über zwei Leitungspaare übertragen. Weitere Vorteile sind der geringe Verkabelungsaufwand. Durch verdrillte Adernpaare wird eine zusätzliche Abschirmung gegen Störeinflüsse erreicht.

Die Anzahl der Datenbits ist einstellbar, der Datenwert kann als Binär- oder Graycode übertragen werden.

### Datenübertragung

Im Sensor wird permanent der Messwert eingelesen. Beim Lesen eines Datenwertes wird eine Taktfolge auf der Clock-Leitung ausgegeben. Bei jeder steigenden Taktflanke wird ein Datenbit auf der Datenleitung gesetzt. Wurde das letzte Bit gesendet, wird der Takt gestoppt. Die Übertragung ist mit einer definierten Verzugszeit verbunden.

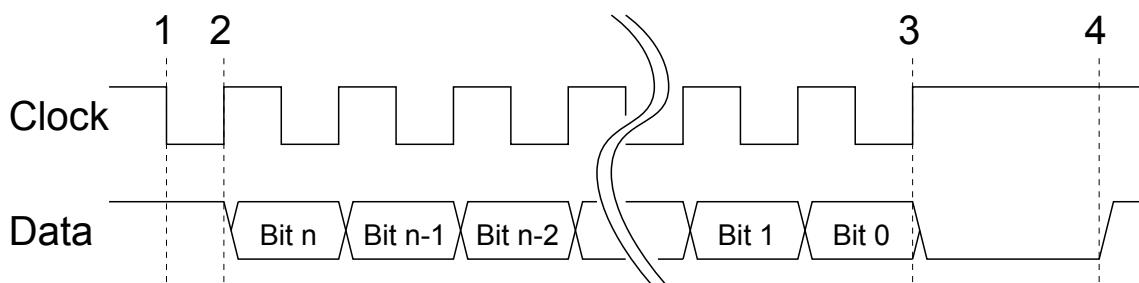


Abbildung 39: Übertragung über ein Synchronserielles Interface (SSI)

## 3.2.8 BISS - Interface

Das BISS-Interface (bidirektional / seriell / synchron) ist eine quelloffene Lösung. Es basiert auf einem Protokoll zur Umsetzung von Echtzeitschnittstellen bei der digitale Daten zwischen Controllern, Sensoren und Aktoren ausgetauscht werden können.

Das BISS Protokoll ist für industrielle Anwendungen, bei denen hohe Übertragungsgeschwindigkeiten und Sicherheit (Safety) gefordert werden, einsetzbar.

## 3.2.9 Motorfeedbacksystem - Hiperface

Hiperface steht für High Performance Interface und ist eine Standard-Schnittstelle für Motorfeedback-Systeme von der Fa. SICK STEGMANN. Diese Schnittstelle wurde speziell auf die Anforderungen der digitalen Antriebsregelung entwickelt und bietet dem Anwender vereinheitlichte und vereinfachte mechanische und elektrische Schnittstellen.

Grundlegende Eigenschaften ist die Kombination aus Inkrementalgeber und Absolutwertgeber, ein elektronisches Typenschild sowie die Option auf eine mechanisch gestützte Multiturnpositionserfassung.

## 3.3 Stromrichter

Die Aufgabe von Stromrichtern ist die Umformung elektrischer Energie aus einem Versorgungsnetz für den Betrieb elektrischer Antriebe.

Bei Drehfeldmaschinen kann das Statorfeld durch das Verändern der Anspeisung der Statorwicklungen eingestellt werden. Die Ausrichtung und Intensität des Magnetfeldes im Stator ergeben sich aus den jeweilig anliegenden Wicklungsspannungen. Die Drehzahl und die Kraft des Motors kann gezielt beeinflusst werden.

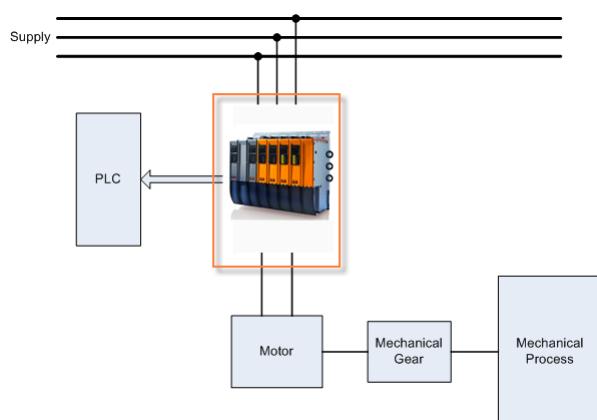


Abbildung 40: Der Stromrichter im elektrischen Antriebssystem

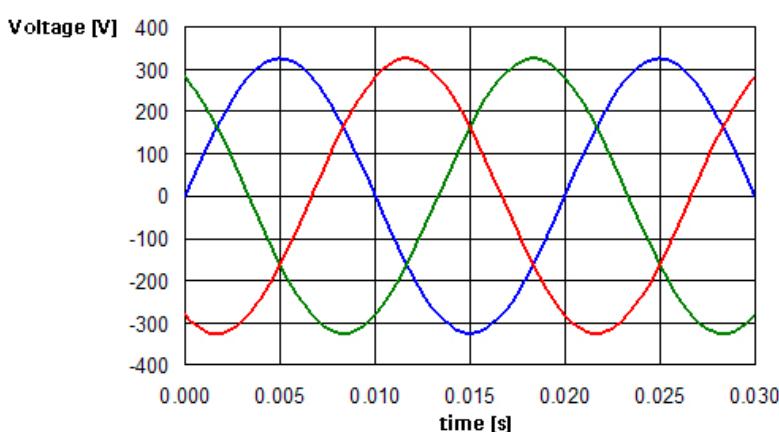


Abbildung 41: Darstellung der Phasenverschiebung im Drehstromnetz

Das Leistungsnetz stellt eine ein- oder mehrphasige Wechselspannung zur Verfügung, beispielsweise eine 3-phägige Versorgung mit 50 Hz.

Wie im Bild zu sehen ist, werden sinusförmige Spannungen mit konstanter Frequenz und Amplitude geliefert, dies wird auch als Drehstrom bezeichnet.

Ein Asynchronmotor, bedingt auch der Synchronmotor, kann direkt an diesem Netz betrieben werden. Das Statorfeld des Motors rotiert mit der Frequenz der Versorgungsspannungen.

# Komponenten eines Antriebssystems



Die tatsächliche Drehzahl des Rotors beim Asynchronmotor stellt sich leicht unterhalb der Synchronfrequenz ein (Schlupfdrehzahl des Motors). Der Synchronmotor würde sich exakt mit dem Drehfeld bewegen (bei idealer Nulllast).

Um nun den Verlauf der Statorspannungen für die Positionierung gezielt steuern zu können wird ein Stromrichter benötigt. Dieser kann elektrische Energie aus dem Netz aufnehmen und die für die Positionierung benötigten Spannungsverläufe an den Motor weitergeben.

**Unter den beiden Haupttypen unterscheidet man:**

- Frequenzumformer
- Servoverstärker

Im folgenden Abschnitt werden die Stromrichter in allgemeine Teilkomponenten aufgegliedert und beschrieben.

## 3.3.1 Das Funktionsprinzip

Die Leistungselektronik ist prinzipiell für Frequenzumrichter und Servoverstärker ähnlich.

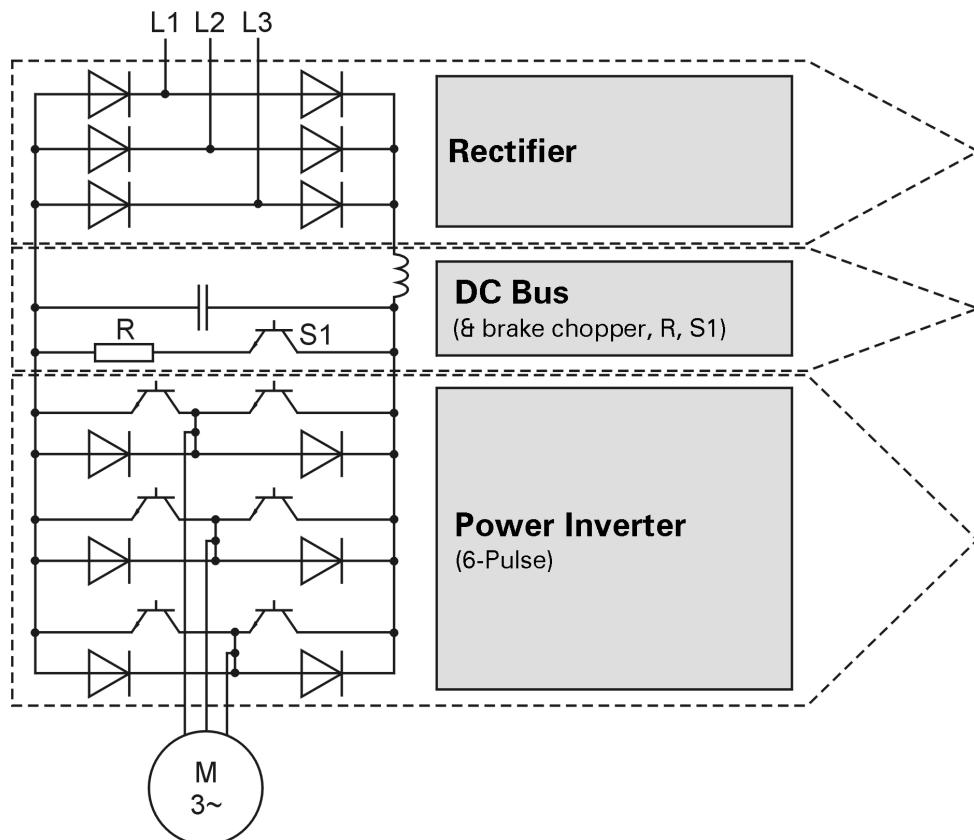


Abbildung 42: Prinzip Stromrichter, Leistungselektronik

In der Skizze sind folgende Bestandteile enthalten:

- Brückengleichrichter
- Gleichspannung zwischenkreis
- Wechselrichter

Der Brückengleichrichter erzeugt aus der sinusförmigen Wechselspannung, die vom Netz bereitgestellt wird, eine Gleichspannung. Diese Gleichspannung wird im sogenannten Zwischenkreis gespeichert. Die Zwischenkreiskondensatoren übernehmen hierbei die Speicherung und Stabilisierung der elektrischen Energie. Somit stellt der Zwischenkreis die Energiequelle dar, auf die der nachgeschaltete Wechselrichter zugreift.

Aus der Zwischenkreisspannung wird die für die Motoransteuerung benötigte Spannung getaktet. Durch Pulsweiten-Modulation (PWM) lässt sich sehr flexibel ein dynamischer Spannungsverlauf generieren.



Bei der Pulsweiten-Modulation wird durch abwechselndes Schließen und Öffnen des Spannungsventils, innerhalb einer gleichbleibenden Periode, ein bestimmter Effektivwert am Ausgang erzeugt. Je länger das Ventil innerhalb eines Taktes geöffnet ist, desto größer ist der effektive Ausgangswert dieser Periode.

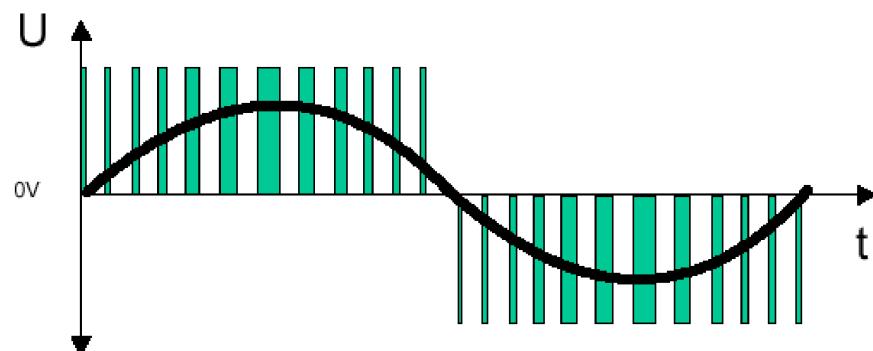


Abbildung 43: Prinzip Pulsweiten-Modulation

Die Taktfrequenz ist ausschlaggebend für die Güte der Effektivwertgenerierung.

## Weitere Komponenten im Überblick

Bei genauerer Betrachtung kommen noch weitere Funktionseinheiten hinzu:

# Komponenten eines Antriebssystems

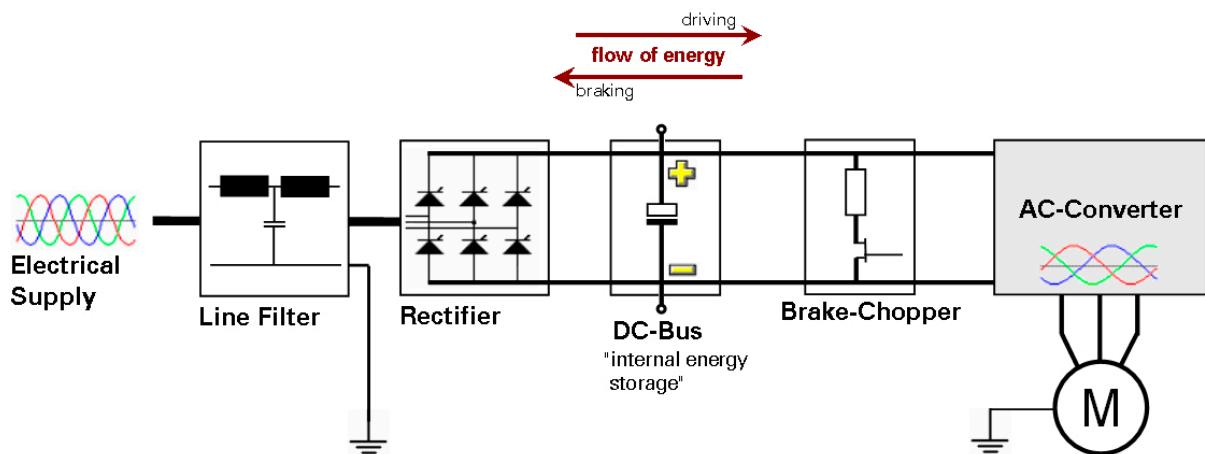


Abbildung 44: Aufbau Stromrichter

## Netzfilter

Ein Stromrichter kann Störsignale im Versorgungsnetz verursachen (beispielsweise durch Gleich- und Wechselrichter). Um eine Beeinträchtigung des Netzes zu vermeiden und andere Netzteilnehmer nicht zu beeinflussen, werden Netzfilter eingesetzt.

## Energierückführung in den Zwischenkreis

Beim aktiven Bremsen des Motors wird dieser vom Stromrichter als Generator betrieben. Es kommt zu einer Rückumwandlung der kinetischen Energie des mechanischen Systems in elektrische Energie. Diese wird vom Zwischenkreis aufgenommen.

Von dort aus kann dieser Energie-Überschuss über folgende Varianten verwertet werden:

- **Verbindung der Zwischenkreise**

Die Zwischenkreise mehrerer Stromrichtermodule können miteinander elektrisch parallel verbunden werden. Es entsteht für die verbundenen Antriebsmodule ein gemeinsamer Zwischenkreis. Ein Antrieb, welcher durch einen momentanen Bremsvorgang überschüssige Energie bereitstellt, stellt diese den anderen Teilnehmern im Zwischenkreisverbund zur Verfügung. Es wird die im System befindliche Energie optimal verwertet.

- **Bremswiderstand / Brems-Chopper**

Hierbei wird die überschüssige Energie, die vom Zwischenkreis nicht mehr aufgenommen werden kann, über einen Bremswiderstand in Wärme umgesetzt. Der Brems-Chopper taktet die Zwischenkreisspannung auf einen Bremswiderstand. Bei Erreichen der maximalen Bremsenergie wird der Leistungsschalter voll durchgeschalten.

- **Netzrückspeisung**

Die überschüssige Energie im Zwischenkreis kann in das Versorgungsnetz rückgespeist werden. Ein Wechselrichter mit entgegengesetzter Arbeitsrichtung übernimmt die entsprechende Rückanpassung der Spannung an das Versorgungsnetz. Damit wird der Energieverbrauch optimiert, da die überschüssige Energie nicht in Wärme umgewandelt, sondern wieder in das Versorgungsnetz abgegeben wird.

## Temperaturüberwachung

Wichtig für den Betrieb des Stromrichters sind die aktuellen thermischen Verhältnisse im System. Bestimmte Elemente erwärmen sich im Betrieb, dürfen aber kritische Temperaturen nicht überschreiten.

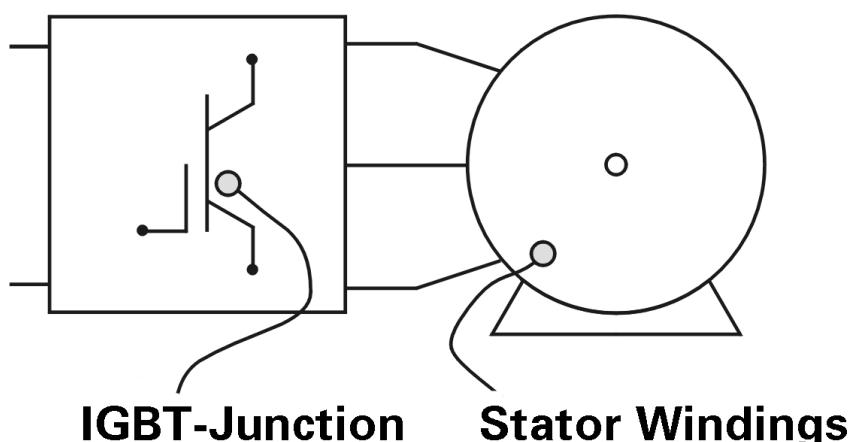


Abbildung 45: Stromrichter: Ermittlung der Sperrsichttemperatur, Motor: Temperaturüberwachung und Temperaturmodell

Die **Sperrsichttemperatur** der Leistungstransistoren muss überwacht werden. Da eine direkte Messung im Bauteil nicht möglich ist, wird mit einem Sensor die Temperatur am Kühlkörper gemessen. Der Aufbau der Leistungstransistoren ist genauestens bekannt (thermische Übergänge). Es kann von diesem Messwert über ein Temperaturmodell auf die tatsächliche Sperrsichttemperatur geschlossen werden.

Bei Belastung des Motors kommt es zu einer **Erwärmung der Statorwicklungen**. Hier wird durch Sensoren der aktuelle Temperaturwert erfasst. Zusätzlich wird mit Hilfe eines Temperaturmodells aus den aktuellen Statorströmen die Wicklungstemperatur rechnerisch ermittelt. So kann die Verzögerung der Erwärmung des Sensors (thermische Trägheit) kompensiert werden. Der Motor wird dadurch optimal geschützt.

### 3.3.2 Frequenzumformer

Frequenzumformer werden auch U/f Frequenzumrichter genannt, dies ist die einfachste Ausführung aktueller Frequenzumformer. Der Umrichter regelt die Motorspannung und die Frequenz in einem linearen Verhältnis. Dies führt zu einem sehr schwachen Drehmoment bei geringen Drehzahlen.

Abhängig von der aktuellen Belastung des angeschlossenen Motors variiert dessen Drehzahl entsprechend. Eine Kompensation (Schlupfkompensation) kann auch ohne Rückführung der Position mit einer Belastungsbestimmung durch Strommessung durchgeführt werden. Diese Ausführung ist für einfache Applikationen mit geringer Drehzahlvarianz und ohne Schweranlauf ausreichend. Es werden vorwiegend Asynchronmotoren betrieben.



Abbildung 46: ACOPOSinverter Frequenzumformer von B&R

# Komponenten eines Antriebssystems

**Ein Frequenzumrichter ist im klassischen Sinne ein Drehzahlstellgerät:**

- Die Drehfeldvorgabe erfolgt ohne Bezug auf die Rotorposition (kein Positionsgeber).
- Das Regelverhalten ist eher langsam und daher nicht auf hochdynamische Prozesse abgestimmt.
- In der Regel erfolgt eine Dimensionierung auf Nennleistung.

Die beschriebenen Eigenschaften gelten für diese Gerätegruppe im klassischen Sinn. Es gibt am Markt zahlreiche Frequenzumformer die erweiterte Regelungsmöglichkeiten wie Vektorregelung und Geberrückführung unterstützen. Je nach Gerät wird auch die Verwendung von Synchronmotoren unterstützt.

**Mögliche Anwendungsgebiete sind:**

- siehe Anwendungsgebiete Asynchronmaschine
- Wickler
- Kräne
- Inselbetrieb ohne Steuerung
- Pumpen, Ventilatoren
- Verpackungsmaschinen
- Zentrifugen
- Mischer / Rührer
- Waschmaschinen
- Fließbänder / Palletierer



Hardware \ Antriebstechnik \ ACOPOSinverter P74

## 3.3.3 Digitaler Servoverstärker

Digitale Servoverstärker werden dazu verwendet, um Synchronmotoren mit integrierter Positionsmessung anzusteuern. Dabei wird der Motor nicht über einen Drehzahlvorgabewert angesteuert, sondern es wird eine Sollposition vorgegeben, welche die Regelung im Servosystem anfährt.

Durch die direkte Integration eines Gebersystems in die Regelkreise ist es möglich die erreichte Position zu halten und beispielsweise auch hängende Lasten zu kontrollieren.

Kompakte und leistungsfähige Algorithmen lösen auf dieser Basis die regelungstechnischen Aufgaben. Auch die Überwachungseinrichtungen und Dienste zur Bedienung des Antriebes (Anwenderschnittstelle) werden von diesem System verwaltet.



Abbildung 47: ACOPOSmulti System von B&R

**Das grundlegende Regelungskonzept besteht aus drei kaskadierten Regelkreisen:**

- Positionsregler
- Geschwindigkeitsregler
- Stromregler

Aus den Vergleichswerten der Regelkreise resultiert eine entsprechende Stellgröße. Diese wird in die Steuersignale für die Pulsweiten-Modulation umgewandelt. Der Positionsgeber ist hier als wichtiges Element eingebettet. Dieser liefert den Wert zur aktuellen Lage und der daraus abgeleiteten Geschwindigkeit des Antriebs.

Diese Information dient als Vergleichswert für den jeweiligen Regelkreis. Damit wird auch die Wichtigkeit der Anforderung an eine hohe Genauigkeit und schnelle Übertragung dieser Information deutlich. Ebenfalls wird eine hochauflösende Strommessung vorgenommen. Intelligente Algorithmen sorgen für eine korrekte Auswertung der Messungen.

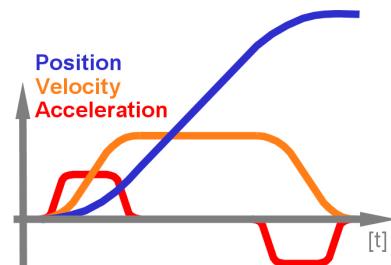


Abbildung 48: Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Zeit

**Ein Servoverstärker ist ein Positioniergerät:**

- Zur Regelung kommen kaskadierte Regelkreise zum Einsatz.
- Es werden hochauflösende Gebersysteme eingebunden.
- Die dynamische Positionierung erfolgt mit hoher Zielpositionsgenauigkeit und hoher Geschwindigkeitsgenauigkeit.
- Die erreichte Position wird durch ein Haltemoment im Stillstand gehalten.

**Mögliche Anwendungsgebiete sind:**

- siehe Anwendungsgebiete Synchronmaschine
- Verpackungsmaschinen
- Handhabungstechnik
- Kunststoffmaschinen
- Papier- und Druckverarbeitung
- Textilindustrie
- Holzindustrie
- Bearbeitungszentren
- Variable Hydraulikpumpenregelung
- Halbleiterindustrie
- CNC Anwendungen
- Roboter



Hardware \ Antriebstechnik

- ACOPOS
- ACOPOSmulti
- Dezentrale Antriebstechnik \ ACOPOSremote
- Dezentrale Antriebstechnik \ ACOPOSmotor
- ACOPOSmicro

# Komponenten eines Antriebssystems

## 3.3.4 Gegenüberstellung von Frequenzumformern und Servoverstärkern

Die nachfolgende Gegenüberstellung gibt einen Überblick über die spezifischen Eigenschaften von Frequenzumformern und Servoverstärkern. Jedes System ist für unterschiedliche Einsatzgebiete konzipiert und in seiner Weise für das Antreiben des entsprechenden Prozesses ideal geeignet.

	Frequenzumrichter	Servoverstärker
PWM-Grundfrequenz	1 .. 16 kHz	5 .. 20 kHz
Stromregler	0,5 .. 2 kHz	16 .. 20 kHz
Geschwindigkeitsregler	4 .. 20 ms	0,2 ms
Positionsregler	fehlt	Standard
Brems-Chopper	Option, meist Kurzschlussbremsung	Standard
Asynchronmaschine	Ja	Ja
Synchronmaschine	Nein / limitiert	Ja
Überlastfähigkeit	Gering	Hoch
Hoch-Dynamische Bewegungen	Nein	Ja
Temperaturmodell	Nein	Ja
Netzrückspeisung	Unüblich	Möglich
Drehmoment bei Drehzahl 0	Nein	Ja
Autotuning Funktion	Ja	Ja
Standalone Betrieb	Ja	Nein

Tabelle 1: Gegenüberstellung der typischen Kenndaten



Die Grenzen zwischen den Gerätekategorien sind fließend zu sehen. Es gibt auch Frequenzumrichter mit integriertem Positionsregler und Elementen die für einen Servoverstärker typisch sind, dies ist jedoch nicht die Regel.

## 3.4 Antriebsmechanik und Kraftübertragung

Ein wichtiger Aspekt im Bereich der Antriebe stellt die Kraftübertragung dar. Die Übertragung der am Motor entstehenden Kräfte kann entweder direkt an den mechanischen Prozess weitergegeben werden, oder aber auch mit Hilfe eines Getriebes.

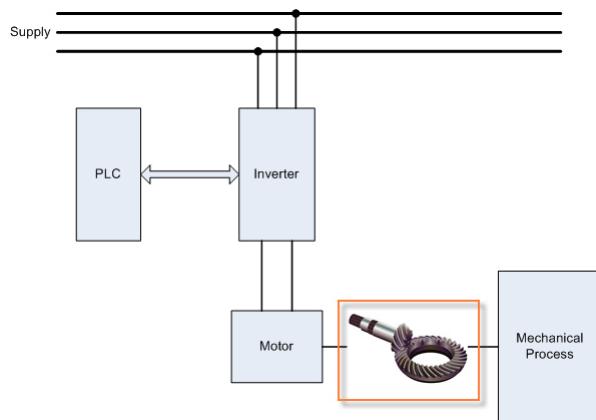


Abbildung 49: Kraftübertragung im Antriebssystem

Die Trägheitsmomente der Last, die Verwindung von Wellen, der Schlupf von Riemen oder das Spiel von Getrieben oder Spindeln muss bei der Antriebsauslegung sowie bei der Antriebsregelung berücksichtigt werden.

**Folgende Arten der Kraftübertragung werden in weiterer Folge kurz erläutert:**

- [3.1.6 "Direktantriebe"](#)
- [3.4.3 "Rotierende Last"](#)
- [3.4.4 "Getriebe"](#)
- [3.4.5 "Riemscheibe, Riemengebiebe"](#)
- [3.4.6 "Spindelantrieb"](#)
- [3.4.7 "Zahnstange und Zahnwelle"](#)

### 3.4.1 Allgemeines

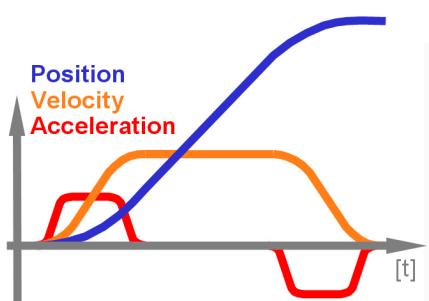


Abbildung 50: Bewegungsprofil mit Geschwindigkeit, Position, Beschleunigung und Zeit

Beim Antreiben von Maschinenteilen, auch Last genannt, treten viele Kräfte mit unterschiedlichen Wirkungen auf. So gilt es, etwa beim Beschleunigen oder beim dynamischen Ändern der Beschleunigung, ändern der Geschwindigkeit oder bei Drehrichtungsumkehr, die Massenträgheit zu überwinden.

Bei der Kraftübertragung, vor allem beim Beschleunigen und Bremsen treten hohe mechanische Belastungen auf, die sich als Torsion oder Fliehkraft niederschlagen. Starke Lastwechsel, so genannter Ruck, belastet die Materialien stark und verringert die Lebensdauer mechanischer Komponenten, Verschleißerscheinungen sind die Folge.

Die Energie die beim Beschleunigen in eine Masse gesteckt wurde, wird einerseits zur Überwindung der Hafreibung und der Massenträgheit verbraucht, ein großer Teil jedoch wird als kinetische Energie gespeichert. Für das gezielte Abbremsen einer Last gelten wieder dieselben Regeln wie für das Beschleunigen.

# Komponenten eines Antriebssystems

Mechanische Gesamtsysteme neigen bei bestimmten Resonanzen zu schwingen, dies wiederum kann sich auf die Antriebsregelung und die Prozessqualität auswirken.

Bevor die Auswahl der Antriebskomponenten getroffen wird, ist die Mechanik genauer zu betrachten. Die Komponenten sind unter Berücksichtigung der Mechanikeigenschaften zu dimensionieren und entsprechend zu wählen. Das Gesamtsystem muss an die Bedingungen der anzutreibenden Last angepasst sein. ([siehe "Antriebsauslegung und Tuning" auf Seite 55](#))

## **Womit haben wir es zu tun? Stichwortartiger Überblick:**

- Massenträgheit
- Drehmoment
- Beschleunigung
- Ruck
- Abbremsen
- Kinetische Energie
- Fliehkraft
- Rotation / Translation
- Schlupf
- Dynamik / Bewegungsprofil
- Resonanzen / Schwingungsneigung
- Wirkungsgrad / Leistung
- Torsion / Federn / Schwingen
- Reibung
- Abnutzung
- Grenzwerte der Antriebskomponenten
- E-Stop / Nothalt

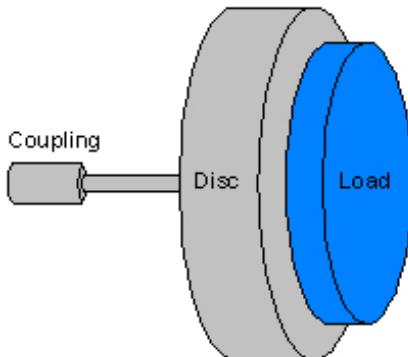
### 3.4.2 Direktantrieb

Es wird von einem Direktantrieb gesprochen, wenn die elektrische Maschine und die Arbeitsmaschine direkt verbunden sind.

In diesem Fall ist ein besonderes Augenmerk auf den Motor zu richten, da dieser direkt die Drehzahl der Arbeitsmaschine aufweisen muss.

Der große Vorteil einer solchen Antriebsauslegung besteht im Verzicht auf ein Getriebe. Siehe [3.1.6 "Direktantriebe" auf Seite 17](#).

### 3.4.3 Rotierende Last



Die rotierende Last ist eines der einfachsten mechanischen Systeme. Neben der rotierenden Scheibe selbst, wird oftmals eine exzentrische Zusatzlast angebracht. Dies hat zur Folge, dass die Trägheit der Scheibe erhöht wird und in Abhängigkeit vom Neigungswinkel und vom Drehwinkel der Last ein Zusatzmoment (Unwucht) generiert. Entsprechend des Drehwinkels wirkt dieses Moment beschleunigend oder verzögernd. Aufgrund der exzentrischen Last entsteht bei konstanter Drehzahl ein sinusförmiges pulsierendes Zusatzmoment.

Abbildung 51: Rotierende Last (Servosoft / controleng.ca)

Das Trägheitsmoment hängt von der Massenverteilung und vom Durchmesser der Last ab. Beispielsweise kann eine Eiskunstläuferin durch Verlagerung ihres Körpers ihre Drehgeschwindigkeit erhöhen oder verringern.

#### Typische Anwendungen:

- Drehtische
- Pumpen, Lüfter
- Rüttler

### 3.4.4 Getriebe



Ein Getriebe ist ein Umformerelement mit dem Weg, Geschwindigkeit oder Beschleunigung geändert werden kann. Es wird meist direkt am Antriebsmotor montiert. Eine Untersetzung hat die Reduktion der Drehgeschwindigkeit, jedoch eine Vergrößerung des Drehmoments zur Folge. Meist ist von mechanischen Getrieben die Rede. Eine Achskopplung, bei der die Kopplung durch den Datenaustausch über einen Feldbus realisiert wird, wird auch als elektronisches Getriebe bezeichnet.

Merkmale bzw. Kenndaten für ein Getriebe sind das Verdrehspiel, die Massenträgheit, die Verdrehsteifigkeit und die spezifizierten zulässigen Radial- und Axialkräfte.

Abbildung 52: B&R Planetengetriebe mit Direktmontage am Motor

#### Eine Unterteilung kann in Bezug auf die Übersetzungsart erfolgen:

- Getriebe mit gleichmäßiger Übersetzung
- Getriebe mit einer ungleichmäßigen Übersetzung

# Komponenten eines Antriebssystems

## Getriebe mit gleichmäßig linearer Übersetzung

Die Übertragungsfunktion ist linear.

### Zu den Vertretern zählen verschiedene Bauarten:

- Planetengetriebe
- Stirnradgetriebe
- Kegelradgetriebe
- Schraubenradgetriebe
- Schieberadgetriebe
- Riemen- und Kettenantriebe



Abbildung 53: Kombiniertes, Stirn- und Schneckenradgetriebe (Glenn McKechnie / de.wikipedia.org)

## Getriebe mit ungleichmäßiger Übersetzung

Die Übertragungsfunktion ist nicht linear. In der elektrischen Antriebstechnik werden diese Getriebearbeiten durch elektronische Kurvenscheiben ersetzt. (siehe Trainingsmodul "TM441 - ASiM Mehrachsfunktionen")

### Zu den Vertretern zählen:

- Kurvengetriebe
- Koppelgetriebe
- Schrittgetriebe

### 3.4.5 Riemenscheibe, Riemengetriebe

Das Riemengetriebe wird auch als Riementrieb, Hülltrieb oder Riemensabtrieb bezeichnet. Es gehört zu den Zugmittelgetrieben und findet in vielen technischen Bereichen seine Anwendung. In der frühen Zeit der Industrialisierung wurde der Riemengetriebe als Transmission eingesetzt.

Bei modernen Riemengetrieben kommen Keil- oder Zahnriemen zum Einsatz. Der Riemen kann bei kleiner Vorspannung große Kräfte übertragen. Bei sehr einfachen Anwendungen wird der Riemen beispielsweise als Kupplung verwendet.

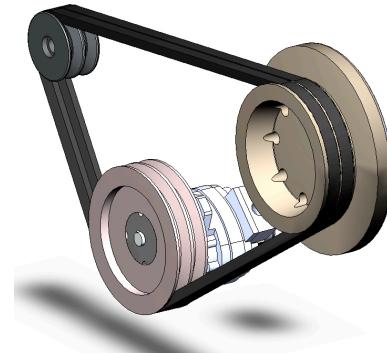


Abbildung 54: Riementrieb mit zwei parallel gespannten Keilriemen (Borowski / de.wikipedia.org)

### Zu den Vorteilen zählen:

- ruhiger Lauf
- Stoßdämpfung
- keine Schmierung erforderlich
- kostengünstige Variante zur Überbrückung größerer Abstände
- geringes Gewicht pro Leistung
- hohe Geschwindigkeiten möglich

## Zu den Nachteilen gehören:

- begrenzter Temperaturbereich
- Riemendehnung, RiemenSpanner wird benötigt
- Empfindlichkeit gegenüber Betriebsmitteln
- Dehnschlupf
- große Wellenbelastung

### 3.4.6 Spindelantrieb

Der Spindelantrieb kann auch als Gewindespindel bezeichnet werden. Dabei wird eine Rotation in eine geradlinige Bewegung, auch als Translation bezeichnet, umgewandelt.

Im Maschinenbau werden Kugelgewindespindeln, bekannt als Kugelumlaufspindeln oder Kugelgewindetriebe, verwendet. Die Spindelmutter greift die lineare Bewegung von der Spindel ab. Hier gibt es unterschiedliche offene und geschlossene Mutternsysteme die sich zwar in der Grundfunktion gleichen, jedoch sich in ihrer Spielgenauigkeit unterscheiden.



Abbildung 55: Kugelgewindetrieb

Typische Einsatzgebiete sind Werkzeugmaschinen bei denen durch Längsbewegungen, Werkzeugschlitten verschoben werden. In der Automatisierung werden komplette Einheiten bestehend aus Antriebsmotor, Linearführung und Gewindespindel kombiniert. Der Einsatz in mehreren Raumrichtungen kann beispielsweise in einem Portalroboter Einsatz finden.

Technisch lässt sich im Gegensatz zu Trapezgewindespindeln bei Kugelumlaufspindeln das Spiel auf wenige  $\mu\text{m}$  reduzieren. Belastungen mit einigen  $\text{kN}$  sind möglich, Verfahrgeschwindigkeiten bis  $200 \text{ m/min}$  sind realisierbar. Durch hohe Belastungen erzeugte Wärme, kann zu einer Ausdehnung der Spindel führen.

### 3.4.7 Zahnstange und Zahnwelle

Die Zahnstange kann zum Umformen einer Rotation in eine Translation oder umgekehrt verwendet werden. Bereits in der Historie wurden Zahnstangen bei technischen Einrichtungen verwendet, beispielsweise Zahnradbahnen und Stauwehre bedienen sich dieser Kraftübertragung.

Das Funktionsprinzip ist recht einfach. Ein Zahnräder greift in die gezahte Zahnstange ein und versetzt diese je nach Drehrichtung in eine geradlinige Bewegung in die andere Richtung.



Abbildung 56: Zahnstange mit Ritzel  
(Dirk Gräfe / de.wikipedia.org)

Weitere Anwendungsgebiete sind Schubladenantriebe für CD-Player, die Zahnstangenlenkung bei Kraftfahrzeugen und die Zahnstangenwinde welche zum Heben und Feststellen von hängenden Lasten verwendet wird.

# Die B&R Antriebslösung

## 4 Die B&R Antriebslösung

Das Spektrum der B&R Produkte<sup>2</sup> umfasst alle bekannten Antriebstechnologien. Je nach technischer Anforderung kommen in der Automation verschiedene Antriebskonzepte zum Einsatz. In den folgenden Abschnitten wird ein Überblick über die durchgängige Antriebsproduktpalette dargestellt.

Ansteuerungen und Motoren für Schrittmotor- oder Gleichstromanwendungen sowie Frequenzumformer und Servoverstärker bilden die Basis. Synchronmotoren und Getriebeoptionen runden das komplette Angebot ab.

Eine durchgängige Vernetzbarkeit aller Komponenten über POWERLINK, wird eine einfache Parametrierung und Programmierung der Antriebsapplikation ermöglicht. Die flexible und leistungsfähige Umsetzung komplexer Maschinen wird dadurch erreicht.



Abbildung 57: B&R Antriebstechnik im Überblick

<sup>2</sup> Besuchen Sie unsere Website: [www.br-automation.com](http://www.br-automation.com) → Produkte → Antriebstechnik

## 4.1 Typische Topologien

Alle zur Maschinensteuerung gehörenden Komponenten sind über denselben Feldbus vernetzt. Die Steuerung welche die Maschinenapplikation ausführt, die Prozessvisualisierung und die verschiedenen Antriebstechnologien lassen sich homogen mischen. Egal ob nun ein Schrittmotor oder ein Servomotor benötigt wird, der Antrieb kann immer über POWERLINK mit den übrigen Steuerungskomponenten vernetzt werden.

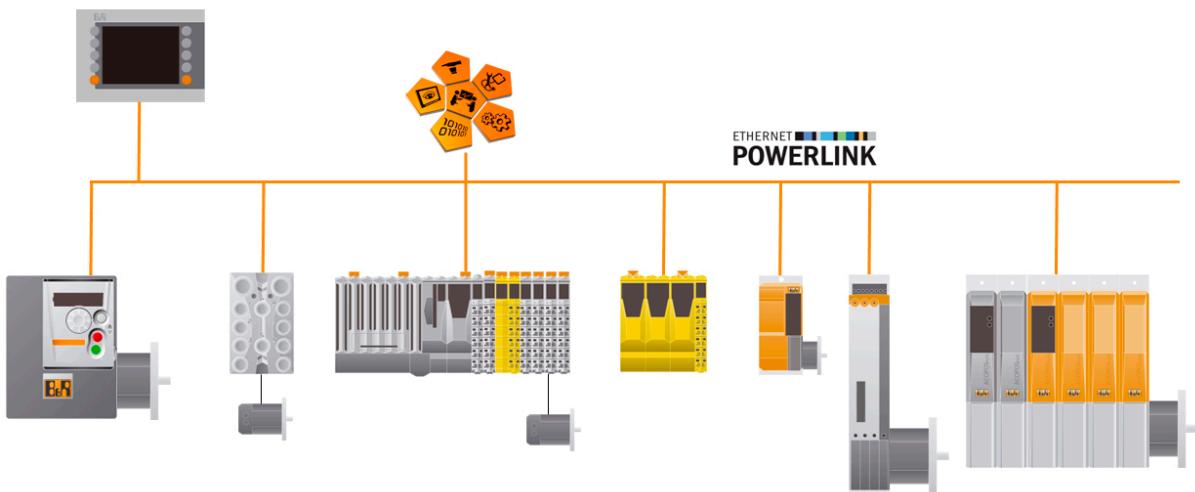


Abbildung 58: Mit POWERLINK vernetzte Antriebslösung

### Vernetzung mechatronischer Einheiten

Große Maschinen setzen sich oft aus mechatronischen Einheiten zusammen. Eine mechatronische Einheit stellt einen Maschinenteil mit einer speziellen Funktion, bestehend aus Antriebstechnik, Sensoren und Aktoren, dar.

In der Gesamtmaschine ist es notwendig diese Einheiten miteinander zu verbinden.

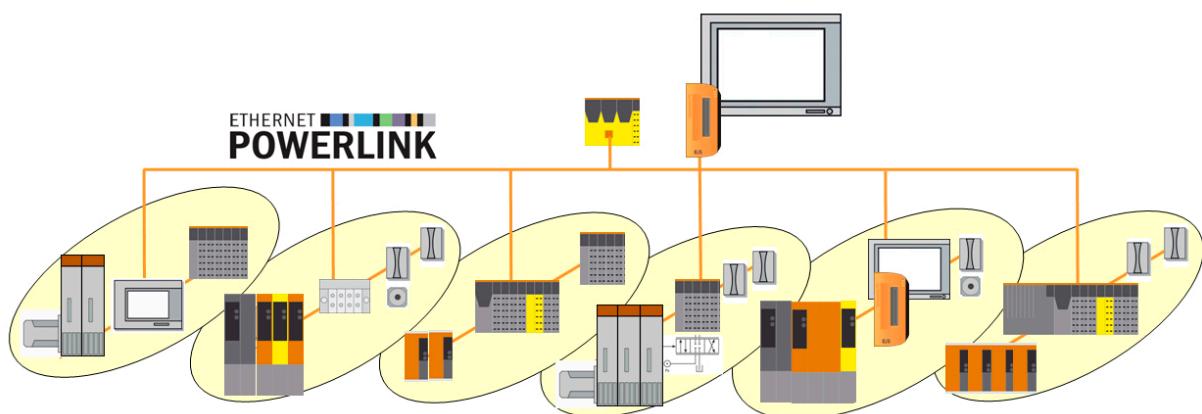


Abbildung 59: Vernetzung mechatronischer Einheiten zu einer Gesamtmaschine mit POWERLINK

# Die B&R Antriebslösung

**Die Einfachheit der Vernetzung innerhalb der Maschine spricht für sich und bringt erhebliche Vorteile:**

- Es wird ein Feldbus für die ganze Maschine verwendet - POWERLINK.
- Die zentrale Steuerung vernetzt alle dezentralen Komponenten.
- Applikation, Konfigurationen und Daten werden an einer definierten Stelle zugänglich gemacht.
- Antriebsparameter und Modulkonfigurationen werden beim Systemstart direkt auf die Geräte geladen. Es sind somit keine weiteren Schritte im Falle eines Modultausches erforderlich.
- Antriebe, Steuerung und I/Os werden über POWERLINK synchronisiert. Dadurch können Kopplungsaufgaben einfach realisiert werden.
- Die Maschine lässt sich in mechatronische Einheiten gliedern, welche sich im Bedarfsfall ohne viel Aufwand miteinander flexibel verbinden lassen.
- Alle Diagnosedaten sind über die Zentraleinheit zugänglich. Umfangreiche Informationen über das Gesamtsystem werden gesammelt und im System Diagnose Manager (SDM) bereitgestellt.



Kommunikation \ POWERLINK

## 4.2 Produktübersicht

### ACOPOS - Servo Technologie

Das leistungsstarke Servoverstärkerkonzept ACOPOS gibt es in verschiedenen Bauformen.

ACOPOSmulti steht für die Kombination mehrerer Antriebsachsen mit gemeinsamer Leistungsversorgung und Zwischenkreis. Drei verschiedene Kühlkonzepte ermöglichen eine optimale Einpassung auf der Maschine.

ACOPOS mit integriertem Netzfilter, Zwischenkreis und Bremschopper für einzelne Servoachsen.

ACOPOSmicro in der Servovariante als kompakte Antriebslösung.

Alle Systeme haben dieselben Eigenschaften. Durch den modularen Aufbau sind Erweiterungen einfach durchzuführen. Die Antriebsregelung ist direkt im Antrieb integriert. Alle Systeme sind untereinander kombinierbar, synchronisierbar, und koppelbar. Die durchgängige Diagnose erleichtert die Inbetriebnahme und Wartung. Das System ist einfach zu parametrieren, die integrierte Autotuningfunktion hilft beim raschen Ermitteln der notwendigen Reglerparameter.

Im ACOPOSmulti System ist in Verbindung mit einer SafelLOGIC die direkte Integration von sicheren Antriebsachsen möglich.

Die direkte Integration der Wechselrichter in die Umgebung des Aktors - ohne dass dafür Begleitmaßnahmen erforderlich sind - ist eine Voraussetzung für modularen Maschinenbau. Für eine motornahen Antriebsregelung kann ACOPOrremote oder ACOPOSmotor einge-



Abbildung 60: Modular Antriebstechnik:  
ACOPOSmulti

setzt werden. Beim ACOPOSmotor werden Motor, Wechselrichter, Positionsmessung sowie optionale Sicherheitstechnik und Getriebe vereint.



Abbildung 61: Dezentrale Antriebstechnik: ACOPOSmotor

### **ACOPOSmicro Antriebssystem**

Das multifunktionale ACOPOSmicro System gibt es in einer Stepper- und einer Servoausführung. In der Zweikanalvariante besteht die Option kodierte Anschlussklemmen zu benutzen. Es werden bis 10A Dauerstrom und 15A Spitzenstrom je Motor ermöglicht. Die variable Auswahl der Versorgungsspannung des Leistungsteils von 18 - 80 VDC lässt ein breites Einsatzgebiet zu. Zusätzlich sind am ACOPOSmicro Triggereingänge und ein Ausgang zum Ansteuern einer externen Bremse sowie die Unterstützung verschiedener Gebersysteme vorhanden.

Für den unterstützten Leistungsbereich stehen von B&R die passenden Schritt- und Servomotoren zur Verfügung. Optionale Erweiterungen wie ein Leistungsversorgungsmodul und Bremswiderstände runden den Funktionsumfang ab.



Abbildung 62: ACOPOSmicro Schrittmotoransteuerung

### **Frequenzumrichter**

Die ACOPOSinverter Frequenzumrichter können direkt in den Automatisierungsverbund integriert werden. Es sind Leistungsbereiche von 0,18 - 500kW verfügbar. Optionales Zubehör wie Bremschopper, EMV Filter und Netzrückspeiseeinheit ermöglichen die effiziente Einbindung in den Prozess.

Die Diagnose kann wie bei allen anderen B&R Antriebskomponenten zentral mit dem Automation Studio oder vor Ort über das integrierte Display erfolgen. Der Frequenzumrichter erhält seinen Sollwert wahlweise über Feldbus, Analogeingang oder das Handrad am Gerät. Durch die integrierten Ein- und Ausgänge wäre auch ein Inselbetrieb möglich.



Abbildung 63: B&R Frequenzumrichter: ACOPOSinverter P74

# Die B&R Antriebslösung

## Hydraulikregelung mit X20

Das X20 System bietet durch seine hohe Leistungsfähigkeit die Möglichkeit präzise Hydraulikregelungen zu realisieren. Kleine Zykluszeiten, kleiner Jitter und das synchrone Lesen und Schreiben der Sensorwerte und Stellgrößen begünstigen ein hochdynamisches Regelverhalten.

Für die Ansteuerung der Hydraulikventile können Analogmodule oder Motorbrückenmodule eingesetzt werden.

Die umfassende Hydraulikbibliothek ist Teil von Automation Studio und bietet einfache Funktionen für die Geschwindigkeits-, Kraft- und Positionsregelung. Einer nahtlosen Integration von Hydrauliksystemen in die Automatisierungsapplikation sowie einer Kopplung mit elektrischen Antriebsachsen steht nichts mehr im Wege.

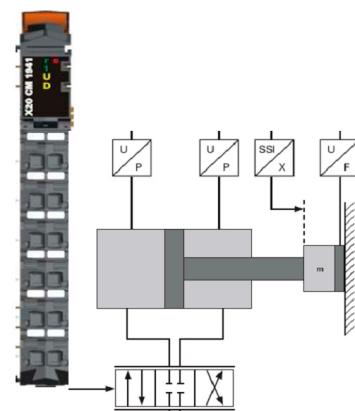


Abbildung 64: Hydraulikregelung mit dem X20 System

## DC-Motorbrücken und Schrittmotoransteuerungen

Gleichstrom- und Schrittmotoren kommen häufig als kostengünstige Antriebe zum Einsatz. Durch die X20 und X67 Module lassen sich diese Motoren hervorragend in die Automatisierungslösung einbinden.

Mit den DC-Motorbrückenmodulen können DC-Motoren bis 6A Dauerstrom verwendet werden. Einstellbare Ströme, konfigurierbarer Dither sowie eine anpassbare Decaykonfiguration bieten eine ideale Anpassung an den Prozess. Die Motorbrückenmodule verfügen über digitale Eingänge, welche wahlweise auch für den Inkrementalgeberbetrieb konfiguriert werden können.

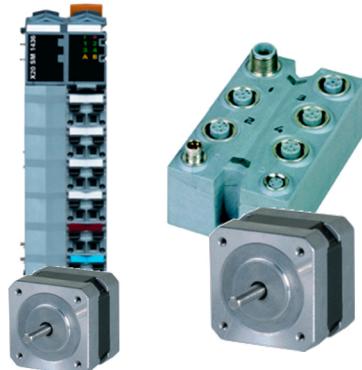


Abbildung 65: X20 DC- und Schrittmotoransteuerungen

Mit den X20 und X67 Schrittmotoransteuerungen können Schrittmotoren bis 3A Dauerstrom betrieben werden. Durch den konfigurierbaren Microstepbetrieb wird eine größere Positioniergenauigkeit und Laufruhe erreicht. Mit optionaler Geberrückführung können hochpräzise Positionierungen realisiert werden. Einstellbare Nenn- und Halteströme ermöglichen eine optimale Einstellung der Leistung am Motor.

## Servomotoren, Schrittmotoren, Getriebe

Die B&R Synchronmotoren decken ein sehr breites Spektrum ab. Kompakte Bauformen und hohe Qualität zeichnen diese Motoren aus. Motoroptionen wie Bremsen, Zwangsbelüftung und unterschiedliche Steckerrichtungen für die vorkonfektionierten Motor- und Geberkabel lassen keine Wünsche offen. Für die Motoren sind die Absolutwertgebersysteme Resolver und ENDAT verfügbar. Passende Getriebeerweiterungen runden das Motorangebot ab.

Auch Schrittmotoren in verschiedenen Ausführungen mit Geber- und Getriebeoptionen sind erhältlich.

Die folgende Tabelle zeigt die Motortypen im Überblick:



Abbildung 66: B&R Drehstrom-Synchronmotor, Torquemotor, Schrittmotor

8LV Kompaktmotoren	bis 2,7 Nm, bis 6000 min <sup>-1</sup> , kleine Bauform, niedriges Trägheitsmoment, drei verschiedene Baugrößen
8JS Synchronmotoren	bis 53 Nm, Drehzahlen bis 8000 min <sup>-1</sup> , robust, hohe Leistungsdichte, sechs verschiedene Baugrößen
8LS Synchronmotoren	bis 115 Nm, Drehzahlen bis 8000 min <sup>-1</sup> , sieben verschiedene Baugrößen, hohe Dynamik, drehbare Stecker
8LSN Synchronmotoren	Motoren mit erhöhtem Massenträgheitsmoment
8LT Torquemotoren	verschiedene Kühlarten, Direktantrieb, Montage mit ISO Flansch, Sackloch oder Hohlwelle, Drehzahlen bis 1200 min <sup>-1</sup> , Nennmoment bis 1000 Nm
80MPD Schrittmotoren	seriell und parallel verdrahtbare Schrittmotoren mit den Flanschmaßen 56, 60 und 86 mm, Haltemomente bis 13.6 Nm, verschiedene Geberoptionen, Getriebeoptionen
8GP Planetengetriebe	drei Ausführungsvarianten: Standard, Economy und Premium, mit Antriebswelle, mit Abtriebsflansch und Winkelplanetengetriebe erhältlich

Tabelle 2: Servomotoren im Überblick



### Hardware \ Antriebstechnik

- ACOPOS
- ACOPOSmulti
- Dezentrale Antriebstechnik
- ACOPOSmicro
- ACOPOSinverter
- Drehstrom-Synchronmotoren
- Schrittmotoren

### Hardware \ X20 System

# Die B&R Antriebslösung

## Automation Studio

Das Automation Studio vereint die Projektierung der Logik-, Visualisierungs-, Sicherheits- und Antriebsapplikation. Die integrierte Diagnose- und Inbetriebnahmeoberfläche erleichtert die Projektierung und hilft bei der Inbetriebnahme der Antriebskomponenten. Alle Einstellungen und Parameter sind im Automation Studio Projekt gespeichert.



Abbildung 67: Automation Studio - einfache Integration der Antriebslösung



Automation Software \ Getting Started \ Motion Anwendung mit Automation Studio erstellen

### Motion

- Projektierung
- Inbetriebnahme
- Diagnose

## 4.3 Umsetzung der Antriebsanwendung

Bereits die Übersicht der möglichen Topologien zeigt, dass alle Antriebskomponenten beliebig kombinierbar und einsetzbar sind. Dazu wird ein durchgängiger Softwarezugang bereitgestellt mit dem alle unterschiedlichen Antriebsanwendungen realisiert werden können.

Verschiedene elektrische Eigenschaften des Antriebssystems und Anforderungen wie eine einfache Geschwindigkeitsvorgabe, Positions vorgabe sowie Achskopplungen sind die grundlegenden Anforderungen.

Möglich wird das durch eine intelligente Plattform: **Generic Motion Control** kurz GMC. Alle Achsbewegungen werden mit **PLCopen** Funktionsbausteinen koordiniert. Die darunterliegenden Schichten kontrollieren die spezifischen Eigenschaften der unterschiedlichen Antriebssysteme.



Abbildung 68: Eine Plattform: Generic Motion Control (GMC)

Somit können Antriebsaufgaben immer mit dem gleichen Anwenderprogramm gelöst werden, unabhängig davon ob es sich um eine elektrische Antriebsachse mit einem Schrittmotor, Frequenzumformer oder Servoantrieb handelt. Für die nahtlose Integration von Sicherheitstechnik und Vision-Systemen ist gesorgt.



## PLCopen

Bei PLCopen handelt es sich um eine Vereinigung industrieller Hersteller, die es sich zur Aufgabe macht höhere Effizienz bei der Softwareentwicklung zu erreichen. Ergebnisse aus diesen Bemühungen sind die Spezifikation und Normung von Antriebsfunktionsblöcken und sicherheitstechnischen Funktionsblöcken. Die Umsetzung ist Plattformunabhängig und bezieht insbesondere die Verwendung von IEC 61131-3 spezifizierten Programmiersprachen ein. (<http://www.plcopen.org/>)

Abbildung 69: PLCopen Motion Control

## Die B&R Antriebslösung

Mit mapp Technology<sup>3</sup> erhalten Anwender einen einfach anzuwendenden Zugang zu umfangreichen Funktionalitäten. Viele komplexe Vorgänge, wie zum Beispiel das Laden und Speichern von Rezeptdaten, das Ansteuern einer Antriebsachse und das Aufzeichnen von Prozesswerten, werden mit Hilfe einfacher handzuhabender mapp Technology Komponenten realisiert.



Abbildung 70: mapp Technology Logo

mapp Technology verbindet Konfiguration und Programmierung. Die eigentliche Funktion wird auf Basis von Standardbibliotheken im Anwenderprogramm umgesetzt. mapp bietet darüber hinaus Konfigurationschnittstellen an, um die Funktion der mapp Komponente, unabhängig von der Umsetzung in der Applikationssoftware, parametrieren zu können.



### Application Layer - mapp Technology

- Konzept
- Getting Started
- Komponenten

### ACP10\_MC - PLCopen Motion Bibliothek

Die ACP10\_MC Bibliothek beinhaltet neben von PLCopen festgelegten auch erweiterte Funktionsblöcke mit, auf dem B&R-System verfügbaren, Funktionalitäten. Damit lassen sich einfache Antriebsfunktion wie die Basisbewegungen und Antriebsvorbereitung sowie anspruchsvolle Funktionen wie Achskopplungen mit Kurvenscheiben realisieren. Da durch die mapp Technology Komponenten bereits eine umfangreiche Basis für die Erstellung von Antriebsapplikationen angeboten wird, stellt die APC10\_MC Bibliothek, durch die vollständige Kompatibilität mit mapp Technology, eine Funktionsergänzung dar.

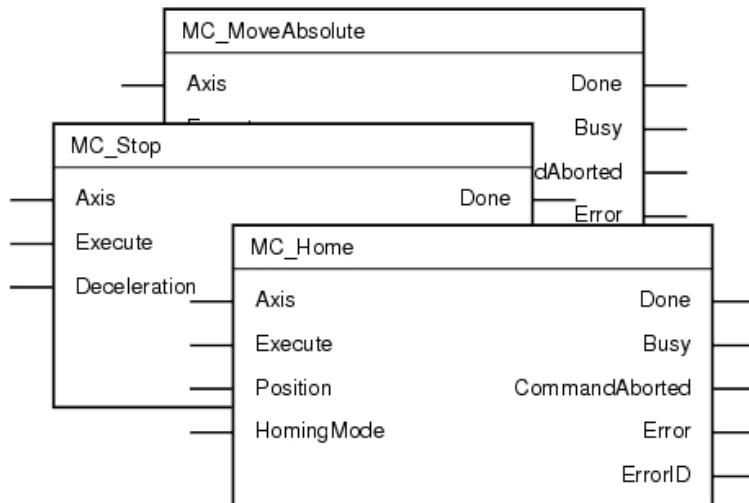


Abbildung 71: PLCopen Basisfunktionen

### Integration ins Automation Studio

Die Antriebskonfiguration wird im Automation Studio über die Physical View eingefügt. Alle notwendigen Konfigurationen und Verknüpfungen werden direkt vom **Motion Wizard** eingefügt.

Einige **Beispielprogramme** für Basisbewegungen und Achskopplungen sowie grundlegende Informationen zur ersten **Inbetriebnahme** einer Antriebsachse sind in der Automation Studio Hilfe hier zu finden:

<sup>3</sup> mapp Technology steht für modular application technology



Automation Software \ Getting Started \ Motion Anwendung mit Automation Studio erstellen  
Programmierung \ Beispiele \ Motion

Direkt integriert in das Automation Studio ist die Test- und Inbetriebnahmumgebung. Im NC-Test können alle Achsbefehle ausgeführt werden, noch bevor es eine Antriebsapplikation erstellt wurde. Durch die integrierte Autotuning-Funktion können die Inbetriebnahmezeiten reduziert werden. Im NC-Trace können Aufzeichnungen zu den Achsbewegungen erzeugt werden. Eine vollständige **Motor- und Antriebssimulation** ist ebenfalls verfügbar und ermöglicht Teststellungen auch ohne Antrieb zu prüfen.

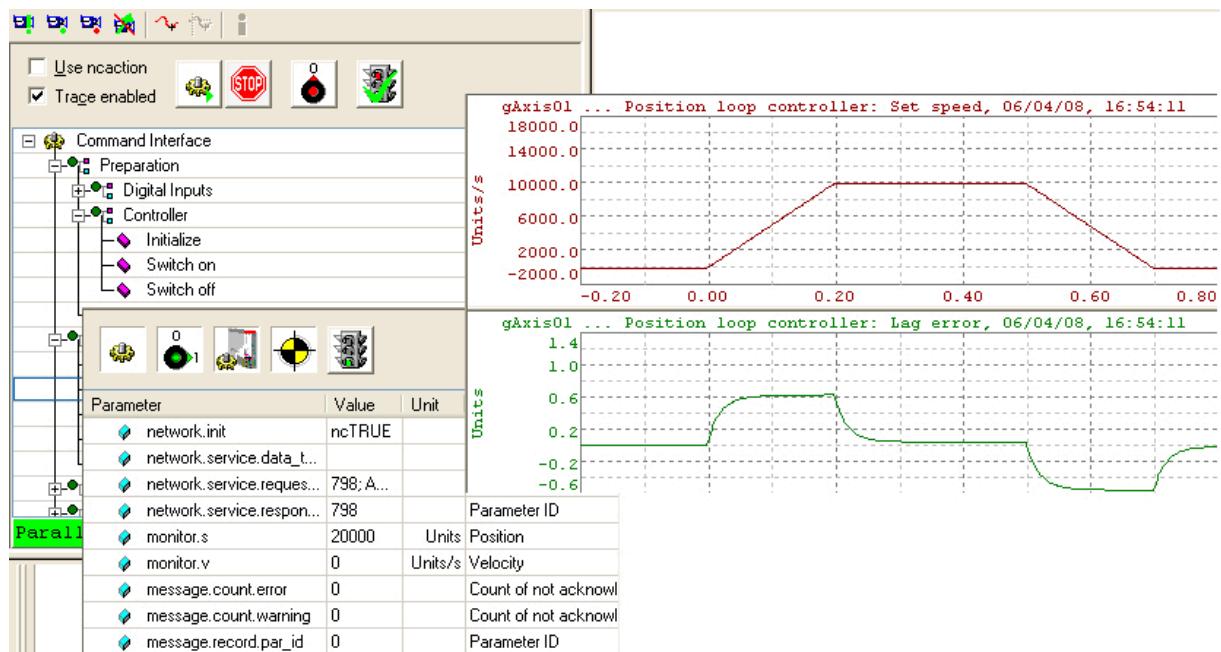


Abbildung 72: NC-Test mit NC-Watch und NC-Trace

Weiterführende Informationen zur Programmierung und Optimierung des Gesamtsystems sind in der Automation Studio Hilfe zu finden:



Programmierung \ Bibliotheken \ Motion Bibliotheken

Programmierung \ Bibliotheken \ Regelungstechnik und Mathematik

Motion \ Projektierung

Motion \ Inbetriebnahme

Motion \ Diagnose

Motion \ Referenzhandbuch

# Die B&R Antriebslösung

## 4.4 Auswahl der Technologie

Bei der großen Auswahl an Antriebsmaschinen und Antriebstypen ist es nicht immer einfach den Überblick zu behalten.

Der nachfolgende Abschnitt bietet eine Übersichtsmatrix mit Motortypen, Einsatzgebiete und entsprechenden B&R Lösungen.

Technologie	Eigenschaften, Einsatzgebiete	B&R Lösung
<b>Schrittmotor</b>	Kleine Momente; Moment bei kleinen Drehzahlen; gutes Stillstandverhalten, günstig, kompakt (Leistungsdichte); typ. Geberlos; wenig dynamisch	⇒ ACOPOSmicro ⇒ X20SM ⇒ X67SM ⇒ B&R
	Verstellantriebe; Transport kleinerer Objekte; Positionieren; kleinere Wickler	Schrittmotor
<b>DC - Motor</b>	typ. keine Positionieranwendungen; energieeffizient; Wartung (Bürsten)	⇒ X20MM ⇒ X67MM
	Kleine Hilfsantriebe	
<b>Asynchronmotor</b>	Kostengünstig; robust; wartungsfrei; nicht sehr effizient; geberlose Regelung möglich;	⇒ ACOPOSinverter ⇒ ACOPOS
	Transport; Förderbänder; Pumpen; Lüfter	⇒ ACOPOSmulti
<b>Synchronmotor</b>	Hohe Dynamik (kleine Massenträgheit); Positionierbar (Präzision); lange Lebensdauer; höherer Preis; passiv gekühlt; hohe Leistungsdichte	⇒ ACOPOSmicro ⇒ ACOPOS ⇒ ACOPOSmulti ⇒ ACOPOSremote ⇒ ACOPOSmotor ⇒ 8LV, 8LS, 8JS Motoren
	Positionieranwendungen; dynamische Geschwindigkeitsänderungen; Start - Stop Anwendungen	
<b>Direktantriebe</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Torque</li><li>• Linear</li></ul>	Hohe Drehmomente; angepasstes Design; niedrigere Geschwindigkeiten; keine Getriebe (Präzision, Lautstärke, Wartung)	⇒ ACOPOSmicro ⇒ ACOPOS ⇒ ACOPOSmulti ⇒ 8LT Motoren
	Wickler; Druckerei; Webmaschinen; Werkzeugmaschinen	
<b>Hydraulikantrieb</b>	Hohe Leistung; Großes Moment; alle Umgebungen; Leistungsdichte; kleine Geschwindigkeit; schlechte Energiebilanz	⇒ ACOPOS ⇒ ACOPOSmulti ⇒ X20
	Gießen; Pressen; Stempeln; Drucken; Bearbeitungsmaschinen	⇒ X67

Tabelle 3: Antriebe, Eigenschaften, Einsatzgebiete, B&R Lösung

## 5 Antriebsauslegung und Tuning

Für die richtige Auswahl des Antriebssystems ist es notwendig das gesamte Antriebssystem und die angetriebene Mechanik zu kennen. Alle Komponenten des Systems sind in die Antriebsauslegung einzubeziehen. Falsch dimensionierte Antriebstechnik führt spätestens bei der Erstinbetriebnahme einer Maschine zu großen Problemen. Die erwartete Dynamik und Effizienz kann mitunter nicht erreicht werden. Die Qualität der produzierten Einheiten wird in Mitleidenschaft gezogen. Die Antriebsmechanik kann beschädigt werden.

**In der Skizze sind alle wichtigen Komponenten, die bei der Antriebsauslegung relevant sind, angeführt:**

- Mechanischer Prozess
- Kraftübertragung
- Antriebsmotor und Positionserfassungssystem
- Stromrichter
- Energieversorgung

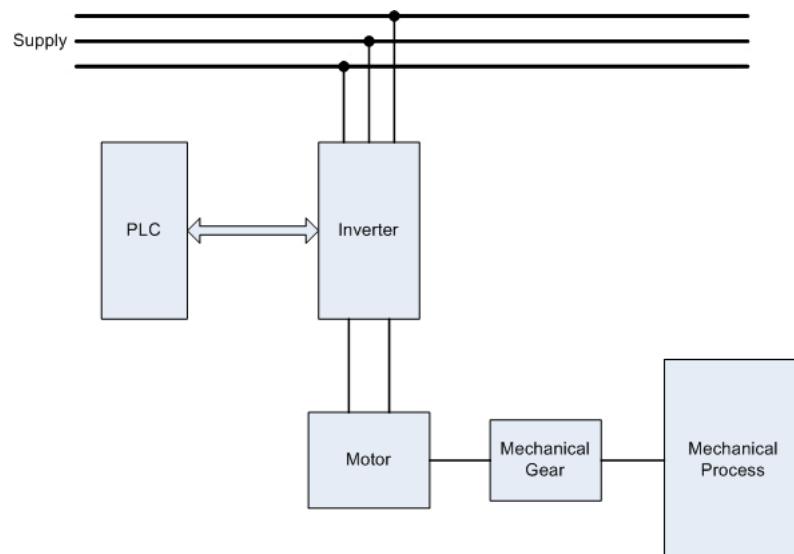


Abbildung 73: Vereinfachte Darstellung eines Antriebssystems

Die Auslegung eines Antriebssystems ist ein iterativer Prozess, die einzelnen Schritte müssen unter Umständen öfter durchlaufen werden.

**Vorgehensweise:**

- Antriebsart auswählen (linear, rotatorisch, Direktantrieb,...)
- Entsprechend der Drehzahl und der Drehmomentverläufe den Motor wählen
- Thermische Belastbarkeit des Motors prüfen
- Konstruktive Motoroptionen auswählen
- Gebersystem wählen
- Stromrichter wählen
- Wirtschaftlichkeit der Antriebslösung prüfen und ggf. die Schritte erneut durchlaufen

In diesem Zusammenhang ergeben sich noch weitere Aspekte, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Zu diesen zählen sowohl länderspezifische Eigenheiten, als auch örtliche Gegebenheiten.

# Antriebsauslegung und Tuning

## Folgende Fragen sind zu berücksichtigen:

- Welches Versorgungsnetz steht vor Ort zur Verfügung?
- Wie konstant ist das Versorgungsnetz?
- In welcher Seehöhe wird die Maschine betrieben?
- Werden die länderspezifischen Richtlinien und Normen eingehalten?

## 5.1 Antriebsdimensionierung mit SERVOsoft

Für eine ordentliche Antriebsdimensionierung ist eine Vielzahl an Berechnungen notwendig, die den Aufbau der Mechanik einbeziehen. Mit den errechneten Werten kann der benötigte Motor, der Stromrichter und in weiterer Folge die benötigte Leistungsversorgung ermittelt werden.

Zur Vereinfachung dieser Vorgänge kann die Antriebsauslegungssoftware "SERVOsoft" verwendet werden. Eine freie Version dieser Software befindet sich auf der Automation Studio Installations DVD und kann beim Hersteller<sup>4</sup> kostenlos registriert werden.



Abbildung 74: SERVOsoft Logo

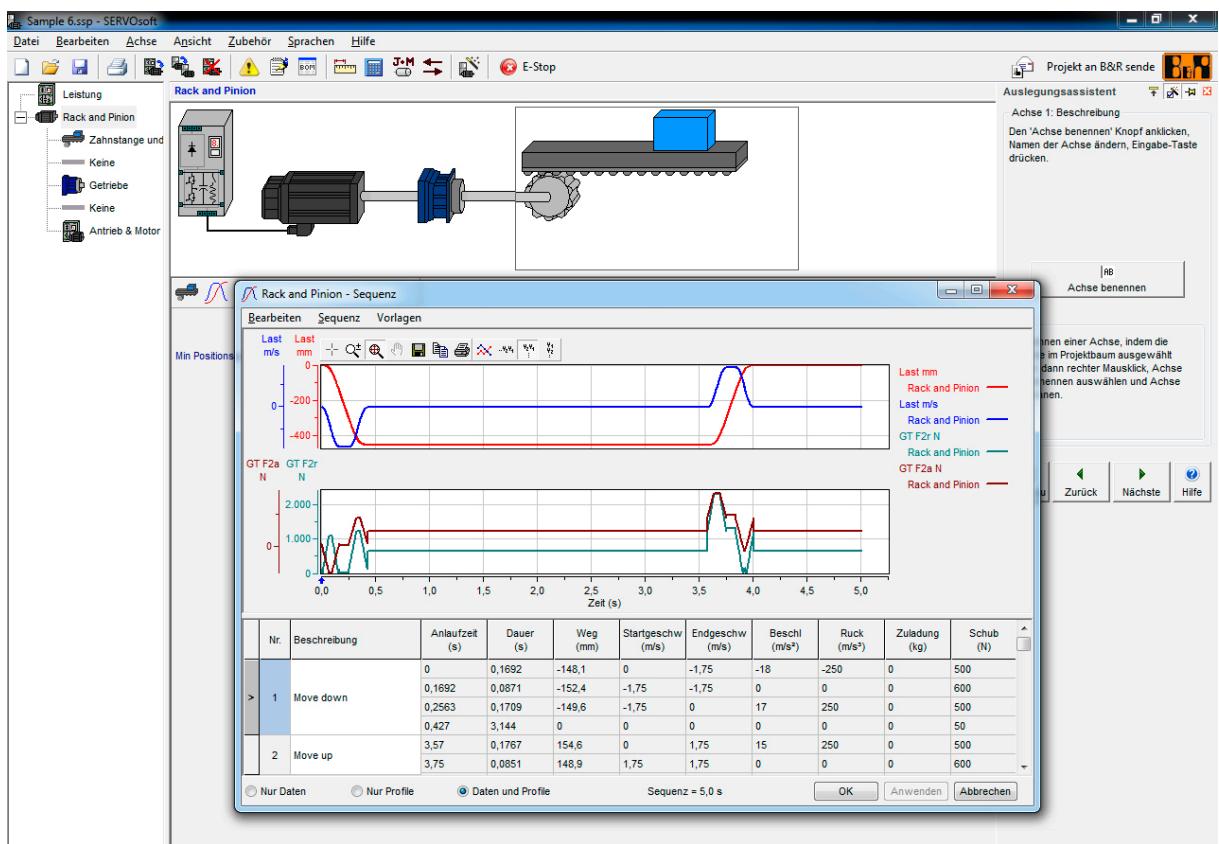


Abbildung 75: SERVOsoft mit Darstellung einer Zahnstange, Bewegungsprofil eingeblendet

<sup>4</sup> SERVOsoft ist ein Produkt der Fa. ControlEng: <http://www.controleng.ca/servosoft/>

## Folgende Komponenten können in der Vollversion zur Berechnung eingegeben werden:

- Bis 20 Achsen mit gemeinsamen Zwischenkreis
- Rotierende und lineare Antriebsachsen
- 12 verschiedene Antriebsmechanismen vorkonfiguriert
- Motor, Getriebe, Lastkupplung, Positioniergenauigkeit
- Auswahl der B&R Komponenten (Motor, Umrichter, Getriebe) aus der SERVOsoft Datenbank
- Einspeise-, Ballast- und Kondensatormodule
- Massenträgheitsmomente aller Komponenten
- Bewegungsprofile mit bis zu 5000 Segmenten je Achse
- Anwenderdefinierte Reserve für alle Komponenten

## Folgende Daten können berechnet werden:

- Systemprüfung ob die Antriebskonfiguration realistisch ist
- Drehmomente, Massenträgheitsmomente, Ströme
- Gesamtwirkungsgrad
- Leistung für Leistungsmodule, Zwischenkreis
- Energiekosten
- Ausgabe einer Materialliste
- Motor und Getriebekombinationen

Eine Auswahl an ausgesuchten Beispielprojekten für gängige Antriebskonfigurationen erleichtert den Einstieg in die Projektierung mit SERVOsoft und vermittelt einen ersten Eindruck über die Wichtigkeit der Antriebsauslegung.

## 5.2 Autotuning und Optimierung der Antriebsparameter

### Autotuning

Die ACOPOS Servoverstärker basieren auf einem kaskadierten Regelungskonzept. Ausgehend von einem Sollwertgenerator der aufgrund eines Positionierbefehls ein Wegprofil rechnet, wird dem Lageregler eine Sollposition vorgegeben. Um diese Sollposition zu erreichen, gibt der Lageregler ein Geschwindigkeitsprofil vor. Die Aufgabe des Geschwindigkeitsreglers ist es diese Sollgeschwindigkeit möglichst genau einzuhalten. Das integrierte Autotuning-Verfahren von Automation Studio ermöglicht die automatische Ermittlung von Reglerparametern. Es wird empfohlen die Parameter für die Regelung in der Reihenfolge Geschwindigkeitsregler, Lageregler und Feed Forward zu ermitteln.



Motion \ Inbetriebnahme \ Autotuning

### Servo Loop Optimizer

Der Servo Loop Optimizer (SLO) bietet die Möglichkeit, mit Hilfe von Frequenzgängen die Regler eines Servoantriebs einzustellen. Der SLO basiert auf der Funktionalität Autotuning, bietet aber die Möglichkeit, die gewonnenen Einstellungen zu verfeinern und die Auswirkungen durch eine Messung zu unter-

# Antriebsauslegung und Tuning

suchen. Im Reglereinstellungsbereich können die Parameter für den Drehzahl- und den Lageregler angepasst werden. Zur Optimierung des Drehzahlreglers werden verschiedene Filter wie eine Bandsperre, Tiefpassfilter und Biquadfilter angeboten.

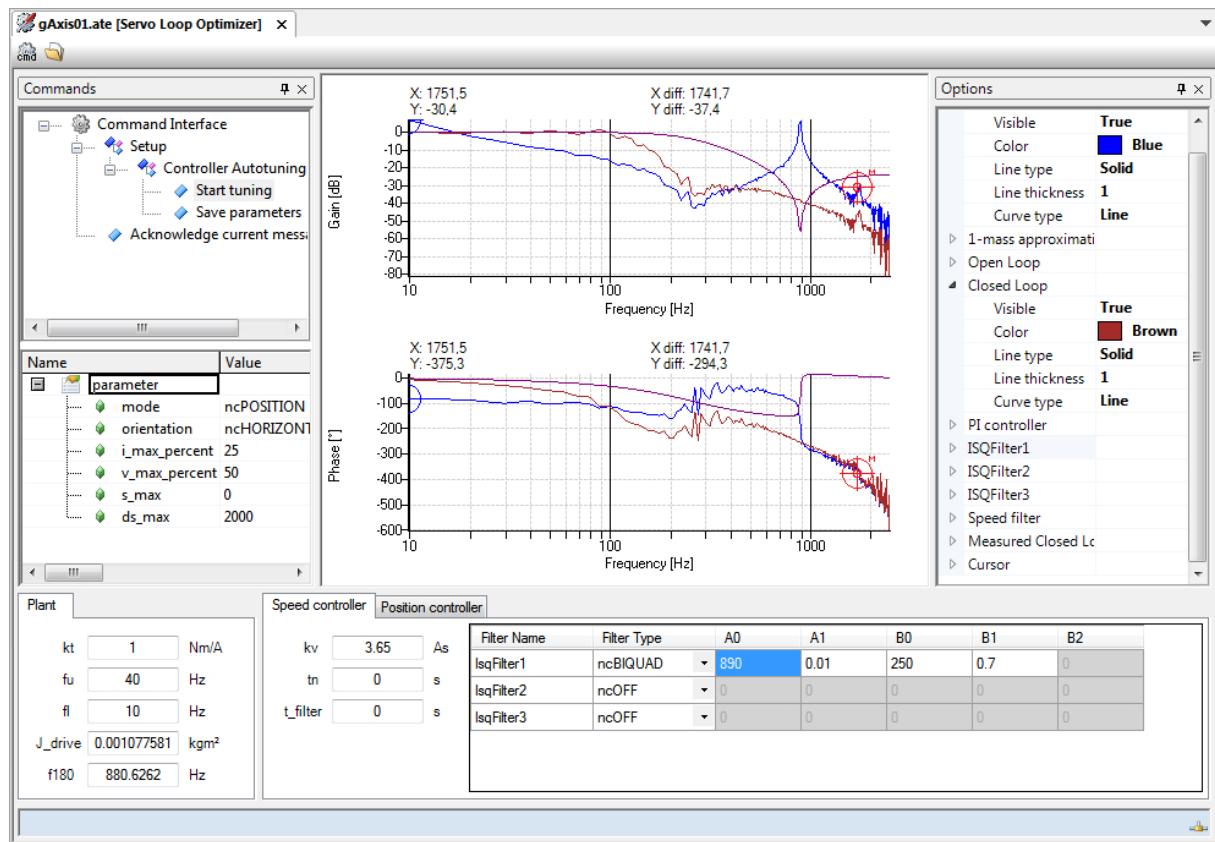


Abbildung 76: Oberfläche des Servo Loop Optimizier im Automation Studio



Motion \ Diagnose \ Servo Loop Otimizier

## Speed Torque Chart

Das Speed Torque Chart unterstützt den Anwender bei der Motorauswahl und Antriebsauslegung für seine Anlage. Weiters bietet der Editor die Möglichkeit die Dimensionierung des Antriebes im simulierten Zustand und im realen Zustand zu überprüfen.

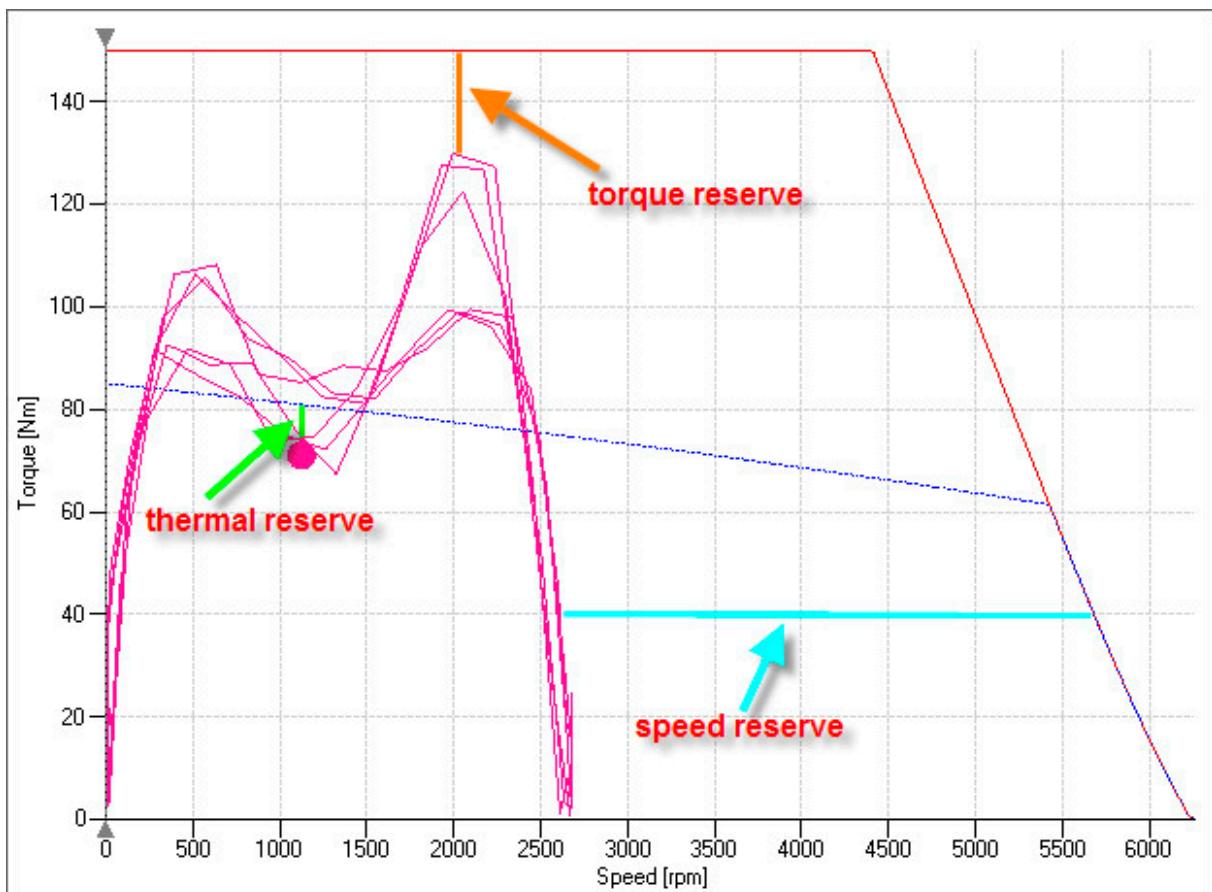


Abbildung 77: Aufzeichnung eines reellen Lastzyklus und Überprüfung der Antriebsdimensionierung



Motion \ Diagnose \ AS Inline Speed Torque Chart

# Dokumentation und Installation

## 6 Dokumentation und Installation

Für jede Produktgruppe gibt es ein B&R Anwenderhandbuch. Die Anwenderhandbücher sind die Referenzdokumentation für alle Eigenschaften eines Systems. Es sind alle relevanten Daten für Montage, Inbetriebnahme und Instandhaltung enthalten.



Mit der Suchfunktion im Anwenderhandbuch kann nach den Bestellnummern (Materialnummern) einzelner Module gesucht werden. So kann die benötigte Information am schnellsten gefunden werden.

Anwenderhandbücher und Datenblätter sind auf der B&R Website im Downloadbereich gespeichert. Die Suche wird über die Produktsuche oder direkt im Downloadbereich ermöglicht.

Der Downloadbereich befindet sich auf der B&R Website unter:

[www.br-automation.com](http://www.br-automation.com) → im Hauptmenü "Downloads".

**Folgende Inhalte sind im Downloadbereich zu finden:**

- Datenblätter
- Anwenderhandbücher
- Kataloge
- Treiber & Updates
- Tools
- Zertifikate
- uvm.

Nach dem Öffnen des Download Bereichs erhält man folgende Ansicht:

A screenshot of a website's download section. At the top, there is a navigation bar with links: Unternehmen, Branchen, Technologie, Produkte, Veranstaltungen, Akademie, Karriere, Downloads, Service, and a search bar. Below the navigation bar, the URL 'Homepage &gt; Downloads' is shown. The main area is titled 'Downloads'. On the left, there is a sidebar titled 'Produktgruppen' (Product Groups) listing categories such as Software, Industrie PCs und Panels, Steuerungs- und I/O Systeme, Sicherheitstechnik, Netzwerke und Feldbus Module, Antriebstechnik, Stromversorgungen, and Zubehör. At the bottom of the page, there are filters for 'Ergebnisse Filtern nach:' (Filter results by:), including 'Alle Sprachen' (All languages), 'Neueste' (Newest), a date range selector, and a 'Volltextsuche' (Full-text search) field with a magnifying glass icon.

Abbildung 78: Auswahldialog auf der Downloadseite

## 6.1 Anwenderhandbücher

Grundlegend verfügen die Leistungsteile der Antriebstechnik über einen Netzanschluss und Anschlüsse die zum Motor führen. Der Austausch der Leistungsteile ist nur im spannungslosen Zustand zulässig.

Nach dem Austausch des Antriebes ist die Erdung des Antriebs und der Kabel, die Verdrahtung der digitalen Eingänge (Not-Halt-, Quickstop-, Trigger-, Enable-, Endschaltereingänge) sowie das Anzugsmoment der Befestigungsschrauben bei ACOPOSmulti Modulen zu kontrollieren.

Weitere Informationen dazu sind im jeweiligen Anwenderhandbuch dokumentiert.



Abbildung 79:  
ACOPOS



Abbildung 80: ACOPOSmulti (hinten), ACOPOSmicro  
(links) und ACOPOSinverter



Abbildung 81:  
ACOPOSmotor

System	Bezeichnung des Anwenderhandbuchs
ACOPOSinverter P74	"ACOPOSinverter P74 Anwenderhandbuch"
ACOPOSinverter P84	"ACOPOSinverter P84 Anwenderhandbuch"
ACOPOSinverter X64	"ACOPOSinverter X64 Anwenderhandbuch"
ACOPOS	"ACOPOS Anwenderhandbuch"
ACOPOSmulti	"ACOPOSmulti Anwenderhandbuch"
ACOPOSremote	"Dezentrale Antriebstechnik Anwenderhandbuch"
ACOPOSmotor	"Dezentrale Antriebstechnik Anwenderhandbuch"
ACOPOSmicro	"ACOPOSmicro Anwenderhandbuch"
ACOPOSmulti mit SafeMC	"ACOPOSmulti mit SafeMC Anwenderhandbuch"
ACOPOS P3	"ACOPOS P3 Anwenderhandbuch"

Tabelle 4: Übersicht Antriebstechnik Anwenderhandbücher auf der B&R Website

## Dokumentation und Installation



In den Anwenderhandbüchern sind die Gefahrenhinweise zum Umgang mit dem jeweiligen System beschrieben. Den Anweisungen in den Anwenderhandbüchern ist Folge zu leisten.



Es wird grundlegend eine Unterscheidung zwischen B&R Motoren und Fremdmotoren (Motoren von anderen Herstellern) getroffen. Die nachfolgenden Informationen beziehen sich auf die B&R Motoren.



Abbildung 82: 8LSA56.E0060D000-0 -  
Synchronmotor Baugröße 5, EnDat Geber



Abbildung 83: Premium Planetengetriebe



### B&R Motortype

Schrittmotoren

Kompaktantriebe 8LVA

Getriebemotoren 8LVB

Synchronmotoren 8LS,  
8LSN

Synchronmotoren 8JS

Synchronmotoren 8KS

Torque Motoren 8LT

Synchronmotoren 8MS

Planetengetriebe

ACOPOSmotor

### Bezeichnung des Anwenderhandbuchs

"Schrittmotoren Anwenderhandbuch"

"Datenblatt 8LVA..."

"Datenblatt 8LVB..."

"Servomotoren 8LS Anwenderhandbuch"

"Datenblatt 8JS..."

"Datenblatt 8KS..."

"Datenblatt 8LT..."

"Datenblatt 8MS..."

"Übersicht Motor-Getriebe Kombinationen"

"Dezentrale Antriebstechnik Anwenderhandbuch"

Tabelle 5: Übersicht Anwenderhandbücher Motoren auf der B&R Website

## 6.2 Hinweise zu Erdung und Schirmung

Der nachfolgende Abschnitt stellt ein paar allgemeingültige Empfehlung zum Thema Erdung und Schirmung zusammen. Es gelten immer die Bestimmungen im jeweiligen Anwenderhandbuch. Die Vorgehensweise zur Problembehebung an Maschinen bei denen Erdung und Schirmung zu Ausfällen führen, ist individuell abzustimmen.

### Schirmung und Erdung bei Antriebstechnik

- Um das Einkoppeln von Störungen zu vermeiden müssen folgende Leitungen ordnungsgemäß geschirmt werden:
  - Motorleitungen
  - Geberleitungen
  - Steuerleitungen
  - Datenleitungen
- Induktive Schaltglieder wie Schütze oder Relais sind mit entsprechenden Entstörgliedern wie Varistoren, RC Gliedern oder Schutzdioden zu versehen.
- Alle elektrischen Verbindungen sind so kurz wie möglich zu halten.
- Kabelschirme sind immer großflächig mit den dafür vorgesehenen leitfähigen Schirmklemmen und Steckergehäusen anzuschließen. Ein Verdrillen des Schirmgeflechts oder eine Verlängerung von Kabelschirmen mit Einzelleitern ist nicht zulässig!
- Es sind abgeschirmte Kabel mit Kupfergeflecht oder verzинntem Kupfergeflecht zu verwenden.
- Nicht verwendete Kabeladern sind nach Möglichkeit beidseitig zu erden.

Quelle	Inhalte
ACOPOSmulti Anwenderhandbuch Version 1.02 (August 2014) Abschnitt "Kapitel 5 • Verdrahtung" Unterkapitel 1.1	EMV-gerechte Installation
Unterkapitel 1.1.4	Anschluss-Skizzen für Erdverbindungen und Schirmanschlüsse

Tabelle 6: Hinweise zu Schirmung und Erdung im ACOPOS Antriebssystem

# Dokumentation und Installation

## 6.3 CAD-Konfigurator

Für die Einbindung von B&R Motoren und Getrieben in die Konstruktionsplanung gibt es neben den Datenblättern einen CAD-Konfigurator als Unterstützung. Damit werden Motoren samt Optionen und Getriebeanbauten konfiguriert. Konstruktionsdaten stehen anschließend in vielen Formaten zum Download bereit.

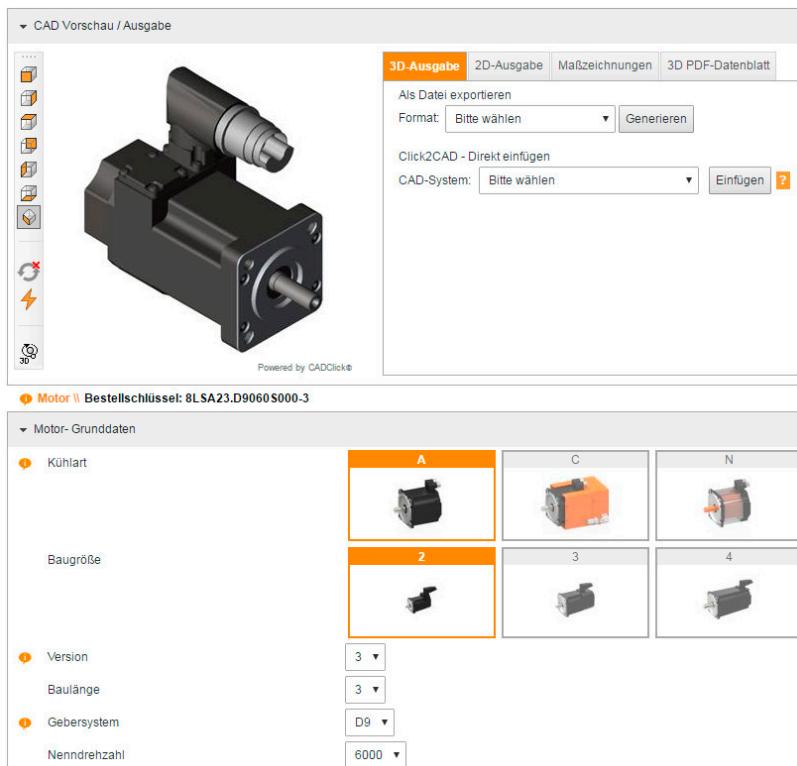


Abbildung 84: Oberfläche des CAD-Konfigurators

[www.br-automation.com](http://www.br-automation.com) → Produkte → Antriebstechnik → CAD-Konfigurator

## 6.4 Drehzahl-Drehmomentkennlinien

Neben den technischen Daten für die angebotenen Synchronmotoren stehen auch Drehzahl-Drehmomentkennlinien zur Verfügung. Durch die Auswahl von Antrieben mit verschiedenen Versorgungsspannungen können mehrere Drehzahl-Drehmomentkennlinien in einem Diagramm vereint werden. Die so erzeugten Kennlinien können direkt als Bilddatei gespeichert werden.



Abbildung 85: Drehzahl-Drehmomentkennlinien für Motor-Type 8LSC43.ee030ffgg-3



# Zusammenfassung

## 7 Zusammenfassung

Die Leistungsfähigkeit moderner Antriebssysteme hat sich durch den technologischen Fortschritt im Bereich der Leistungs- und Signalelektronik entscheidend verbessert.

Elektrische, informationstechnische und mechanische Komponenten werden gemeinsam zur Automatisierung eines Prozesses eingesetzt. Die optimale Abstimmung dieses mechatronischen Systems ist entscheidend für die Bewältigung hoher Anforderungen.



Abbildung 86: Das B&R Antriebstechnikproduktportfolio

Bereits die Auswahl der Antriebssystem-Komponenten muss in enger Abstimmung mit den Anforderungen des Prozesses erfolgen. Dabei stehen die spezifischen Eigenschaften der Systemkomponenten und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem im Vordergrund.

Für den Software-Entwickler sind grundlegende Kenntnisse rund um die Komponenten, Technologien und Vorgänge im System sehr hilfreich.

Auf dieser Basis kann das mechatronische Antriebssystem optimal angepasst, projektiert und zu einer wiederverwendbaren Funktionseinheit weiterentwickelt werden.

## Seminare und Trainingsmodule

**Mit der Automation Academy erreichen Sie Handlungskompetenz in kurzer Zeit!**

Unsere Seminare ermöglichen Ihnen, Ihre Kompetenz auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik zu erweitern.



### Automation Studio Seminare und Trainingsmodule

Programmierung und Konfiguration	Diagnose und Service
SEM210 – Basics SEM246 – IEC61131-3 Programmiersprache ST* SEM250 – Speicher- und Datenverwaltung*  SEM410 – Integrierte Antriebstechnik* SEM441 – Antriebstechnik elektronische Getriebe und Kurvenscheiben** SEM480 – Hydraulik** SEM110 – Achsgruppen und bahngesteuerte Bewegungen**  SEM510 – Integrierte Sicherheitstechnik (Safety)* SEM540 – Sichere Antriebstechnik (Safe Motion)***  SEM610 – Integrierte Visualisierung*	SEM920 – Diagnose und Service für Endanwender SEM920 – Diagnose und Service mit Automation Studio SEM950 – POWERLINK Konfiguration und Diagnose*  Sollten Sie in dieser Übersicht und auf unserer Website kein passendes Seminarangebot entdecken, so bieten wir nach Vereinbarung mit Ihrem zuständigen Vertriebsmitarbeiter auch kundenspezifische Seminare an: SEM099 – Individueller Trainingstag
<b>Übersicht Trainingsmodule</b>	
TM210 – Arbeiten mit Automation Studio TM213 – Automation Runtime TM223 – Automation Studio Diagnose TM230 – Strukturierte Softwareentwicklung TM240 – Kontaktplan (LD) TM241 – Funktionsplan (FBD) TM242 – Ablaufsprache (SFC) TM246 – Strukturierter Text (ST) TM250 – Speichermanagement & Datenhaltung  TM400 – Übersicht Antriebstechnik TM410 – Arbeiten mit Integrierter Antriebstechnik TM440 – Antriebstechnik Grundfunktionen TM441 – Antriebstechnik elektronische Getriebe und Kurvenscheiben TM1110 – Integrierte Antriebstechnik - Achsgruppen TM1111 – Integrierte Antriebstechnik - Bahngesteuerte Bewegungen TM450 – Antriebstechnik Regelungskonzept und Einstellung TM460 – Erstinbetriebnahme von Motoren  TM500 – Übersicht Integrierte Sicherheitstechnik TM510 – Arbeiten mit dem SafeDESIGNER TM540 – Integrierte sichere Antriebstechnik	
TM600 – Übersicht Visualisierung TM610 – Arbeiten mit Integrierter Visualisierung TM611 – Arbeiten mit mapp View TM630 – Projektierungsguide Visualisierung TM640 – Alarmsystem, Trend und Diagnose TM670 – Visual Components Advanced  TM920 – Diagnose und Service TM923 – Diagnose und Service mit Automation Studio TM950 – POWERLINK Konfiguration und Diagnose  TM280 – Condition Monitoring für Schwingungsmesstechnik TM480 – Hydraulik Basis TM481 – Ventilbasierte Hydraulikantriebe TM482 – Hydraulische Servopumpenantriebe TM490 – Druckmaschinen Technologie  Alternativ zur Druckversion, stellen wir Ihnen unsere Trainingsmodule über den Downloadbereich unserer Website als "electronic Document" zur Verfügung (Login erforderlich):  Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Website: <a href="http://www.br-automation.com/academy">www.br-automation.com/academy</a>	

### Prozessleittechnik Seminare und Trainingsmodule

Standardseminare Prozessleittechnik	Trainingsmodule Prozessleittechnik
SEM841 – Process Control Training: Basic 1 SEM842 – Process Control Training: Basic 2 SEM890 – Solutions Advanced Process Control	TM800 – APROL Systemkonzept TM810 – APROL Setup, Konfiguration und Recovery TM811 – APROL Runtime System TM812 – APROL Operatorverwaltung TM813 – APROL Web Portal TM820 – APROL Solutions TM830 – APROL Projekt Engineering TM835 – APROL ST-SFC Projektierung TM840 – APROL Parameterverwaltung und Rezepte TM850 – APROL Controller Konfiguration und INA TM860 – APROL Bibliothekserstellung TM865 – APROL Handbuch zur Bibliothekserstellung TM870 – APROL Python Programmierung TM880 – APROL Reporting TM890 – LINUX Grundlagen

\* Voraussetzung ist die Teilnahme an SEM210 - Basics

\*\* Voraussetzung ist die Teilnahme an SEM410 - Integrierte Antriebstechnik

\*\*\* Voraussetzung ist die Teilnahme an den Seminaren SEM410 - Integrierte Antriebstechnik und SEM510 - Integrierte Sicherheitstechnik (Safety)

\*\*\*\* Auf unserer Website finden Sie im Bereich Academy\Seminare unser Seminarangebot. Die Seminarbeititel können je nach Land variieren. Nicht alle Seminare sind in allen Ländern verfügbar.

V1.2.0.1 ©2016/11/14 by B&R, Alle Rechte vorbehalten.  
Alle eingetragenen Warenzeichen sind Eigentum der jeweiligen Firma.  
Technische Änderungen vorbehalten.



TM400TRE.00-GER