

# Technische Informationen



# Impressum

**Version:**

10. Auflage, 2018

**Copyright**

by Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG  
Daimlerstr. 23 / 25 · 71101 Schönaich

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, vorbehalten.  
Ohne vorherige ausdrückliche schriftliche Genehmigung  
der Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG darf kein Teil  
dieser Beschreibung vervielfältigt, reproduziert, in  
einem Informationssystem gespeichert oder verarbeitet  
oder in anderer Form weiter übertragen werden.

Dieses Dokument wurde mit Sorgfalt erstellt.  
Die Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG übernimmt jedoch  
für eventuelle Irrtümer diesem Dokument und deren Folgen  
keine Haftung. Ebenso wird keine Haftung für direkte  
Schäden oder Folgeschäden übernommen, die sich aus  
einem unsachgemäßen Gebrauch der Produkte ergeben.

Änderungen vorbehalten. Die jeweils aktuelle Version  
dieses Dokuments finden Sie auf der Internetseite von  
FAULHABER: [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com)

## Inhaltsübersicht

<b>DC-Motoren</b>	DC-Kleinstmotoren DC-Flachmotoren & DC-Getriebemotoren	4 – 15
<b>Bürstenlose DC-Motoren</b>	Bürstenlose DC-Servomotoren Bürstenlose DC-Flachmotoren & DC-Getriebemotoren	16 – 25
<b>Motoren mit integrierter Elektronik</b>	Bürstenlose DC-Motoren mit integriertem Speed Controller Bürstenlose DC-Servomotoren mit integriertem Motion Controller	26 – 47
<b>Schrittmotoren</b>	Schrittmotoren	48 – 53
<b>Lineare DC-Servomotoren</b>	Lineare DC-Servomotoren	54 – 59
<b>Präzisionsgetriebe</b>	Präzisionsgetriebe	60 – 65
<b>Lineare Komponenten</b>	Kugelumlaufspindeln Spindeln und Optionen	66 – 72
<b>Encoder</b>	Encoder – 2 Kanäle Encoder – 3 Kanäle Encoder – Absolutencoder	73 – 86
<b>Steuerungen</b>	Speed Controller Motion Controller	87 – 106

# DC-Motoren





## DC-Kleinstmotoren

### Technische Informationen

#### Allgemeine Angaben

##### Die FAULHABER-Wicklung:

Die von Dr. Fritz Faulhaber senior entwickelte und 1958 patentierte freitragende, eisenlose Rotorspule mit Schrägwicklung ist das Kernstück der FAULHABER DC-Motoren. Die revolutionäre Technologie hat mit ihrer Dynamik auf kleinstem Raum und bei niedrigstem Gewicht, ihrer Präzision und Zuverlässigkeit neue Wege für zahlreiche Anwendungsgebiete eröffnet. Die wesentlichen Vorteile dieser einzigartigen Antriebstechnologie sind:

- Kein Rastmoment, wodurch ein präziser Positionierbetrieb sowie sehr gute Drehzahlregelung ermöglicht und ein insgesamt höherer Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen DC-Motortypen erreicht wird
- Extrem hohes Drehmoment und hohe Leistung im Verhältnis zu Größe und Gewicht des Motors
- Absolut lineares Verhältnis von Last zu Drehzahl, Strom zu Drehmoment und Spannung zu Drehzahl
- Ein geringes Rotorträgheitsmoment garantiert eine hervorragende Dynamik bei Start- und Stopbetrieb
- Extrem niedrige Welligkeit und geringe elektromagnetische Störungen

##### DC-Motoren:

FAULHABER DC-Motoren sind mit zwei verschiedenen Kommutierungssystemen verfügbar: Edelmetallkommutierung und Graphitkommutierung.

Der Begriff Edelmetallkommutierung bezieht sich auf die in den Bürsten und im Kommutator verwendeten Materialien, die aus Hochleistungs-Edelmetalllegierungen bestehen. Diese Art des Kommutierungssystems wird hauptsächlich aufgrund seiner geringen Größe, des sehr niedrigen Übergangswiderstandes und des präzisen Kommutierungssignals verwendet. Das Kommutierungssystem eignet sich besonders für Anwendungen mit kleiner Strombelastung wie z. B. batteriebetriebene Geräte.

Generell haben edelmetallkommutierte Motoren ihren optimalen Arbeitspunkt für Dauerbetrieb bei Last am Punkt oder nahe ihres höchsten Wirkungsgrades.

Der Begriff Graphitkommutierung bezieht sich auf das verwendete Bürstenmaterial in Kombination mit einem Kommutator aus einer Kupferlegierung. Dieses Kommutierungssystem ist sehr robust und eignet sich besser für dynamische Hochleistungsapplikationen mit schnellem Start-/Stopbetrieb oder periodischen Überlastbedingungen.

##### Magnete:

FAULHABER DC-Motoren gibt es mit einer Vielzahl verschiedener Magnete, perfekt abgestimmt auf die Performance des jeweiligen Motortyps. Diese Materialien schließen AlNiCo-Magnete sowie hochwertige Seltene-Erden-Typen, wie z. B. SmCo und NdFeB, ein.

##### Lebensdauer:

Die Lebensdauer eines FAULHABER DC-Motors hängt im Wesentlichen vom gewählten Arbeitspunkt und den Umgebungsbedingungen in der Anwendung ab. Die Gesamt-Lebensdauer kann daher stark variieren – von einigen hundert Stunden unter Extrembedingungen bis hin zu über 25.000 Stunden unter optimalen Voraussetzungen. Unter typischen Lastbedingungen hat ein FAULHABER DC-Motor eine Gesamtlebensdauer im Bereich von 1.000 bis 5.000 Stunden.

Im Allgemeinen wird die Lebensdauer eines FAULHABER DC-Motors durch die Auswirkungen des elektrischen und mechanischen Verschleißes des Kommutators und der Bürsten bestimmt. Der elektrische Verschleiß (Funkenbildung) hängt stark von der elektrischen Last und der Motordrehzahl ab. Bei zunehmender Last und Drehzahl reduziert sich in der Regel die typische Lebensdauer eines Motors. Die Auswirkungen des elektrischen Verschleißes sind für Motoren mit Edelmetallkommutierung ausgeprägter und variieren je nach Nennspannung der Wicklung. Soweit erforderlich, werden FAULHABER DC-Motoren mit einer integrierten Funkenunterdrückung ausgerüstet, wodurch die negativen Auswirkungen der Funkenbildung auf die Lebensdauer minimiert werden.

Der mechanische Verschleiß des Kommutierungssystems hängt von der Motordrehzahl ab und nimmt mit steigenden Drehzahlen zu. Im Allgemeinen kann bei Applikationen mit über den Spezifikationen liegenden Drehzahlen und Lasten mit graphitkommutierten Motoren eine längere Lebensdauer erzielt werden. Außerdem ist es wichtig, die zulässige Belastung für die Lagerung gemäß Datenblatt im Dauerbetrieb nicht zu überschreiten, da ansonsten die Lebensdauer ebenfalls negativ beeinflusst wird.

Andere, die Lebensdauer beeinträchtigenden Auswirkungen sind Umgebungsbedingungen wie extreme Feuchtigkeit und Temperatur, starke Vibrationen und Erschütterungen sowie eine falsche oder nicht optimale Montage des Motors in der Applikation.

Darüber hinaus hat die Art der Regelung des Motors einen großen Einfluss auf die Lebensdauer. Wenn z. B. ein PWM-Signal für die Regelung verwendet wird, empfiehlt FAULHABER eine Mindestfrequenz von 20 kHz.

#### Modifikationen:

FAULHABER ist auf die Anpassung seiner Standardprodukte für kundenspezifische Anwendungen spezialisiert. Folgende Standardoptionen sind für FAULHABER DC-Motoren verfügbar:

- Zusätzliche Spannungstypen
- Anschlussleitungen (PTFE und PVC) und Stecker
- Konfigurierbare Wellenlänge und zweites Wellenende
- Modifizierte Wellengeometrie und Ritzelkonfigurationen wie z. B. Flächen, Zahnräder, Scheiben und Exzenter
- Erweiterter Temperaturbereich
- Vakuumtauglichkeit (z. B.  $10^{-5}$  Pa)
- Modifizierungen für Applikationen mit hohen Drehzahlen und/oder hohen Lasten
- Modifizierungen für Motoren mit erhöhten elektrischen oder mechanischen Toleranzanforderungen

#### Produktkombinationen

FAULHABER bietet für seine DC-Motoren die branchenweit größte Auswahl an maßgeschneiderten Kombinationsmöglichkeiten, unter anderem mit:

- Präzisionsgetriebe (Planetengetriebe, Stirnrad- und spielarme Stirnradgetriebe)
- Hochauflösende Encoder (Inkremental- und Absolutencoder)
- Leistungsfähige Steuerungen (Speed Controller, Motion Controller)

### DC-Kleinstmotoren

Edelmetallkommutierung

#### Serie 0615 ... S

Werte bei 22°C und Nennspannung	0615 N
1 Nennspannung	$U_N$
2 Anschlusswiderstand	$R$
3 Wirkungsgrad, max.	$\eta_{max}$
4 Leerlaufdrehzahl	$n_o$
5 Leerlaufstrom, typ. (bei Wellen $\phi 0,8$ mm)	
6 Anhaltmoment	

#### Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Werte wurden bei Nennspannung und einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

##### Nennspannung $U_N$ [V]

Die Spannung, bei der alle anderen angegebenen Leistungsmerkmale gemessen und klassifiziert werden.

##### Anschlusswiderstand $R$ [ $\Omega$ ] $\pm 12\%$

Der über die Motoranschlüsse gemessene Widerstand.

Der Wert ändert sich mit der Wicklungstemperatur.

(Temperaturkoeffizient:  $\alpha_{22} = 0,004 \text{ K}^{-1}$ ).

Diese Art der Messung ist für graphitkommutierte Motoren aufgrund des Übergangswiderstandes der Bürsten nicht möglich.

##### Wirkungsgrad $\eta_{max}$ [%]

Das maximale Verhältnis zwischen der aufgenommenen elektrischen Leistung und der abgegebenen mechanischen Leistung des Motors.

$$\eta_{max} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_o \cdot R}{U_N}}\right)^2$$

##### Leerlaufdrehzahl $n_o$ [ $\text{min}^{-1}$ ] $\pm 12\%$

Beschreibt die Motordrehzahl im Leerlauf im eingeschwungenen Zustand bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C. Falls nicht abweichend definiert, gilt für die Leerlaufdrehzahl eine Toleranz von  $\pm 12\%$ .

$$n_o = \frac{U_N - (I_o \cdot R)}{2\pi \cdot k_M}$$

##### Leerlaufstrom (typisch) $I_o$ [A]

Beschreibt die Stromaufnahme des unbelasteten Motors in eingeschwungenem Zustand bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C.

Der Leerlaufstrom ist drehzahl- und temperaturabhängig. Änderungen der Umgebungstemperatur oder der Kühlbedingungen beeinflussen den Wert. Darüber hinaus wird der

## DC-Kleinstmotoren

### Technische Informationen

Leerlaufstrom des Motors durch Änderungen an der Welle, der Lagerung, der Schmierung und des Kommutierungssystems sowie Kombinationen mit anderen Komponenten wie z. B. Getrieben oder Encodern beeinflusst.

#### Anhaltemoment $M_H$ [mNm]

Das vom Motor bei Stillstand (stehender Rotor) und Nennspannung entwickelte Drehmoment. Dieser Wert kann sich durch Magnettyp und -temperatur sowie der Wicklungstemperatur ändern.

$$M_H = k_M \cdot \frac{U_N}{R} - M_R$$

#### Reibungsdrehmoment $M_R$ [mNm]

Durch die Reibung von Bürsten, Kommutator und Lagerung verursachte Drehmomentverluste. Dieser Wert ist temperaturabhängig.

$$M_R = k_M \cdot I_o$$

#### Drehzahlkonstante $k_n$ [min<sup>-1</sup>/V]

Die Drehzahländerung pro an die Motoranschlüsse angelegtem Volt bei konstanter Last.

$$k_n = \frac{n_o}{U_N - I_o \cdot R} = \frac{1}{k_E}$$

#### Generator-Spannungskonstante $k_E$ [mV/min<sup>-1</sup>]

Die Konstante, die das Verhältnis zwischen induzierter Spannung und Drehzahl beschreibt.

$$k_E = 2\pi \cdot k_M$$

#### Drehmomentkonstante $k_M$ [mNm/A]

Die Konstante, die das Verhältnis zwischen Motordrehmoment und aufgenommenem Strom beschreibt.

#### Stromkonstante $k_I$ [A/mNm]

Beschreibt das Verhältnis des Stroms in der Motorwicklung und dem an der Abtriebswelle abgegebenen Drehmoment.

$$k_I = \frac{1}{k_M}$$

#### Steigung der n-/M-Kennlinie $\Delta n / \Delta M$ [min<sup>-1</sup>/mNm]

Das Verhältnis der Drehzahländerung zur Drehmomentänderung. Je kleiner der Wert, desto leistungsfähiger ist der Motor.

$$\frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{R}{k_M^2} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

#### Anschlussinduktivität $L$ [μH]

Die an den Motoranschlüssen bei 1 kHz gemessene Induktivität.

#### Mechanische Anlaufzeitkonstante $\tau_m$ [ms]

Die Zeit, die der Motor ohne Last benötigt, um vom Stillstand auf 63% der Enddrehzahl zu kommen.

$$\tau_m = \frac{R \cdot J}{k_M^2}$$

#### Rotorträgheitsmoment $J$ [gcm<sup>2</sup>]

Das Massenträgheitsmoment des Rotors.

#### Winkelbeschleunigung $\alpha_{max}$ [rad/s<sup>2</sup>]

Die Beschleunigung aus dem Stillstand ohne Last und bei Nennspannung.

$$\alpha_{max} = \frac{M_H}{J}$$

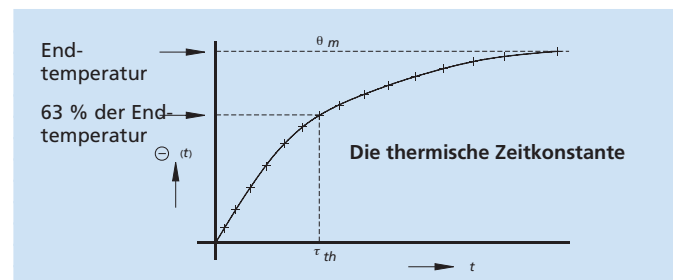
#### Wärmewiderstand $R_{th1}$ ; $R_{th2}$ [K/W]

$R_{th1}$  entspricht dem Wärmewiderstand zwischen Wicklung und Gehäuse.

$R_{th2}$  entspricht dem Wärmewiderstand zwischen Gehäuse und Umgebung.  $R_{th2}$  kann reduziert werden, indem ein Wärmeaustausch zwischen Motor und Umgebung ermöglicht wird (z. B. durch den Einsatz eines Kühlkörpers und/oder durch eine Zwangsbelüftung).

#### Thermische Zeitkonstante $\tau_{w1}$ ; $\tau_{w2}$ [s]

Beschreibt die Zeit, die die Wicklung ( $\tau_{w1}$ ) und das Gehäuse ( $\tau_{w2}$ ) benötigen, um eine Temperatur von 63% des endgültigen Wertes im eingeschwungenen Zustand zu erreichen.



#### Betriebstemperaturbereich [°C]

Gibt die minimale und maximale Standard-Betriebstemperatur des Motors sowie die höchstzulässige Temperatur der Standardmotorwicklung an.

#### Wellenlagerung

Die für die DC-Kleinstmotoren verwendeten Lager.

#### Wellenbelastung, max. zulässig [N]

Die max. zulässige Wellenbelastung bei angegebenem Wellendurchmesser für die Abtriebswelle. Die Werte für Belastung und Lebensdauer von Motoren mit Kugellagern basieren auf den Herstellerangaben. Dieser Wert gilt nicht für das hintere oder zweite Wellenende.

#### Wellenspiel [mm]

Spiel zwischen Welle und Lagerung einschließlich des zusätzlichen Lagerspiels bei Kugellagern.

#### Gehäusematerial

Das Gehäusematerial und die Oberflächenbehandlung.

#### Masse [g]

Die typische Masse des Standardmotors.

#### Drehrichtung

Drehrichtung der Abtriebswelle vom Wellenende auf die Abtriebsseite des Motors gesehen. Wenn an der Anschlussfahne (+) des Motors eine positive Spannung angelegt wird, dreht sich die Motorwelle im Uhrzeigersinn. Alle Motoren eignen sich für den Betrieb im (CW) und gegen (CCW) den Uhrzeigersinn; die Drehrichtung ist reversibel.

#### Drehzahl bis $n_{max}$ [ $\text{min}^{-1}$ ]

Die maximal empfohlene Motordrehzahl bei Dauerbetrieb. Dieser Wert basiert auf dem empfohlenen Betriebsbereich für die serienmäßigen Motorlager, die Wicklung und das Kommutierungssystem. Alle höheren Werte haben negative Auswirkungen auf die maximal erreichbare Lebensdauer des Motors.

#### Anzahl der Polpaare

Gibt die Anzahl der Polpaare des Standardmotors an.

#### Magnetmaterial

Beschreibt den Grundtyp des Magneten, der im Standardmotor verwendet wird.

#### Längenmaße ohne mechanische Toleranzangaben

Toleranzen gemäß ISO 2768.

≤ 6 = ± 0,1 mm

≤ 30 = ± 0,2 mm

≤ 120 = ± 0,3 mm

Die Toleranzen nicht spezifizierter Werte erhalten Sie auf Anfrage.

Alle mechanischen Abmessungen der Motorwelle werden mit axialer Wellenbelastung in Richtung Motor gemessen.

### Nennwerte für Dauerbetrieb

Die folgenden Werte werden bei Nennspannung und einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

#### Nenndrehmoment $M_N$ [mNm]

##### Für DC-Motoren mit Edelmetallkommutierung:

Das maximale Dauerdrehmoment bei Nennspannung, bei dem im eingeschwungenen Zustand durch die resultierenden Ströme und Drehzahlen die Belastbarkeit der Bürsten und die Grenzen des Kommutierungssystems nicht überschritten werden. Das Nenndrehmoment wird ohne eine

Reduzierung des  $R_{th2}$ -Wertes angegeben (ohne externe Kühlung). Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt. Das Nenndrehmoment wird bei einzelnen Motoren durch die resultierende Untergrenze der Nenndrehzahl ( $< 2\,500\,\text{min}^{-1}$ ) bei Nennspannung begrenzt.

Hinweis: Motoren mit Edelmetallkommutierung haben ihren optimalen Arbeitspunkt für Dauerbetrieb am Punkt oder nahe ihres höchsten Wirkungsgrades.

Für Betriebsbedingungen, bei denen der Motor nah an seinen thermischen Grenzen arbeiten muss, wird ein DC-Motor mit Graphitkommutierung empfohlen.

##### Für DC-Motoren mit Graphitkommutierung:

Das maximale Dauerdrehmoment (S1-Betrieb) bei Nennspannung, bei dem im eingeschwungenen Zustand die Temperatur die maximal zulässige Wicklungstemperatur und/oder den Betriebstemperaturbereich des Motors nicht überschreitet. Der Motor ist mit einer Reduzierung des  $R_{th2}$ -Wertes um 25% angegeben, was in etwa der Kühlung des Motors in einer typischen Montagesituation entspricht. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### Nennstrom (thermische Grenze) $I_N$ [A]

Der typische maximale Dauerstrom in eingeschwungenem Zustand, der aus dem Nenndrehmoment bei Dauerbetrieb resultiert. Dieser Wert beinhaltet eine geringere  $k_M$  (Drehmomentkonstante), da der Temperaturkoeffizient der Wicklung sowie die thermischen Eigenschaften des eingesetzten Magnetmaterials berücksichtigt werden. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, bei Start-/Stopbetrieb, in der Anlaufphase und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt. Bei bestimmten Baureihen sowie manchen Niederspannungstypen ist dieser Strom durch die Belastbarkeit der Bürsten und die Grenzen des Kommutierungssystems limitiert.

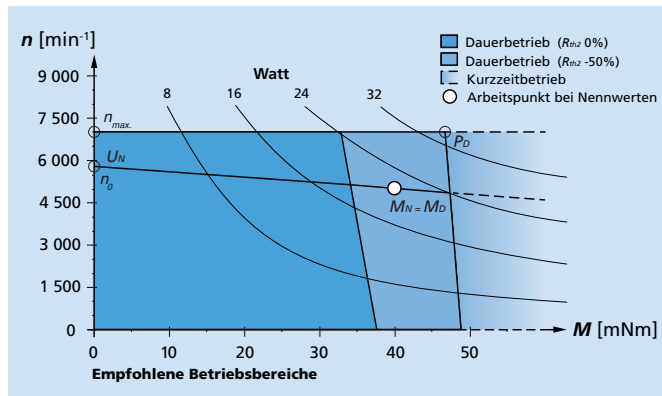
#### Nenndrehzahl $n_N$ [ $\text{min}^{-1}$ ]

Die typische Drehzahl in eingeschwungenem Zustand, die sich aus dem gegebenen Nenndrehmoment ermittelt. Dieser Wert schließt die Effekte der Motorerwärmung auf die Steigung der  $n/M$ -Kennlinie ein. Höhere Drehzahlen können durch Erhöhung der Versorgungsspannung zum Motor erreicht werden.



## DC-Kleinstmotoren

### Technische Informationen



Beispiel: Leistungsdiagramm für Nennwerte bei Dauerbetrieb (Graphitkommutierung)

### Erläuterungen zum Leistungsdiagramm

Das Leistungsdiagramm zeigt den Bereich der möglichen Arbeitspunkte eines Antriebs bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C und beinhaltet sowohl den Betrieb im thermisch isolierten wie auch im gekühlten Zustand. Dargestellt werden die möglichen Drehzahlbereiche in Abhängigkeit zum Wellendrehmoment.

Der gestrichelt dargestellte Sektor beschreibt mögliche Arbeitspunkte, in denen der Antrieb im intermittierenden Betrieb oder bei erhöhter Kühlung zum Einsatz kommen kann.

#### Dauerdrehmoment $M_D$ [mNm]

Beschreibt das max. empfohlene Dauerdrehmoment im eingeschwungenen Zustand bei Nennspannung und thermischer Reduzierung des  $R_{th2}$  Wertes um 25% bei Graphitkommutierung und 0% bei Edelmetallkommutierung. Das Dauerdrehmoment entspricht bei bürstenbehafteten Motoren dem jeweiligen Nenndrehmoment  $M_N$ . Der Wert ist unabhängig von der Dauerleistung und kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird und/oder mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### Dauerleistung $P_D$ [W]

Beschreibt die max. mögliche Leistung im Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei thermischer Reduzierung des  $R_{th2}$  Wertes um 50%. Der Wert ist unabhängig vom Dauerdrehmoment und kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird und/oder mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### Nennspannungskennlinie $U_N$ [V]

Die Nennspannungskurve beschreibt die Arbeitspunkte bei  $U_N$  im ungekühlten und gekühlten Zustand. Im eingeschwungenen Zustand entspricht der Startpunkt der Leerlaufdrehzahl  $n_0$  des Antriebs. Betriebspunkte oberhalb dieser Kurve können durch eine Erhöhung, Betriebspunkte unterhalb durch eine Reduzierung der Nennspannung erreicht werden.

### Auswahl des geeigneten DC-Kleinstmotors

Dieser Abschnitt beschreibt Schritt für Schritt die Vorgehensweise zur Auswahl eines DC-Kleinstmotors für eine Anwendung mit Dauerbetrieb unter konstanten Last- und Umgebungsbedingungen. Das Beispiel beschreibt die erforderlichen Berechnungen zur Erstellung eines Diagramms mit den wichtigsten Motorkennlinien, um das Verhalten des Motors in der Anwendung aufzuzeigen. Zur Vereinfachung der Berechnung setzt dieses Beispiel Dauerbetrieb und optimale Lebensdauerleistung voraus; die Einflüsse von Temperatur und Kommutierungssystem sowie Toleranzen wurden vernachlässigt.

#### Anwendungsdaten:

Die für jede Anwendung wesentlichen Daten sind:

Erforderliches Drehmoment	$M$
Erforderliche Drehzahl	$n$
Einschaltdauer	$\delta$
Verfügbare Versorgungsspannung, max.	$U$
Verfügbare Strom, max.	$I$
Verfügbare Platz, max.	Durchmesser/Länge
Wellenbelastung	radial/axial
Umgebungstemperatur	

Das vorliegende Beispiel geht von folgenden

#### Anwendungsdaten aus:

Abtriebsdrehmoment	$M$	= 3	mNm
Drehzahl	$n$	= 5 500	$\text{min}^{-1}$
Einschaltdauer	$\delta$	= 100	%
Versorgungsspannung	$U$	= 20	V
Stromquelle, max.	$I$	= 0,5	A
Max. verfügbarer Platz	Durchmesser	= 25	mm
	Länge	= 50	mm
Wellenbelastung	radial	= 1,0	N
	axial	= 0,2	N
Umgebungstemperatur		= 22 °C	konstant

#### Vorauswahl

Der erste Schritt besteht darin, die zu erbringende Leistung des Motors zu berechnen:

$$P_2 = M \cdot 2 \cdot \pi n$$

$$P_2 = 3 \text{ mNm} \cdot 5 500 \text{ min}^{-1} \cdot 2\pi = 1,73 \text{ W}$$

Vergleichen Sie in einem zweiten Schritt die Abmessungen (Durchmesser und Länge) mit den Motorgrößen in den Datenblättern. Vergleichen Sie anschließend anhand der verfügbaren Motorgrößen das geforderte Abtriebsdrehmoment mit dem Diagramm für die empfohlenen Einsatzgebiete für die fraglichen Motortypen. Bitte wählen Sie einen Motortyp, bei dem das geforderte Abtriebsdrehmoment und die Drehzahl deutlich innerhalb der im Diagramm angegebenen Grenzen liegen. Zur Erzielung optimaler Ergebnisse wird empfohlen, dem Motor nahe dem im Diagramm angegebenen „Betriebspunkt“ beim

Nennwert" zu betreiben. Bitte beachten Sie, dass das Diagramm im Datenblatt ein repräsentatives Beispiel im Hinblick auf eine Nennspannung ist und nur der Orientierung dienen sollte.

Für diese spezielle Anwendung wurde aus dem Katalog der **Motor 2224 U 024 SR** mit den folgenden Daten gewählt:

Nennspannung	$U_N$	= 24	V
Abmessungen:	$\emptyset$	= 22	mm
	$L$	= 24	mm
Max. Wellenbelastung:	radial	= 1,5	N
	axial	= 0,2	N
Leerlaufstrom	$I_o$	= 0,007	A
Leerlaufdrehzahl	$n_o$	= 7 800	min <sup>-1</sup>
Anhaltmoment	$M_H$	= 19	mNm

#### Optimierung des Betriebspunktes

Um Betrieb und Lebensdauer des Motors zu optimieren, muss die gewünschte Drehzahl  $n$  bei Nennspannung gleich oder höher sein als die halbe Leerlaufdrehzahl  $n_o$ , und das Lastmoment  $M$  muss gleich oder niedriger sein als die Hälfte des Anhaltmoments  $M_H$ .

$$n \geq \frac{n_o}{2} \quad M \leq \frac{M_H}{2}$$

Der Motor **2224 U 024 SR** zeigt, dass die Parameter die gestellten Forderungen erfüllen.

$$n = 5\,500 \text{ min}^{-1} \quad \text{ist höher als} \quad \frac{7\,800 \text{ min}^{-1}}{2} = 3\,900 \text{ min}^{-1} = \frac{n_o}{2}$$

$$M = 3 \text{ mNm} \quad \text{ist geringer als} \quad \frac{19 \text{ mNm}}{2} = 9,5 \text{ mNm} = \frac{M_H}{2}$$

Dieser Motor ist eine gute erste Wahl und sollte für die vorliegende Anwendung getestet werden. Ist die geforderte Drehzahl niedriger als die halbe Leerlaufdrehzahl  $n_o$  und liegt das Lastmoment  $M$  unter dem halben Anhaltmoment  $M_H$ , sollte der Motor mit der nächsthöheren Nennspannung  $U_N$  gewählt werden. Wenn das geforderte Drehmoment  $M$  erfüllt, die geforderte Drehzahl  $n$  jedoch niedriger ist als die halbe Leerlaufdrehzahl  $n_o$ , sollte ein Motor mit niedrigerer Nennspannung  $U_N$  oder kleineren Gehäuseabmessungen gewählt werden. Liegt die geforderte Drehzahl deutlich unter der halben Leerlaufdrehzahl und/oder ist das Lastmoment  $M$  größer als das halbe Anhaltmoment  $M_H$ , sollte ein Getriebe benutzt oder ein Motor mit größeren Abmessungen gewählt werden.

#### Leistungskennlinien bei Nennspannung (24 V)

Eine graphische Darstellung der Motorkennlinien erhält man durch Berechnung des Haltestroms  $I_H$  und des Drehmoments  $M_{opt.}$  bei maximalem Wirkungsgrad. Alle anderen Parameter sind direkt dem Datenblatt für den ausgewählten Motor zu entnehmen.

#### Haltestrom

$$I_H = \frac{U_N}{R}$$

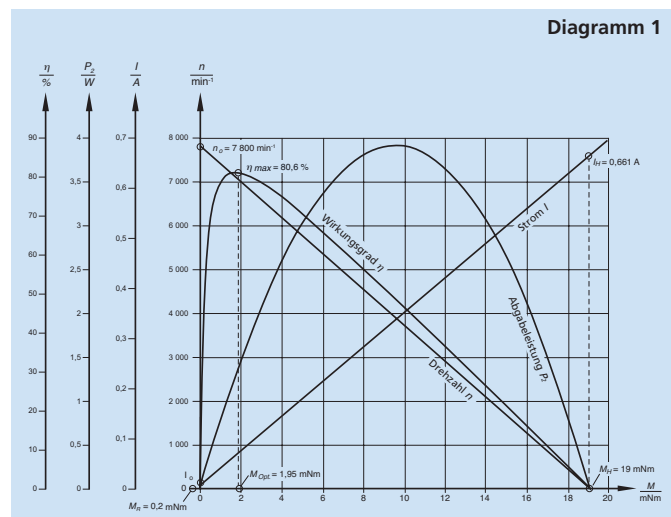
$$I_H = \frac{24 \text{ V}}{36,3 \, \Omega} = 0,661 \text{ A}$$

#### Drehmoment bei maximalem Wirkungsgrad

$$M_{opt.} = \sqrt{M_H \cdot M_R}$$

$$M_{opt.} = \sqrt{19 \text{ mNm} \cdot 0,2 \text{ mNm}} = 1,95 \text{ mNm}$$

Jetzt können die Motorkennlinien graphisch dargestellt werden (Diagramm 1).



## DC-Kleinstmotoren

### Technische Informationen

#### Berechnung der wichtigsten Parameter

In der vorliegenden Anwendung ist die verfügbare Versorgungsspannung niedriger als die Nennspannung des ausgewählten Motors. Die Berechnung unter Last wird deshalb mit 20 V ausgeführt.

#### Leerlaufdrehzahl $n_o$ bei 20 V

$$n_o = \frac{U - (I_o \cdot R)}{2\pi \cdot k_M}$$

mit den Werten

Versorgungsspannung	$U$	=	20 V
Anschlusswiderstand	$R$	=	36,3 $\Omega$
Leerlaufstrom	$I_o$	=	0,007 A
Drehmomentkonstante	$k_M$	=	29,1 mNm / A

$$n_o = \frac{20 \text{ V} - (0,007 \text{ A} \cdot 36,3 \Omega)}{2\pi \cdot 29,1 \text{ mNm / A}} = 6\,481 \text{ min}^{-1}$$

#### Haltestrom $I_H$

$$I_H = \frac{U}{R}$$

$$I_H = \frac{20 \text{ V}}{36,3 \Omega} = 0,551 \text{ A}$$

#### Anhaltmoment $M_H$

$$M_H = k_M \left( \frac{U}{R} - I_o \right)$$

$$M_H = 29,1 \text{ mNm / A} \cdot \left( \frac{20 \text{ V}}{36,3 \Omega} - 0,007 \text{ A} \right) = 15,83 \text{ mNm}$$

#### Wirkungsgrad, max. $\eta_{max}$

$$\eta_{max} = \left( 1 - \sqrt{I_o \cdot \frac{R}{U}} \right)^2$$

$$\eta_{max} = \left( 1 - \sqrt{0,007 \text{ A} \cdot \frac{36,3 \Omega}{20 \text{ V}}} \right)^2 = 78,9 \%$$

#### Drehmoment bei maximalem Wirkungsgrad ist:

$$M_{opt} = \sqrt{M_H \cdot M_R}$$

mit den Werten

Reibungsdrehmoment	$M_R$	=	0,2 mNm
und			
Anhaltmoment bei 20 V	$M_H$	=	15,83 mNm

$$M_{opt} = \sqrt{15,83 \text{ mNm} \cdot 0,2 \text{ mNm}} = 1,78 \text{ mNm}$$

#### Berechnung des Betriebspunktes bei 20 V

Unter Berücksichtigung des Drehmoments ( $M=3 \text{ mNm}$ ) am Arbeitspunkt können  $I$ ,  $n$ ,  $P_2$  und  $\eta$  wie folgt berechnet werden:

#### Strom am Betriebspunkt

$$I_{Last} = \frac{M + M_R}{k_M}$$

$$I_{Last} = \frac{3 \text{ mNm} + 0,2 \text{ mNm}}{29,1 \text{ mNm / A}} = 0,11 \text{ A}$$

#### Drehzahl am Betriebspunkt

$$n = \frac{U - R \cdot I_{Last}}{2\pi \cdot k_M}$$

$$n = \frac{20 \text{ V} - 36,3 \Omega \cdot 0,11 \text{ A}}{2\pi \cdot 29,1 \text{ mNm / A}} = 5\,253 \text{ min}^{-1}$$

#### Abgabeleistung am Betriebspunkt

$$P_2 = M \cdot 2\pi \cdot n$$

$$P_2 = 3 \text{ mNm} \cdot 2\pi \cdot 5\,253 \text{ min}^{-1} = 1,65 \text{ W}$$

#### Wirkungsgrad am Betriebspunkt

$$\eta = \frac{P_2}{U \cdot I}$$

$$\eta = \frac{1,65 \text{ W}}{20 \text{ V} \cdot 0,11 \text{ A}} = 75,0 \%$$

Im vorliegenden Beispiel entspricht die errechnete Drehzahl am Arbeitspunkt nicht der geforderten Drehzahl, deshalb muss die Versorgungsspannung geändert und die Berechnung wiederholt werden.

#### Versorgungsspannung am Betriebspunkt

Der genaue Wert für die Versorgungsspannung am Betriebspunkt ergibt sich nun aus folgender Gleichung:

$$U = R \cdot I_{Last} + 2\pi \cdot n \cdot k_M$$

$$U = 36,3 \Omega \cdot 0,11 \text{ A} + 2\pi \cdot 5\,500 \text{ min}^{-1} \cdot 29,1 \text{ mNm / A} = 20,75 \text{ V}$$

Zusammenfassend sind die Parameter im vorliegenden Beispiel wie folgt:

Versorgungsspannung	$U$	=	20,75 V
Drehzahl	$n$	=	5 500 min <sup>-1</sup>
Nennmoment	$M_N$	=	3 mNm
Strom	$I$	=	0,11 A
Abgabeleistung	$P_2$	=	1,73 W
Wirkungsgrad	$\eta$	=	75,7 %

### Schätzung der Temperatur der Motorwicklung im Betriebszustand:

Um sicherzustellen, dass der Motor in einem zulässigen Temperaturbereich arbeitet, ist es erforderlich, die Temperatur von Wicklung und Gehäuse unter Last zu berechnen. Berechnen Sie zunächst die angenäherten Motorverluste mit folgender Formel:

$$P_{\text{Verlust}} = I_{\text{Last}}^2 \cdot R$$

mit den Werten

Strom	$I_{\text{Last}} = 0,11 \text{ A}$
Widerstand	$R = 36,3 \Omega$

$$P_{\text{Verlust}} = (0,11 \text{ A})^2 \cdot 36,3 \Omega = 0,44 \text{ W}$$

Multiplizieren Sie dann den Wert für die Verluste mit den kombinierten Wärmewiderständen des Motors, um die lastbedingte Temperaturänderung des Motors zu schätzen.

$$\Delta T = P_{\text{Verlust}} \cdot (R_{\text{th1}} + R_{\text{th2}})$$

mit den Werten

Thermischer Widerstand 1	$R_{\text{th1}} = 5 \text{ K/W}$
Thermischer Widerstand 2	$R_{\text{th2}} = 20 \text{ K/W}$

$$\Delta T = 0,44 \text{ W} \cdot (5 \text{ K/W} + 20 \text{ K/W}) = 11 \text{ K}$$

Addieren Sie die resultierende Temperaturänderung  $\Delta T$  zur Umgebungstemperatur, um die Motorwicklungstemperatur unter Last zu schätzen.

$$T_{\text{Wicklung}} = \Delta T + T_{\text{Umg}}$$

$$T_{\text{Wicklung}} = 11 \text{ K} + 22 \text{ °C} = 33 \text{ °C}$$

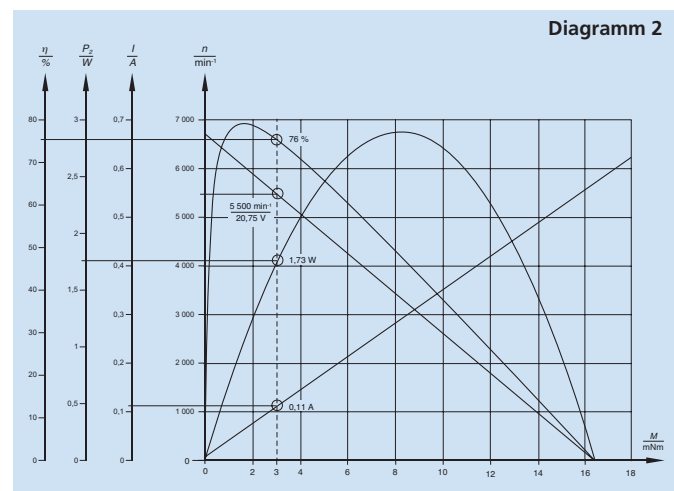
Diese Berechnung bestätigt, dass sich die Temperatur ausreichend innerhalb des spezifizierten Standard-Betriebstemperaturbereiches befindet, ebenso wie die maximale Wicklungstemperatur.

Die o. a. Berechnung dient nur zu Zwecken einer schnellen Schätzung. Die nichtlinearen Einflüsse der Temperatur auf den Widerstand der Wicklung und die aufgrund des Temperaturkoeffizienten des verwendeten Magnetmaterials resultierende Drehmomentkonstante ( $k_M$ ) des Motors wurden nicht in Betracht gezogen; sie können einen erheblichen Einfluss auf die Motorleistung bei höheren Temperaturen haben. Wenn der Motor in der Nähe seiner thermischen Grenzen betrieben werden soll, muss eine genauere Berechnung durchgeführt werden.

### Motorkennlinien

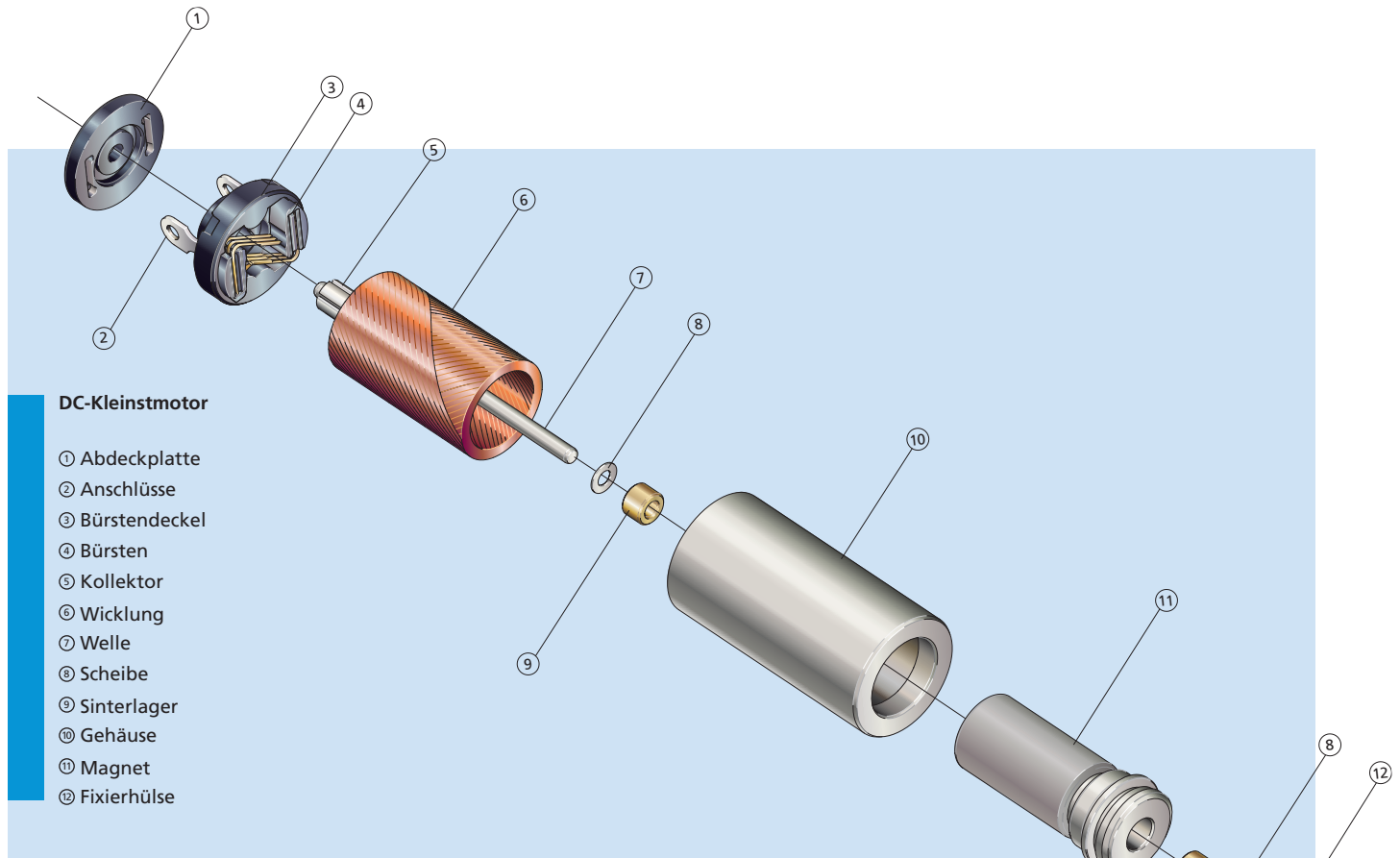
Die verschiedenen Parameter für ein bestimmtes Drehmoment können dem Diagramm 2 entnommen werden.

Zur Vereinfachung der Berechnung wurden die Einflüsse von Temperatur und Toleranzen bewusst vernachlässigt.



## DC-Kleinstmotoren

### Edelmetallkommutierung



### Funktion

Im Wesentlichen unterscheiden sich FAULHABER DC-Motoren von herkömmlichen DC-Motoren durch den Rotor. Dieser ist nicht auf einen Eisenkern gewickelt, sondern besteht aus einer freitragenden, in Schrägwicklung hergestellten Kupferwicklung. Federleicht, überzeugt der Rotor durch äußerst geringes Trägheitsmoment und rastmomentfreien Lauf. Darin liegt die einzigartige Dynamik der FAULHABER Motoren begründet. Bei Motoren mit kleiner Leistung haben sich Edelmetall-Kommutierungssysteme wegen ihres geringen Übergangswiderstandes bestens bewährt.

Die edelmetallkommutierten Motoren von FAULHABER reichen von 6 bis 22 mm Durchmesser. FAULHABER Antriebssysteme werden ergänzt durch eine umfangreiche Auswahl an Standardkomponenten wie hochauflösende Encoder, Präzisionsgetriebe und Steuerungen. FAULHABER ist spezialisiert auf die Modifikation der Antriebe für die besonderen Anforderungen der Kundenapplikationen. Zu den gängigen Anpassungen zählen Vakuumtauglichkeit, Erweiterungen des Temperaturbereichs, modifizierte Wellen, zusätzliche Spannungstypen, kundenspezifische Anschlüsse und Stecker und vieles mehr.

### Nutzen und Vorteile

- Sehr gut geeignet für Batteriebetrieb, z. B. in tragbaren Geräten
- Rastmomentfrei
- Extrem niedrige Stromaufnahme – niedrige Anlaufspannung
- Hohe Dynamik dank minimalem Rotorträgheitsmoment
- Leicht und kompakt
- Präziser Gleichlauf
- Einfache Regelung durch lineare Charakteristik

### Produktkennzeichnung



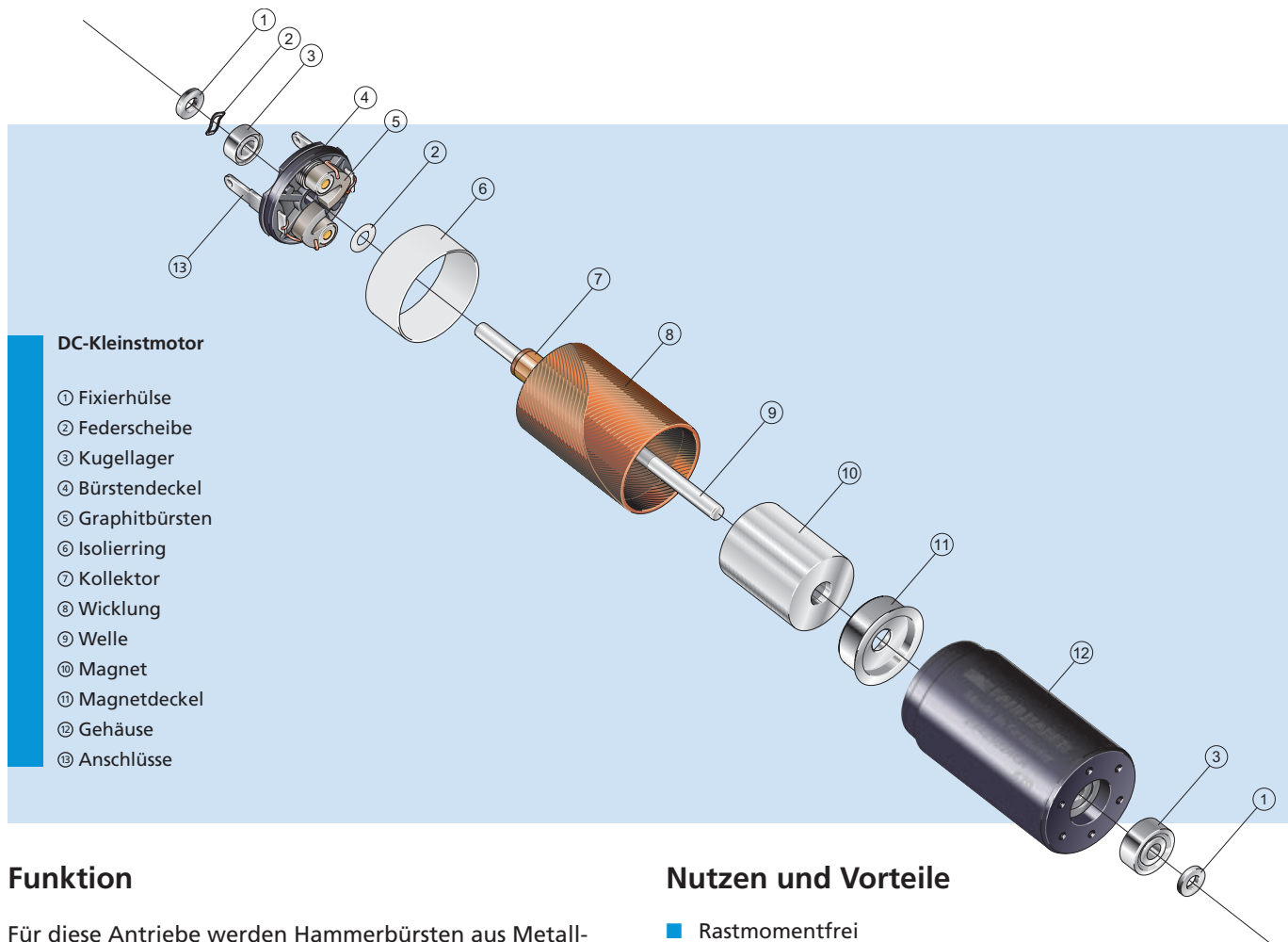
08	Motordurchmesser [mm]
16	Motorlänge [mm]
N	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
S	Kommutierungsart (Edelmetall)
R	Ausführung (Seltenerd-Magnet)

08 16 N 012 S R



## DC-Kleinstmotoren

### Graphitkommutierung



### Funktion

Für diese Antriebe werden Hammerbürsten aus Metallgraphit und mehrteilige Kupferkommutatoren verwendet. So erzielen Motoren mit größerer Leistung auch bei extremer Belastung hohe Lebensdauerwerte.

Für kundenspezifische Anforderungen stehen eine Vielzahl von Anpassungsmöglichkeiten und Sonderausführungen zur Verfügung.

FAULHABER Motoren mit Graphitbürsten sind erhältlich von 13 bis 38 mm Durchmesser. FAULHABER Antriebssysteme werden ergänzt durch eine umfangreiche Auswahl an Standardkomponenten wie hochauflösende Encoder, Präzisionsgetriebe und Steuerungen. FAULHABER ist spezialisiert auf die Modifikation der Antriebe für die besonderen Anforderungen der Kundenapplikationen. Zu den gängigen Anpassungen zählen Vakuumtauglichkeit, Erweiterungen des Temperaturbereichs, modifizierte Wellen, zusätzliche Spannungstypen, kundenspezifische Anschlüsse und Stecker und vieles mehr.

### Nutzen und Vorteile

- Rastmomentfrei
- Sehr hohe Leistungsdichte
- Hohe Dynamik dank minimalem Rotorträgheitsmoment
- Leicht und kompakt
- Präziser Gleichlauf
- Einfache Regelung durch lineare Charakteristik

### Produktkennzeichnung

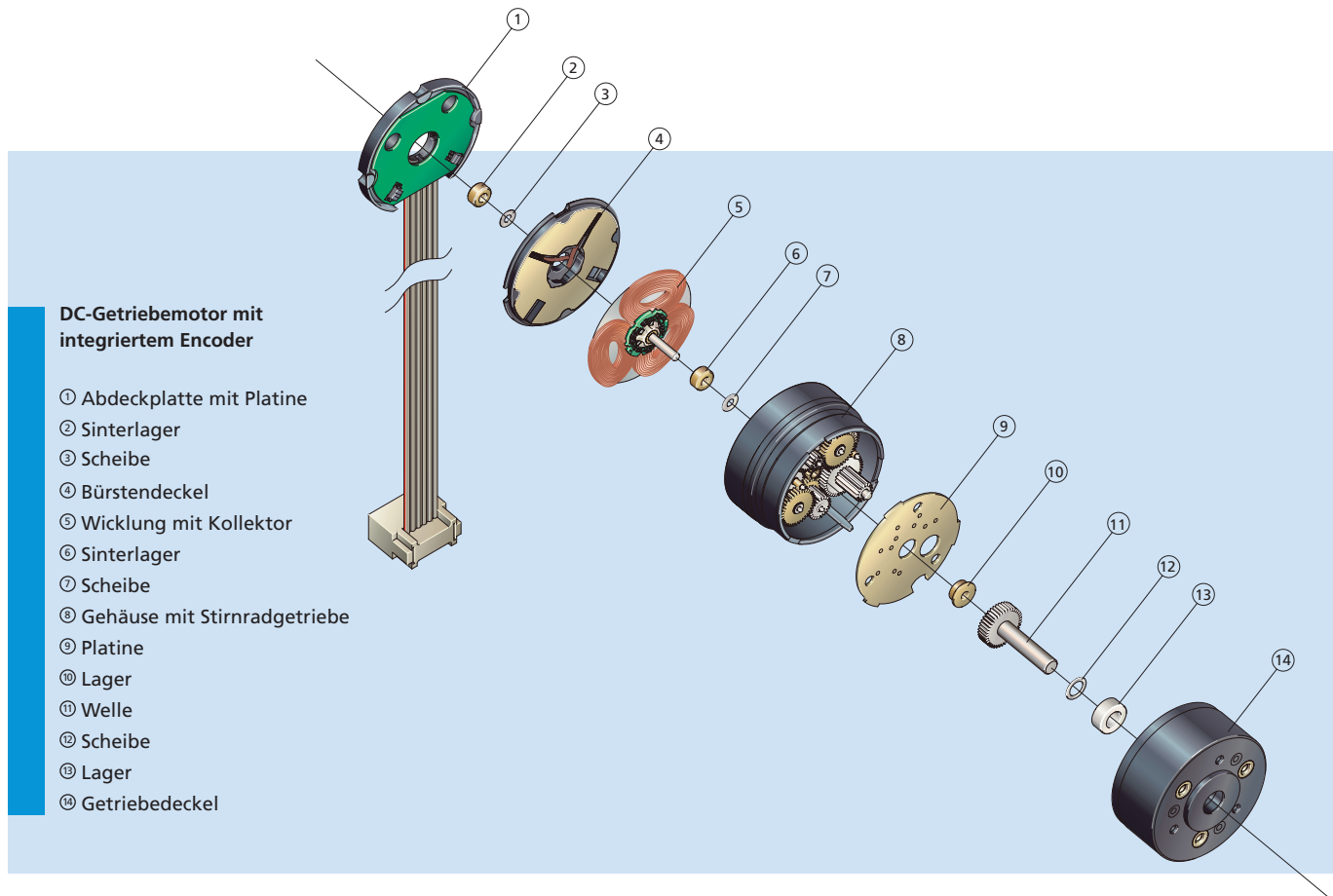


23	Motordurchmesser [mm]
42	Motorlänge [mm]
S	Abtriebsart
024	Nennspannung [V]
C	Kommutierungsart (Graphit)
R	Ausführung (Seltenerd-Magnet)

2342 S 024 CR

## DC-Flachmotoren

### Edelmetallkommutierung



### Funktion

Das Herzstück von jedem DC-Flachmotor ist der eisenlose Rotor mit seinen drei flachen freitragenden Kupferwicklungen. Mit minimalem Trägheitsmoment rotiert dieser in einem axial gerichteten Magnetfeld.

Die passenden Untersetzungsgetriebe sind die ideale Leistungsanpassung zwischen Last und Motor, durch Reduktion der hohen Motordrehzahl, bei gleichzeitiger Steigerung des Abtriebmoments.

FAULHABER ist spezialisiert auf die Modifikation der Antriebe für die besonderen Anforderungen der Kundenapplikationen. Zu den gängigen Anpassungen zählen Vakuumtauglichkeit, Erweiterungen des Temperaturbereichs, modifizierte Wellen, zusätzliche Spannungstypen, kundenspezifische Anschlüsse und Stecker und vieles mehr.

### Nutzen und Vorteile

- Rastmomentfrei
- Extrem niedrige Stromaufnahme – niedrige Anlaufspannung
- Hohe Dynamik dank minimalem Rotorträgheitsmoment
- Leicht und kompakt
- Präziser Gleichlauf
- Einfache Regelung durch lineare Charakteristik

### Produktkennzeichnung



26	Motordurchmesser [mm]
19	Motorlänge [mm]
S	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
S	Kommutierungsart (Edelmetall)
R	Ausführung (Seltenerd-Magnet)

2619 S 012 SR

# Bürstenlose DC-Motoren



# Bürstenlose DC-Servomotoren

## Technische Informationen

### Allgemeine Angaben

#### Die FAULHABER-Wicklung:

Das ursprünglich von Dr. Fritz Faulhaber sen. erfundene und 1958 patentierte FAULHABER System mit der fortschrittlichen eisenlosen, freitragenden, schräg gewickelten Rotorspule bildet das Herzstück jedes FAULHABER DC-Motors. Diese revolutionäre Technologie veränderte die Industrie und erschuf neue Möglichkeiten für Kundenanwendungen von DC-Motoren, in denen die größte Leistung, die besten dynamischen Eigenschaften, eine möglichst kleine Baugröße und eine geringe Masse verlangt werden. Bei der Anwendung in einem dreiphasigen bürstenlosen Motor rotiert die Wicklung nicht mehr, sondern wird vielmehr die Grundlage eines eisenlosen Stators. Die wesentlichen Vorteile dieser einzigartigen Technologie sind:

- Kein Rastmoment, wodurch ein präziser Positionierbetrieb sowie eine sehr gute Drehzahlregelung ermöglicht und ein insgesamt höherer Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen DC-Motortypen erreicht wird
- Extrem hohes Drehmoment und hohe Leistung im Verhältnis zu Baugröße und Masse des Motors
- Absolut lineares Verhältnis von Last zu Drehzahl, Strom zu Drehmoment und Spannung zu Drehzahl, mit hochempfindlichem Strom- / Drehmomentverhalten
- Extrem niedrige Drehmomentwelligkeit

#### Bürstenlose DC-Motoren:

Ob 4-Pol DC-Servomotoren mit hohem Drehmoment, hocheffiziente DC-Flachmotoren oder kompakte eisenlose Motoren, FAULHABER ist darauf spezialisiert, die beste Leistung aus der kleinsten Bauform herauszuholen.

Aufgrund ihres Designs sind die bürstenlosen DC-Motoren von FAULHABER ideal für Hochleistungs-Servoanwendungen mit häufigen Überlastbedingungen sowie für Anwendungen im Dauerbetrieb, bei denen eine maximale Lebensdauer erforderlich ist.

Die hochpräzisen 2-Pol bürstenlosen DC-Servomotoren von FAULHABER sind dreiphasige eisenlose Motoren mit breitem Drehzahl- und Drehmomentbereich. Sie sind ideal für Anwendungen mittlerer und hoher Drehzahl, die eine gleichmäßige Drehzahlregelung, einen hohen Wirkungsgrad und eine lange Lebensdauer erfordern.

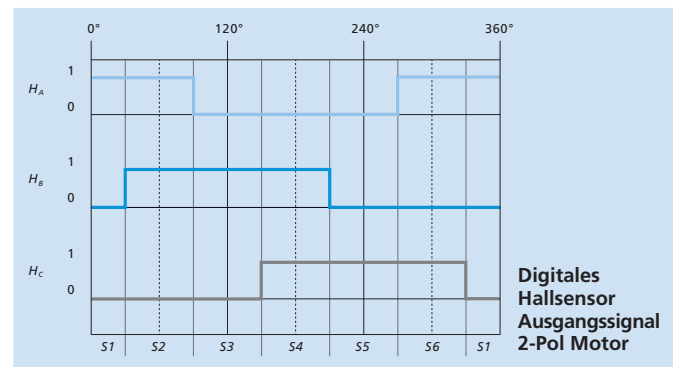
Für hochdynamische Servoanwendungen, die sehr hohes Drehmoment in höchst kompakten Abmessungen fordern, sind die 4-poligen DC-Servomotoren der FAULHABER BX4 Serie ideal. Ihr robustes Design mit nur wenigen Bauteilen ohne verklebte Komponenten bedeutet, dass sie äußerst langlebig und gut für raue Umgebungsbedingungen geeignet sind, wie beispielsweise extreme Temperaturen und hohe Schwing- und Schocklasten.

Bürstenlose DC-Flachmotoren von FAULHABER sind dreiphasige eisenlose Motoren mit axialem Flussspalt und rotierendem Eisenrückschluss. Sie haben einen viel höheren Wirkungsgrad als andere flache bürstenlose Motoren und ihr rotierender Eisenrückschluss verleiht ihnen ein hohes Rotorträgheitsmoment, das ideal für Anwendungen ist, in denen eine niedrige Drehmomentwelligkeit und eine hochpräzise kontinuierliche Drehzahlregelung erforderlich sind.

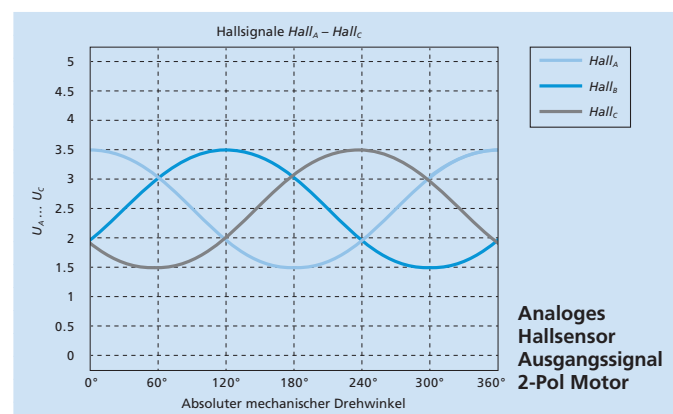
FAULHABER bietet auch eine Palette zweipoliger bürstenloser Motoren mit einem zylindrischen rotierenden Eisenrückschluss an, die auch als eisenlose Außenläufermotoren bezeichnet werden. Der FAULHABER Motor hebt sich dabei durch das eisenlose Design hervor, das das Rastmoment eliminiert. Das hohe Trägheitsmoment des Rotors macht diese Motoren ideal für Dauerbetriebsanwendungen, die hochpräzise Drehzahlregelung erfordern. Diese Motoren haben auch eine integrierte Drehzahlregelung, die für verschiedene Drehzahlprofile konfiguriert werden kann.

#### Sensoren:

FAULHABER 2-Pol oder 4-Pol DC-Servomotoren und bürstenlose DC-Flachmotoren sind standardmäßig mit 3 digitalen Hallensoren mit einer Phasenverschiebung von 120° ausgestattet.



Optional sind die meisten FAULHABER bürstenlosen DC-Servomotoren mit analogen (linearen) Hallensoren erhältlich.



Diese Sensoren können in vielen Anwendungen die Notwendigkeit eines hochauflösenden Encoders ersetzen und die grundlegenden Kommutierungssignale für die bürstenlosen DC-Servomotoren in Kombination mit FAULHABER Motion Controllern bereitstellen.

**Magnete:**

Die bürstenlosen DC-Servomotoren sind mit einer Reihe unterschiedlicher Magnettypen verfügbar, um der jeweiligen Leistung des gegebenen Motortyps oder den Anwendungsbedingungen gerecht zu werden. Zu diesen Materialien zählen hochleistungsfähige Seltene-Erden-Magnettypen, wie z. B. SmCo und NdFeB.

**Lebensdauer:**

Da die Motorkommutierung nicht mechanisch, sondern elektronisch durchgeführt wird, hängt die Lebensdauer eines bürstenlosen DC-Servomotors von FAULHABER hauptsächlich von der Lebensdauer der Motorlager ab. FAULHABER verwendet hochpräzise vorgespannte Kugellager in jedem seiner bürstenlosen DC-Servomotoren von 6 mm Durchmesser aufwärts. Die Faktoren, die die Lebensdauer der Motorlager beeinflussen, sind die statischen und dynamischen axialen und radialen Lagerbelastungen, die thermischen Umgebungsbedingungen, die Drehzahl, Schwing- und Schockbelastungen sowie die Präzision, mit der die Welle an die gegebene Anwendung gekoppelt ist. Wenn bürstenlose DC-Servomotoren gemäß Datenblatt betrieben werden, übertrifft ihre Lebensdauer die von mechanisch kommutierten (bürstenbehafteten) DC-Motoren um ein Vielfaches.

**Modifikationen:**

FAULHABER ist auf die Anpassung seiner Standardprodukte für kundenspezifische Anwendungen spezialisiert. Folgende Standardoptionen sind für FAULHABER bürstenlose DC-Servomotoren verfügbar:

- Zusätzliche Spannungstypen
- Anschlussleitungen (PTFE und PVC) und Stecker
- Konfigurierbare Wellenlängen und zweites Wellenende
- Modifizierte Wellengeometrie und Ritzelkonfigurationen, wie z. B. Flächen, Zahnräder, Scheiben und Exzenter
- Erweiterter Temperaturbereich
- Vakuumtauglichkeit (z. B.  $10^{-5}$  Pa)
- Modifizierungen für Applikationen mit hohen Drehzahlen und/oder hohen Lasten
- Modifizierung für hohe Schwing- und Schockbelastungen
- Autoklavierbarkeit
- Modifizierung für Motoren mit erhöhten elektrischen oder mechanischen Toleranzanforderungen

**Produktkombinationen:**

FAULHABER bietet für seine bürstenlosen DC-Servomotoren die branchenweit größte Auswahl an maßgeschneiderten Kombinationsmöglichkeiten, unter anderem mit:

- Präzisionsgetriebe (Planetengetriebe, Stirnrad- und spielarme Stirnradgetriebe)
- Hochauflösende Encoder (Inkremental- und Absolutencoder)
- Leistungsfähige Steuerungen (Speed Controller, Motion Controller)
- Integrierte Steuerungen (Speed Controller, Motion Controller)



# Bürstenlose DC-Servomotoren

## Technische Informationen

### Bürstenlose DC-Servomotoren

#### 2-Pol-Technologie

#### Serie 1628 ... B

Werte bei 22°C und Nennspannung	1628 T
1 Nennspannung	$U_N$
2 Anschlusswiderstand, Phase-Phase	$R$
3 Wirkungsgrad, max.	$\eta_{max}$
4 Leerlaufdrehzahl	$n_0$
5 Leerlaufstrom, typ. (bei Wellen $\varnothing 1,5$ mm)	$I_0$
6 Anhaltmoment	
7 Reibungsdrehmoment	

### Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Werte werden bei Nennspannung ohne integrierte Steuerungen und bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

#### Nennspannung $U_N$ [V]

Diese Spannung wird zwischen zwei Wicklungsphasen mittels Blockkommutierung angelegt. Bei dieser Spannung werden die anderen Kennwerte im Datenblatt gemessen bzw. berechnet. Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb der gegebenen Grenzen eine höhere oder niedrigere Spannung am Motor angelegt werden.

#### Anschlusswiderstand, Phase-Phase $R$ [ $\Omega$ ] $\pm 12$ %

Beschreibt den Widerstand zwischen zwei Motorphasen ohne Anschlussleitungen. Dieser Wert ändert sich mit der Wicklungstemperatur (Temperaturkoeffizient:  $\alpha_{22} = 0,004 \text{ K}^{-1}$ ).

#### Wirkungsgrad $\eta_{max}$ [%]

Das maximale Verhältnis zwischen der aufgenommenen elektrischen Leistung und der abgegebenen mechanischen Leistung des Motors.

$$\eta_{max} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_0 \cdot R}{U_N}}\right)^2$$

#### Leerlaufdrehzahl $n_0$ [ $\text{min}^{-1}$ ] $\pm 12$ %

Beschreibt die Motordrehzahl im Leerlauf im eingeschwungenen Zustand bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C. Falls nicht abweichend definiert, gilt für die Leerlaufdrehzahl eine Toleranz von  $\pm 12$  %.

$$n_0 = \frac{U_N - (I_0 \cdot R)}{2\pi \cdot k_M}$$

#### Leerlaufstrom, typ. $I_0$ [A]

Beschreibt die Stromaufnahme des unbelasteten Motors in eingeschwungenem Zustand bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C.

Der Leerlaufstrom ist drehzahl- und temperaturabhängig. Änderungen der Umgebungstemperatur oder der Kühlbedingungen beeinflussen den Wert. Darüber hinaus wird der Leerlaufstrom des Motors durch Änderungen an der Welle, der Lagerung, der Schmierung und des Kommutierungssystems sowie Kombinationen mit anderen Komponenten wie z. B. Getrieben oder Encodern beeinflusst.

#### Anhaltmoment $M_H$ [mNm]

Das vom Motor bei Stillstand (stehender Rotor) und Nennspannung entwickelte Drehmoment. Dieser Wert kann sich durch Magnettyp und -temperatur sowie der Wicklungstemperatur ändern.

$$M_H = k_M \cdot \frac{U_N}{R} - C_0$$

#### Reibungsdrehmoment $C_0$ [mNm]

Das Drehmoment, das durch statische mechanische Reibung der Kugellager und magnetischer Hysterese des Stators verursacht wird.

#### Dynamischer Reibungskoeffizient $C_V$ [mNm/ $\text{min}^{-1}$ ]

Dieser Faktor ergibt sich aus dem Drehmoment aufgrund des Reibungskoeffizienten der Kugellager und aus den Wirbelströmen, die durch die zyklischen Veränderungen im Magnetfeld des Stators verursacht werden. Diese Verluste sind proportional zur Drehzahl des Motors.

#### Drehzahlkonstante $k_n$ [ $\text{min}^{-1}/\text{V}$ ]

Die Drehzahländerung pro an die Motoranschlüsse angelegtem Volt bei konstanter Last.

$$k_n = \frac{n_0}{U_N - I_0 \cdot R} = \frac{1}{k_E}$$

#### Generator-Spannungskonstante $k_E$ [mV/ $\text{min}^{-1}$ ]

Die Konstante, die das Verhältnis zwischen induzierter Spannung und Drehzahl beschreibt.

$$k_E = 2\pi \cdot k_M$$

#### Drehmomentkonstante $k_M$ [mNm/A]

Die Konstante, die das Verhältnis zwischen Motordrehmoment und aufgenommenem Strom beschreibt.

#### Stromkonstante $k_I$ [A/mNm]

Beschreibt das Verhältnis des Stroms in der Motorwicklung und dem an der Abtriebswelle abgegebenen Drehmoment.

$$k_I = \frac{1}{k_M}$$

**Steigung der n-/M-Kennlinie  $\Delta n / \Delta M$  [min<sup>-1</sup>/mNm]**

Das Verhältnis der Drehzahländerung zur Drehmomentänderung. Je kleiner der Wert, desto leistungsfähiger ist der Motor.

$$\frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{R}{k_M^2} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

**Anschlussinduktivität, Phase-Phase  $L$  [μH]**

Die zwischen zwei Phasen bei 1 kHz gemessene Induktivität.

**Mechanische Anlaufzeitkonstante  $\tau_m$  [ms]**

Die Zeit, die der Motor ohne Last benötigt, um vom Stillstand auf 63 % der Enddrehzahl zu kommen.

$$\tau_m = \frac{R \cdot J}{k_M^2}$$

**Rotorträgheitsmoment  $J$  [gcm<sup>2</sup>]**

Das Massenträgheitsmoment des Rotors.

**Winkelbeschleunigung  $\alpha_{max}$  [rad/s<sup>2</sup>]**

Die Beschleunigung aus dem Stillstand ohne Last und bei Nennspannung.

$$\alpha_{max} = \frac{M_H}{J}$$

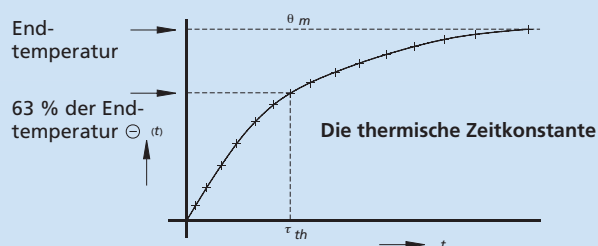
**Wärmewiderstand  $R_{th1}$ ;  $R_{th2}$  [K/W]**

$R_{th1}$  entspricht dem Wärmewiderstand zwischen Wicklung und Gehäuse.

$R_{th2}$  entspricht dem Wärmewiderstand zwischen Gehäuse und Umgebung.  $R_{th2}$  kann reduziert werden, indem ein Wärmeaustausch zwischen Motor und Umgebung ermöglicht wird (z. B. durch den Einsatz eines Kühlkörpers und/oder durch eine Zwangsbelüftung).

**Thermische Zeitkonstante  $\tau_{w1}$ ;  $\tau_{w2}$  [s]**

Beschreibt die Zeit, die die Wicklung ( $\tau_{w1}$ ) und das Gehäuse ( $\tau_{w2}$ ) benötigen, um eine Temperatur von 63 % des endgültigen Wertes im eingeschwungenen Zustand zu erreichen.


**Betriebstemperaturbereich [°C]**

Gibt die minimale und maximale Standard-Betriebstemperatur des Motors sowie die höchstzulässige Temperatur der Standardmotorwicklung an.

**Wellenlagerung**

Die für die bürstenlosen DC-Motoren verwendeten Lager.

**Wellenbelastung, max. zulässig [N]**

Die max. zulässige Wellenbelastung bei angegebenem Wellendurchmesser für die Abtriebswelle. Die Werte für Belastung und Lebensdauer von Motoren mit Kugellagern basieren auf den Herstellerangaben. Dieser Wert gilt nicht für das hintere oder zweite Wellenende.

**Wellenspiel [mm]**

Spiel zwischen Welle und Lagerung einschließlich des zusätzlichen Lagerspiels bei Kugellagern.

**Gehäusematerial**

Das Gehäusematerial und die Oberflächenbehandlung.

**Masse [g]**

Die typische Masse des Standardmotors.

**Drehrichtung**

Die meisten Motoren eignen sich für den Betrieb im (CW) und gegen (CCW) den Uhrzeigersinn; die Drehrichtung ist reversibel. Die Drehrichtung wird durch den externen Servoverstärker vorgegeben.

Bitte beachten Sie, dass die Drehrichtung bei Motoren mit integrierter Elektronik evtl. nicht umkehrbar ist.

**Drehzahl bis  $n_{max}$  [min<sup>-1</sup>]**

Die maximal empfohlene Drehzahl für Dauerbetrieb bei einem definierten Kühlfaktor. Dieser Wert beruht auf dem empfohlenen Betriebsbereich der Standard-Motorlager und der Wicklung. Alle höheren Werte haben negative Auswirkungen auf die maximal erreichbare Lebensdauer des Motors.

**Anzahl der Polpaare**

Gibt die Anzahl der Polpaare des Standardmotors an.

**Hallsensoren**

Beschreibt den Typ der Sensorik zur Motorkommutierung im Standardmotor.

**Magnetmaterial**

Beschreibt den Grundtyp des Magneten, der im Standardmotor verwendet wird.

**Längenmaße ohne mechanische Toleranzangaben:**

Toleranzen nach ISO 2768.

$$\leq 6 \pm 0,1 \text{ mm}$$

$$\leq 30 \pm 0,2 \text{ mm}$$

$$\leq 120 \pm 0,3 \text{ mm}$$

Die Toleranzen nicht spezifizierter Werte erhalten Sie auf Anfrage.

Alle mechanischen Abmessungen der Motorwelle werden mit axialer Wellenbelastung in Richtung Motor gemessen.

# Bürstenlose DC-Servomotoren

## Technische Informationen

### Nennwerte für Dauerbetrieb

Die folgenden Werte werden bei Nennspannung ohne integrierte Steuerungen und bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen.

#### Nenndrehmoment $M_N$ [mNm]

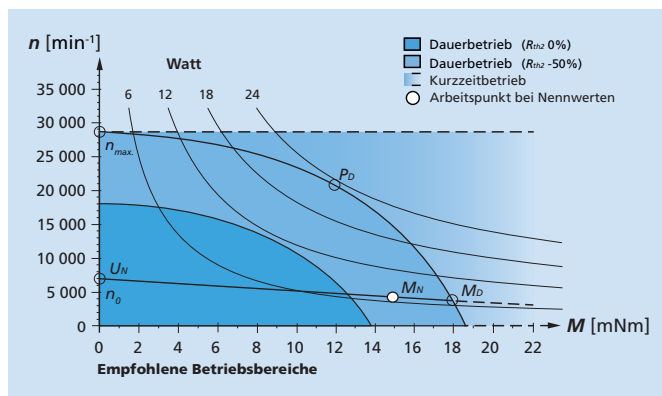
Das maximale Dauerdrehmoment (S1-Betrieb) bei Nennspannung, bei dem im eingeschwungenen Zustand die Temperatur die maximal zulässige Wicklungstemperatur und/oder den Betriebstemperaturbereich des Motors nicht überschreitet. Der Motor ist mit einer Reduzierung des  $R_{th2}$ -Wertes um 25 % angegeben, was in etwa der Kühlung des Motors in einer typischen Montagesituation entspricht. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### Nennstrom (thermische Grenze) $I_N$ [A]

Der typische maximale Dauerstrom in eingeschwungenem Zustand, der aus dem Nenndrehmoment bei Dauerbetrieb resultiert. Dieser Wert enthält eine geringere  $k_M$  (Drehmomentkonstante), da er vom Temperaturkoeffizient der Wicklung abhängt, von Verlusten aus den Effekten des dynamischen Reibungswerts einschließlich Foucault'schen (Wirbelstrom)-Verlusten sowie von den thermischen Eigenschaften des gegebenen Magnetmaterials. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, bei Start-/Stopbetrieb, in der Anlaufphase und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### Nenndrehzahl $n_N$ [min<sup>-1</sup>]

Die typische Nenndrehzahl in eingeschwungenem Zustand, die sich aus dem gegebenen Nenndrehmoment ermittelt. Dieser Wert schließt die Effekte der Motorverluste auf die Steigung der n/M-Kennlinie ein.



Beispiel: Leistungsdiagramm für Nennwerte bei Dauerbetrieb.

### Erläuterungen zum Leistungsdiagramm

Das Leistungsdiagramm zeigt den Bereich der möglichen Arbeitspunkte eines Antriebs bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C und beinhaltet sowohl den Betrieb im thermisch isolierten wie auch im gekühlten Zustand. Dargestellt werden die möglichen Drehzahlbereiche in Abhängigkeit zum Wellendrehmoment.

Der gestrichelt dargestellte Sektor beschreibt mögliche Arbeitspunkte, in denen der Antrieb im intermittierenden Betrieb oder bei erhöhter Kühlung zum Einsatz kommen kann.

#### Dauerdrehmoment $M_D$ [mNm]

Beschreibt das max. empfohlene Dauerdrehmoment im eingeschwungenen Zustand bei Nennspannung und thermischer Reduzierung des  $R_{th2}$  Wertes um 50 %. Die Dauerdrehzahl verhält sich linear zum Dauerdrehmoment. Das Dauerdrehmoment ist unabhängig von der Dauerleistung und kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb, und/oder mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

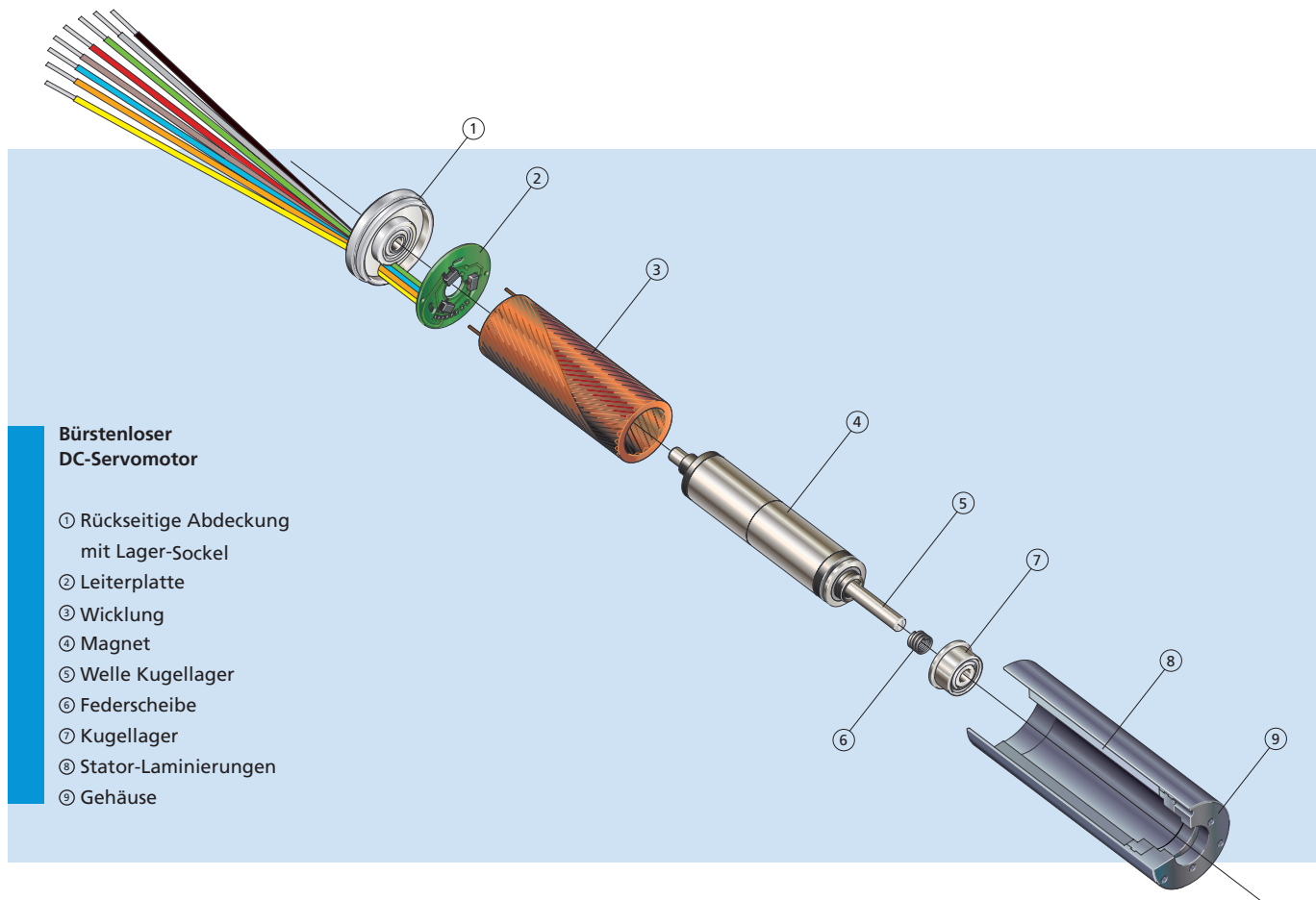
#### Dauerleistung $P_D$ [W]

Beschreibt die max. mögliche Abgabeleistung bei Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei thermischer Reduzierung des  $R_{th2}$  Wertes um 50 %. Der Wert ist nicht vom Dauerdrehmoment abhängig, verhält sich linear zum Kühlfaktor und kann überschritten werden, wenn der Motor periodisch betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung angewendet wird.

#### Nennspannungskennlinie $U_N$ [V]

Die Nennspannungskurve beschreibt die Arbeitspunkte bei  $U_N$  im ungekühlten und gekühlten Zustand. Im eingeschwungenen Zustand entspricht der Startpunkt der Leerlaufdrehzahl  $n_0$  des Antriebs. Betriebspunkte oberhalb dieser Kurve können durch eine Erhöhung, Betriebspunkte unterhalb durch eine Reduzierung der Nennspannung erreicht werden.

## Bürstenlose DC-Servomotoren



### Funktion

Die bürstenlosen DC-Servomotoren von FAULHABER sind konstruiert für extreme Einsatzbedingungen, überall da, wo hohe Zuverlässigkeit, präzise Funktion und lange Lebensdauer gefragt sind. Bemerkenswert sind die ruhigen Laufeigenschaften und der besonders niedrige Geräuschpegel. Der Seltenerdsmagnet des Rotors und die FAULHABER Schrägwicklung verleihen diesen Motoren höchste Leistung und Dynamik, bei kleinem Bauvolumen.

Diese Baureihe ist auch in sterilisierbarer Ausführung erhältlich und eignet sich z. B. ideal für Anwendungen im labor- und medizintechnischen Apparatebau.

### Sterilisierbedingungen

- Temperatur 134 °C ± 2 °C
- Druck 2,1 bar
- Relative Feuchtigkeit 100 %
- Zyklusdauer bis 20 Minuten
- Mindestens 100 Zyklen möglich

### Nutzen und Vorteile

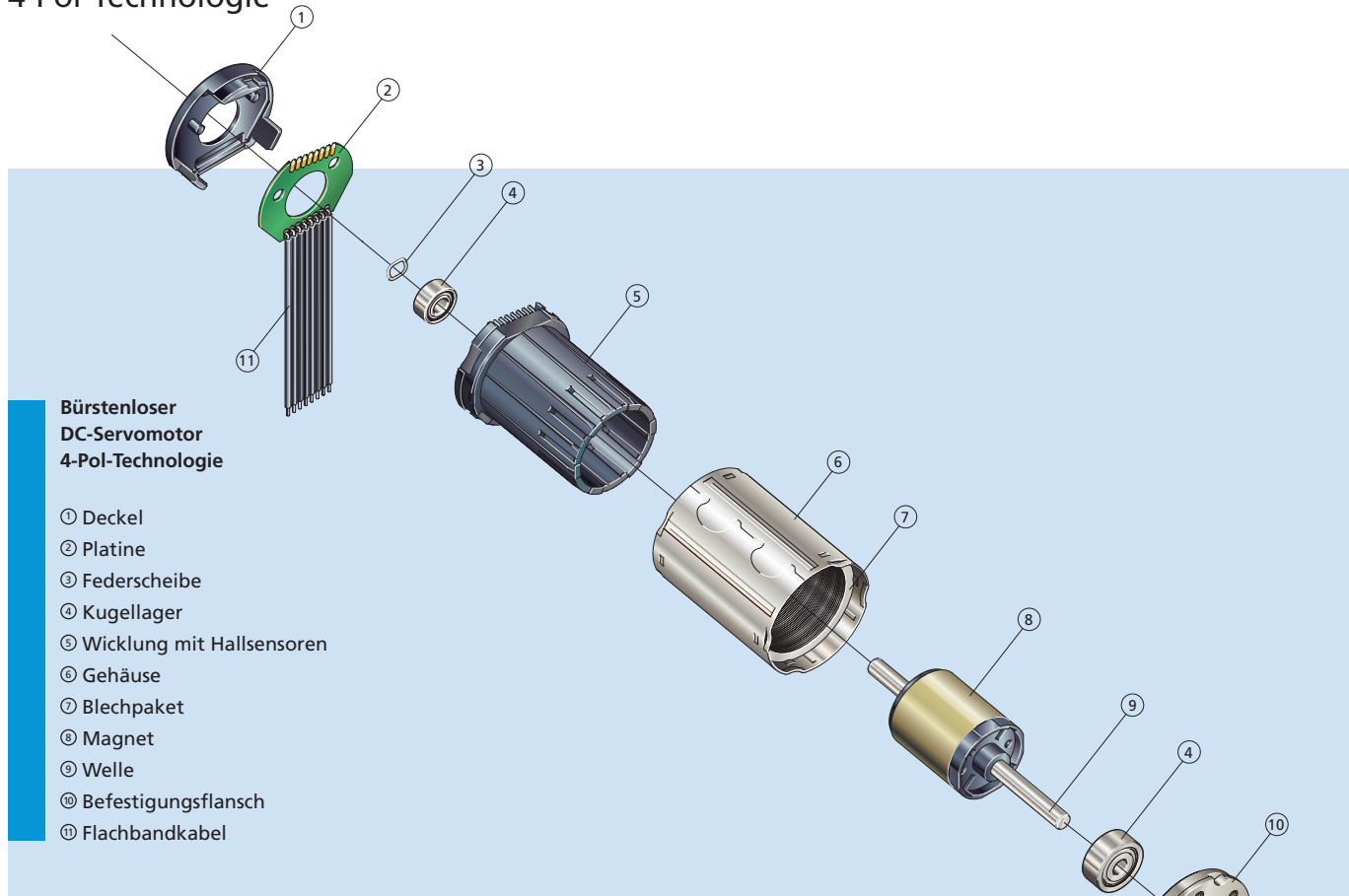
- Eisenlose Wicklungstechnologie, System FAULHABER®
- Hohe Zuverlässigkeit, lange Lebensdauer
- Breiter linearer Drehzahl-/Drehmoment-Bereich
- Keine Funkenbildung
- Kein Rastmoment
- Dynamisch gewuchteter Rotor, ruhiger Lauf
- Einfache Konstruktion
- Standardmäßig mit digitalen, optional mit analogen Hallensensoren

### Produktkennzeichnung



## Bürstenlose DC-Servomotoren

### 4-Pol-Technologie



### Funktion

Die bürstenlosen DC-Servomotoren der Serie BX4 zeichnen sich aus durch ihren innovativen Aufbau, der aus nur wenigen Einzelkomponenten besteht.

Die 4-Pol-Magnettechnologie verleiht den Antrieben trotz kompakter Abmessungen ein hohes Dauerdrehmoment bei ruhigen Laufeigenschaften und besonders niedrigem Geräuschpegel. Der modulare Aufbau ermöglicht den Einsatz unterschiedlicher Rotorkonzepte, über die sich eine optimale Anpassung des Drehmoments bei hohem oder niedrigem Drehzahlniveau erzielen lässt.

Durch die elektronische Kommutierung der Antriebe ist die Lebensdauer im Vergleich zu mechanisch kommutierten Motoren um ein Vielfaches höher. In der Grundversion erfolgt die Kommutierung über eine externe Steuerung. Durch den optionalen Einsatz analoger Hallsensoren können auch ohne zusätzlichen Encoder niedrige Drehzahlen stabil geregelt werden. Das flexible Motorkonzept der BX4-Serie bietet aber auch Versionen mit integriertem Encoder, Speed Controller oder Motion Controller an.

### Nutzen und Vorteile

- Hohes Drehmoment und drehzahlsteif durch 4-Pol-Technologie
- Kompakte und robuste Konstruktion
- Modulares Konzept
- Auch als durchmesserkonforme Version mit integriertem Encoder, Speed Controller oder Motion Controller verfügbar
- Hohe Zuverlässigkeit, lange Lebensdauer
- Keine Funkenbildung
- Kein Rastmoment
- Dynamisch gewuchteter Rotor, ruhiger Lauf

### Produktkennzeichnung



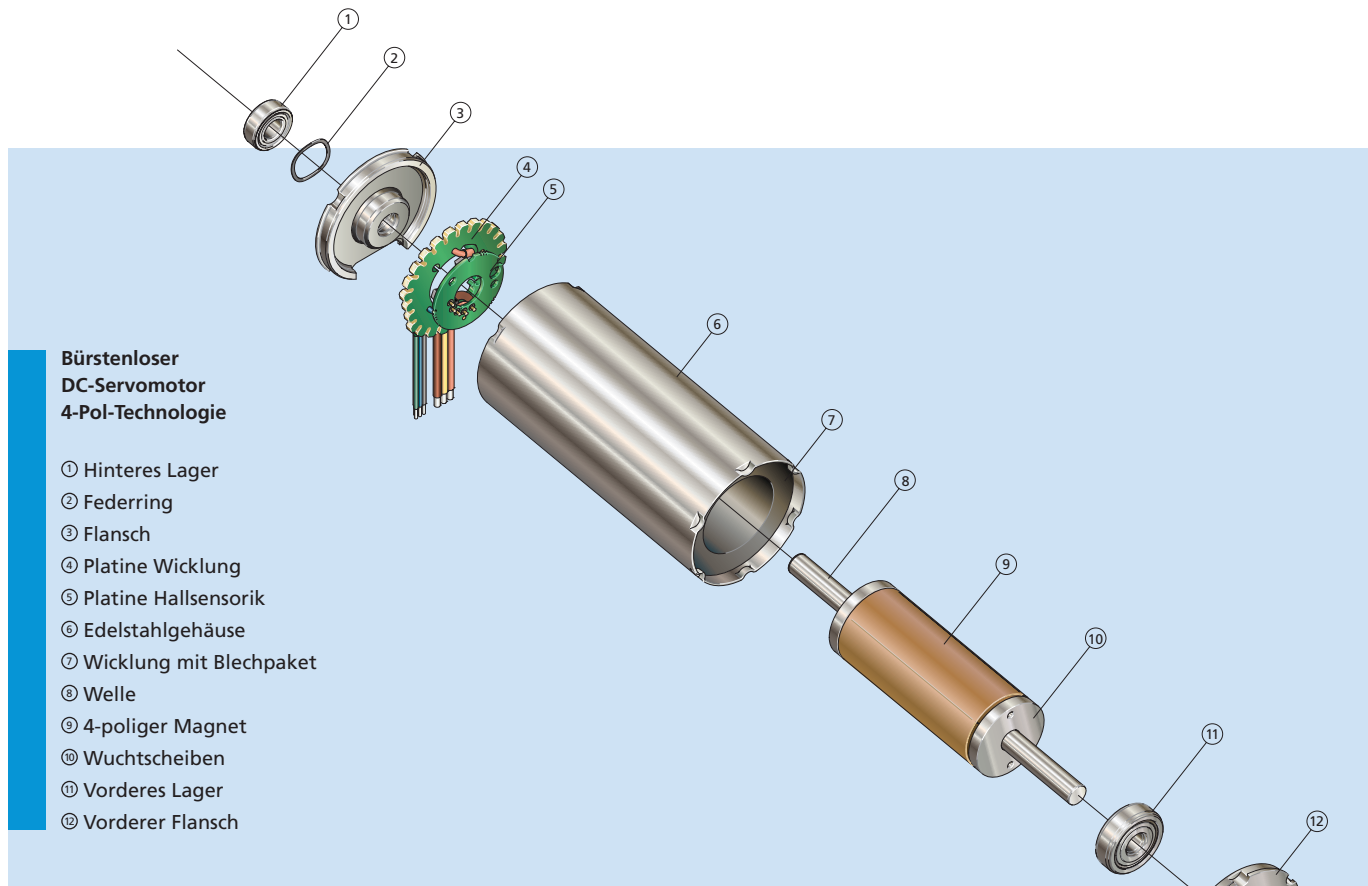
22	Motordurchmesser [mm]
32	Motorlänge [mm]
5	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
BX4	Kommutierungsart (bürstenlos), 4-Pol-Technologie

22 32 5 012 BX4



## Bürstenlose DC-Servomotoren

4-Pol-Technologie, High Power



### Funktion

Der vierpolige bürstenlose DC-Servomotor ist besonders für Anwendungen geeignet, in denen es auf hohe Leistung und dynamischen Start-/Stopp-Betrieb bei möglichst geringstem Gesamtgewicht ankommt.

Die Serie BP4 ist überlastfähig und erreicht eine Betriebslebensdauer, die um ein Vielfaches höher ist als die eines herkömmlichen DC-Kleinstmotors. Auch unter härtesten Umgebungsbedingungen wie niedrigen Temperaturen oder hohen mechanischen Belastungen können die Motoren zuverlässig liefern, was die Anwendung fordert. Dafür sorgen unter anderem ein robustes Edelstahlgehäuse und der Verzicht auf Klebstoffe bei der Montage.

Ein besonderer Mehrwert ist die hohe Flexibilität in der Ausführung. Standardmäßig ist die Serie BP4 mit digitalen Hallsensoren ausgestattet, alternativ analog. Hochauflösende optische und magnetische Encoder lassen sich einfach am hinteren Multifunktionsflansch anbringen. Zur Abrundung des kompletten Antriebssystems steht darüber hinaus eine große Auswahl an Präzisionsgetrieben zur Verfügung.

### Nutzen und Vorteile

- Innovative Wicklungstechnologie
- Maßgebliche Verbesserung der elektrischen und geometrischen Wicklungssymmetrie
- Hoher Wirkungsgrad durch weniger Verluste
- Flexibles Sensorkonzept
- Erweiterter Temperaturbereich
- Hervorragendes Verhältnis von Drehmoment zu Gewicht

### Produktkennzeichnung



32 Motordurchmesser [mm]

74 Motorlänge [mm]

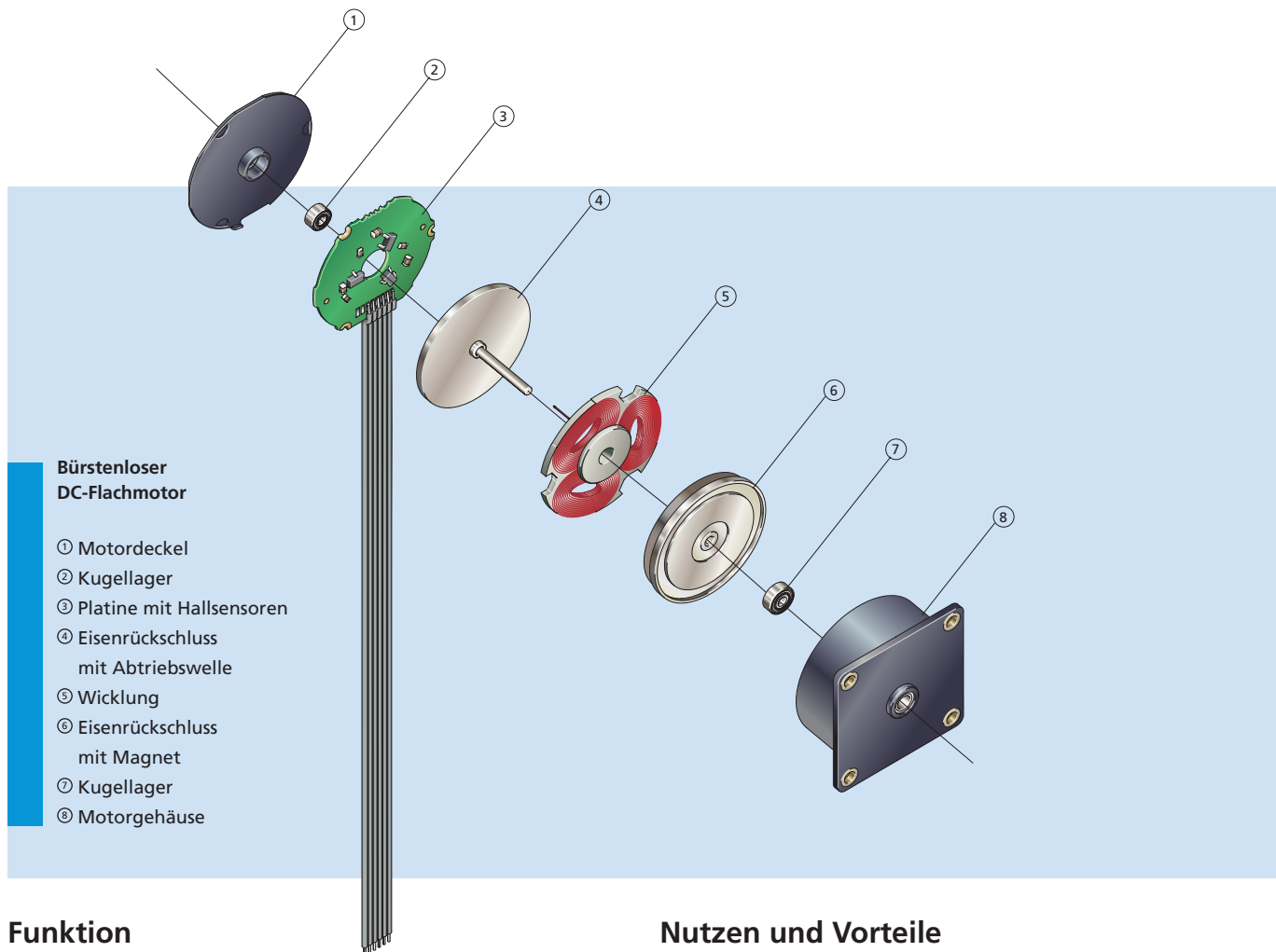
G Abtriebsart

024 Nennspannung [V]

BP4 Kommutierungsart (bürstenlos), 4-Pol-Technologie

3274 G 024 BP4

## Bürstenlose DC-Flachmotoren



### Funktion

Das Herzstück von jedem bürstenlosen DC-Flachmotor ist der eisenlose Stator mit seinen drei flachen Kupferwicklungen. Der Rotor ist aufgebaut mit einem leistungsstarken Seltenerd magneten und zwei rotierenden Scheiben als Eisenrückschluss für eine optimale Ausnutzung des Magnetflusses. Dieser Aufbau eliminiert auch das Rastmoment, wodurch die Regelung der Motordrehzahl erheblich verbessert wird.

Durch die elektronische Kommutierung der Antriebe ist die Lebensdauer im Vergleich zu mechanisch kommutierten Motoren um ein Vielfaches höher.

Das Abtriebsmoment kann durch Ergänzung des Motors mit einem passenden Untersetzungsgetriebe erhöht werden. Der revolutionäre Aufbau ermöglicht eine Vielzahl an Untersetzungsverhältnissen bei gleichbleibend kurzer Baulänge.

### Nutzen und Vorteile

- Rastmomentfrei
- Elektronische Kommutierung mit 3 digitalen Hallsensoren
- Präziser Gleichlauf
- Flach, leicht und äußerst kompakt

### Produktkennzeichnung



26	Motordurchmesser [mm]
10	Motorlänge [mm]
T	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
B	Kommutierungsart (bürstenlos)

26 10 T 012 B

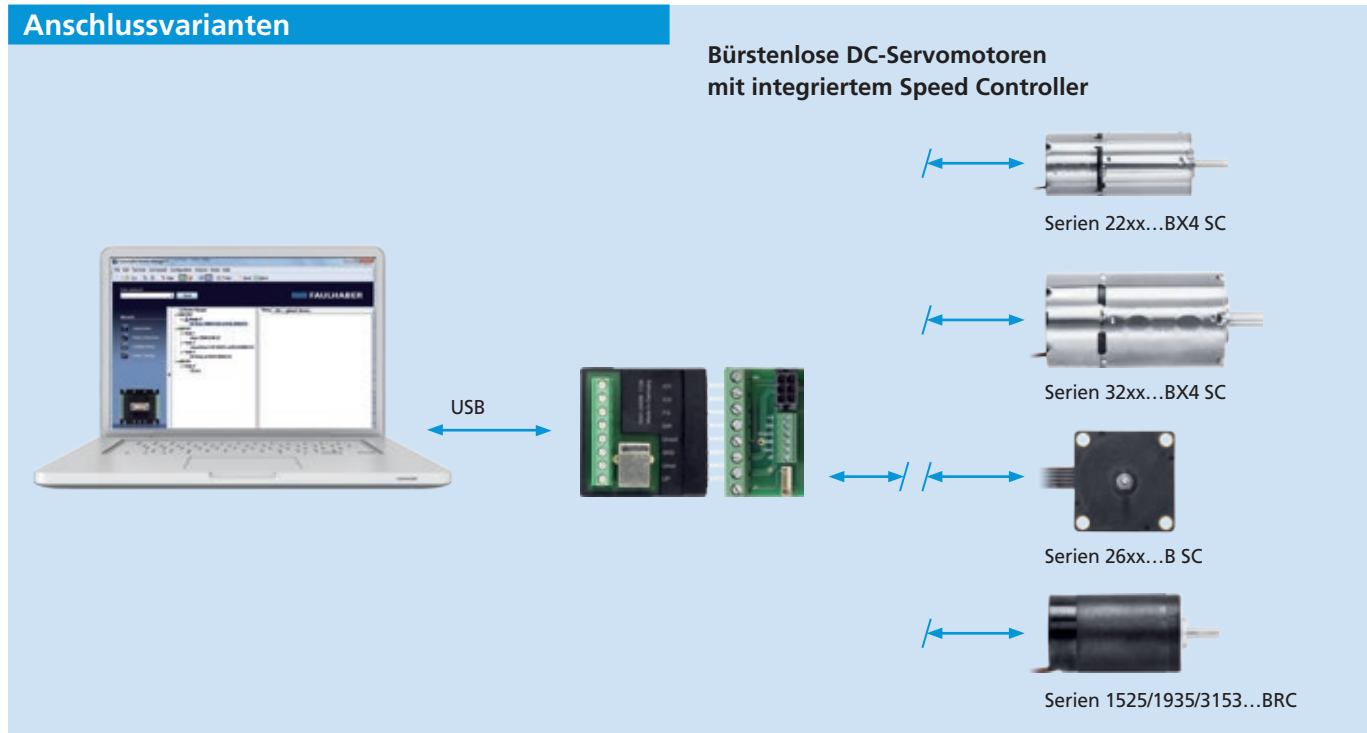
# Motoren mit integrierter Elektronik



## Speed Control Systems

### Technische Informationen

#### Anschlussvarianten



#### Allgemeine Angaben

FAULHABER Speed Control Systems sind hochdynamische Antriebssysteme mit geregelter Geschwindigkeit. Die Antriebselektronik ist bereits integriert und auf den jeweiligen Motor abgestimmt.

Die kompakte Integration der Speed Controller sowie die flexiblen Anbindungsmöglichkeiten eröffnen ein breites Einsatzgebiet in Bereichen wie Labortechnik und Gerätebau, Automatisierungstechnik, Handling- und Werkzeugmaschinen oder Pumpen.

Die Integration der Ansteuerelektronik in bauraumoptimierte Anbausysteme verringert den Platzbedarf und vereinfacht die Installation und Inbetriebnahme.

Die integrierte Elektronik ermöglicht die Drehzahlregelung mittels PI-Regler mit externer Sollwertvorgabe. Die Drehrichtung kann über einen separaten Schalteingang umgeschaltet, das Drehzahlsignal über den Frequenzgang ausgelesen werden.

Die Motoren sind optional als Spannungssteller oder im Fixdrehzahlmodus betreibbar.

Speed Control Systems können über den FAULHABER Motion Manager an die Anwendung angepasst werden. Einstellbar sind die Art und Skalierung der Sollwertvorgabe, die Betriebsart und die Reglerparameter. Zur Konfiguration wird der USB Programmieradapter für Speed Controller und eine Kontaktierhilfe zum Anschluss der Flachbandleitungen verwendet.

#### Schnittstellen – Diskrete I/O

- Analoger Eingang als Sollwerteingang zur Vorgabe der Drehzahl über PWM oder analogen Spannungswert
- Digitaler Eingang als Schalteingang zur Festlegung der Drehrichtung des Motors
- Digitaler Ausgang, wahlweise programmierbar als Frequenz- oder Fehlerausgang

#### Hinweis

Gerätehandbücher zur Installation und Inbetriebnahme sowie die Software „FAULHABER Motion Manager“ sind auf Anfrage oder im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich.

## Bürstenlose DC-Servomotoren mit integriertem Speed Controller 4-Pol-Technologie

### 3242 ... BX4 SC

Werte bei 22°C und Nennspannung	3242 G
Versorgungsspannung Elektronik	$U_p$
Versorgungsspannung Motor	$U_{mot}$
Nennspannung Motor	$U_N$
Leerlaufdrehzahl (bei $U_N$ )	$n_0$
Spitzendrehmoment (S2 Betrieb für max. 3s/2s)	$M_{max}$
Drehmomentkonstante	
PWM-Schaltfrequenz	

## Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Datenblattwerte der Speed Control Systems werden bei Nennspannung und einer Umgebungstemperatur von 22°C gemessen bzw. berechnet.

### Versorgungsspannung Elektronik $U_p$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für die Steuerelektronik.

### Versorgungsspannung Motor $U_{mot}$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für den im Gesamtsystem integrierten Basismotor.

### Nennspannung Motor $U_N$ [V]

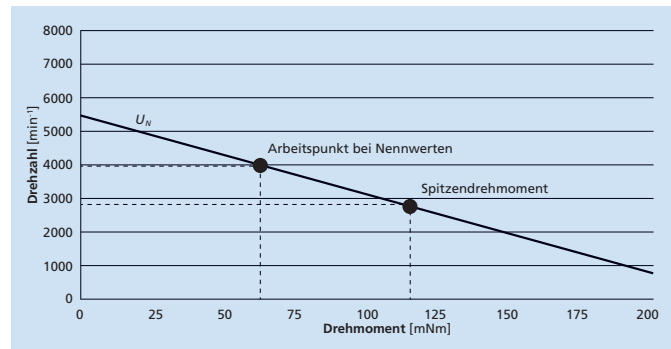
Die zwischen zwei Wicklungsphasen angelegte Spannung. Bei dieser Spannung werden die Kennwerte im Datenblatt gemessen bzw. berechnet. Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb des zulässigen Bereichs der Versorgungsspannung eine höhere oder niedrigere Spannung angelegt werden.

### Leerlaufdrehzahl $n_0$ [ $\text{min}^{-1}$ ]

Beschreibt die Motordrehzahl im Leerlauf und eingeschwungenem Zustand bei Nennspannung.

### Spitzendrehmoment $M_{max}$ [mNm]

Gibt das Drehmoment an, das der Antrieb bei S2-Betrieb (Kaltstart ohne zusätzliche Kühlung) bei Nennspannung und -bedingungen unter konstanter Last für die im Datenblatt angegebene Zeit erreichen kann ohne das thermische Limit zu überschreiten. Falls nicht abweichend definiert gilt für den Wert des Spitzendrehmomentes eine Verdoppelung des Dauerdrehmomentes.



Beispiel: 3242...BX4 SC

### Drehmomentkonstante $k_m$ [mNm/A]

Konstante, die das Verhältnis zwischen Motordrehmoment und aufgenommenem Strom beschreibt.

### Anlaufmoment [ $M_A$ ]

Lastmoment, bei dem der Motor bei Raumtemperatur und Nennspannung anläuft. Dieser Wert kann sich durch Magnettyp und -temperatur sowie der Wicklungstemperatur ändern.

### PWM-Schaltfrequenz $f_{PWM}$ [kHz]

Die Pulsweitenmodulation beschreibt den Wechsel der elektrischen Spannung zwischen zwei Werten. Die in den SCS integrierten Motoren weisen eine niedrige elektrische Zeitkonstante auf. Um die PWM bedingten Verluste niedrig zu halten, ist eine hohe Schaltfrequenz notwendig.

### Wirkungsgrad Elektronik $\eta$ [%]

Verhältnis zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung der Steuerelektronik.

### Stromaufnahme der Elektronik $I_{el}$ [A]

Beschreibt die durch die integrierte Elektronik zusätzliche Stromaufnahme des Gesamtsystems.

### Drehzahlbereich [ $\text{min}^{-1}$ ]

Beschreibt die maximale Leerlaufdrehzahl für Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei erhöhter Nennspannung. Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb der gegebenen Systemgrenzen eine höhere oder niedrigere Spannung angelegt werden.

Montage des Systems an einem Kunststoffflansch gemäß Montageart IM B 5.

### Wellenlagerung

Die für die bürstenlosen DC-Motoren verwendeten Lager.



## Speed Control Systems

### Technische Informationen

#### Wellenbelastung, max. zulässig [N]

Die max. zulässige Wellenbelastung bei angegebenem Wellendurchmesser für die Abtriebswelle. Die Werte für Belastung und Lebensdauer von Motoren mit Kugellagern basieren auf den Herstellerangaben. Dieser Wert gilt nicht für ein eventuell verfügbares hinteres oder zweites Wellenende.

#### Wellenspiel [mm]

Spiel zwischen Welle und Lagerung einschließlich des zusätzlichen Lagerspiels bei Kugellagern.

#### Betriebstemperaturbereich [°C]

Gibt die minimale und maximale Betriebstemperatur des Gesamtsystems unter Nennbedingungen wieder.

#### Gehäusematerial

Gehäusematerialien und ggf. die Oberflächenbehandlung.

#### Masse [g]

Die typische Masse des Standardsystems, kann durch unterschiedliche Bestückungsvarianten abweichen.

#### Längenmaße ohne mechanische Toleranzangaben:

Toleranzen nach ISO 2768:

≤ 6 = ± 0,1 mm

≤ 30 = ± 0,2 mm

≤ 120 = ± 0,3 mm

Die Toleranzen nicht spezifizierter Werte erhalten Sie auf Anfrage.

Alle mechanischen Abmessungen der Motorwelle werden mit axialer Wellenbelastung in Richtung Motor gemessen.

### Nennwerte für Dauerbetrieb

Die folgenden Werte werden bei Nennspannung, einer Umgebungstemperatur von 22 °C und in Montageart IM B 5 gemessen.

Montageart IM B 5 definiert die Anflanschung des Antriebs ohne Montagefüße, mit zwei Lagerschilden, freiem vorderen Wellenende und Montageflansch nahe am Lager.

#### Nenndrehmoment $M_N$ [mNm]

Das maximale Dauerdrehmoment (S1-Betrieb) bei Nennspannung, bei dem im eingeschwungenen Zustand die Temperatur die maximal zulässige Wicklungstemperatur und/oder den Betriebstemperaturbereich des Motors nicht überschreitet. Der Motor ist dabei an einem Metallflansch befestigt, was in etwa der Kühlung des Motors in einer typischen Anbausituation entspricht. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

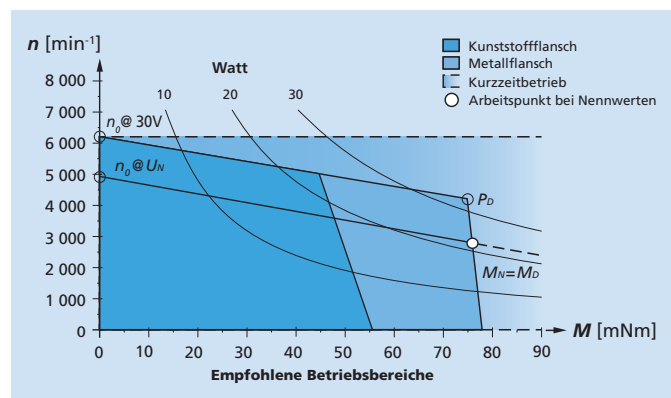
#### Nennstrom $I_N$ [A]

Der typische maximale Dauerstrom in eingeschwungenem Zustand, der aus dem Nenndrehmoment bei Dauerbetrieb resultiert. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Antrieb intermittierend betrieben wird, bei Start-/Stopbetrieb, in der Anlaufphase und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### Nenndrehzahl $n_N$ [min<sup>-1</sup>]

Die typische Nenndrehzahl in eingeschwungenem Zustand, die sich aus dem gegebenen Nenndrehmoment ermittelt.

Dieser Wert schließt die Effekte der Motorverluste auf die Steigung der n/M-Kennlinie ein.



Beispiel: Leistungsdiagramm für Nennwerte bei Dauerbetrieb.

### Erläuterungen zum Leistungsdiagramm

Das Leistungsdiagramm zeigt die möglichen Betriebspunkte der Servoantriebe.

Arbeitspunkte im dunkelblauen Bereich werden bei einer reinen Flanschmontage (IM B5) an einem Kunststoffflansch (ca. 100mm x 100mm x 10mm) und 22°C Umgebungstemperatur dauerhaft erreicht.

Arbeitspunkte im hellblauen Bereich bis zu  $P_D$  werden bei einer reinen Flanschmontage (IM B5) an einem Alufansch (ca. 100mm x 100mm x 10mm) und 22°C Umgebungstemperatur dauerhaft erreicht.

Die maximal erreichbare Geschwindigkeit hängt von der Motorversorgungsspannung ab. Bei Nennspannung werden maximal die Arbeitspunkte auf der Nennspannungslinie durch den Leerlaufpunkt und den Nennpunkt erreicht.

Drehzahlen oberhalb der Nennspannungslinie werden mit einer angehobenen Versorgungsspannung erreicht.

Die Maximalspannung für die Elektronik oder Motorversorgung darf dabei nie überschritten werden.

Dargestellt werden die möglichen Drehzahlbereiche in Abhängigkeit zum Wellendrehmoment.

Der gestrichelt dargestellte Sektor beschreibt mögliche Arbeitspunkte, in denen der Antrieb im intermittierenden Betrieb oder bei erhöhter Kühlung zum Einsatz kommen kann.

#### **Dauerdrehmoment $M_D$ [mNm]**

Beschreibt das max. empfohlene Dauerdrehmoment im eingeschwungenen Zustand bei Nennspannung und Montage an einem Aluflansch. Bei Speed Control Systemen entspricht das Dauerdrehmoment gleichzeitig auch dem Nennmoment.

Die Drehzahl verhält sich dabei linear zum Dauerdrehmoment. Das Dauerdrehmoment ist unabhängig von der Dauerleistung und kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb, und/oder mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

#### **Dauerleistung $P_D$ [W]**

Beschreibt die max. mögliche Abgabeleistung bei Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei Montage am Aluflansch. Der Wert ist nicht vom Dauerdrehmoment abhängig, verhält sich linear zum Kühlfaktor und kann überschritten werden, wenn der Motor periodisch betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung angewendet wird.

#### **Nennspannungskennlinie $U_N$ [V]**

Die Nennspannungskurve beschreibt die möglichen Dauerarbeitspunkte bei  $U_N$ . Im eingeschwungenen Zustand entspricht der Startpunkt der Leerlaufdrehzahl  $n_0$  des Antriebs. Betriebspunkte oberhalb dieser Kurve können durch eine Erhöhung, Betriebspunkte unterhalb durch eine Reduzierung der Nennspannung erreicht werden.

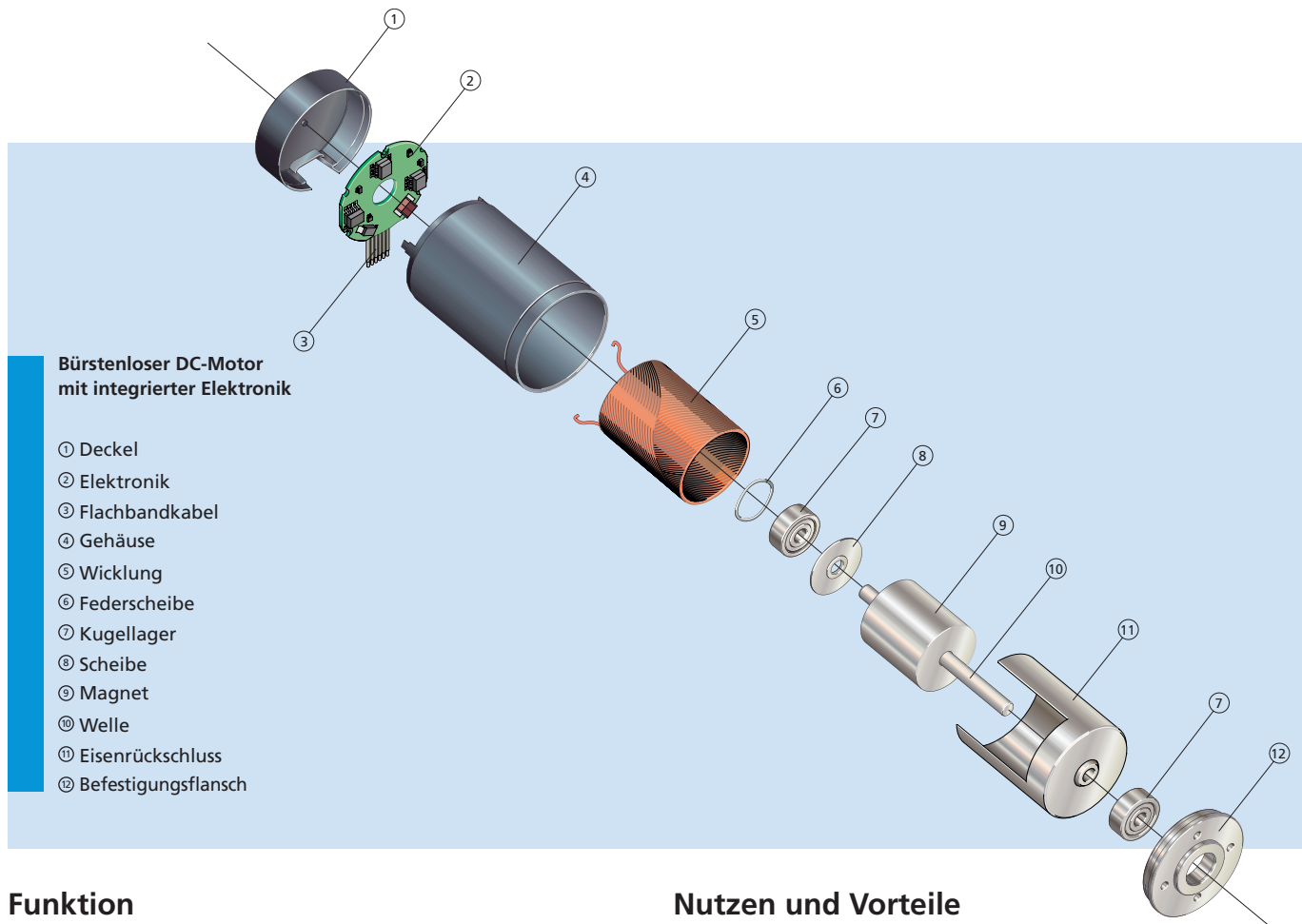
### **Hinweis**



Einfache Inbetriebnahme mit dem neuen Motion Manager 6.

Je nach Kühlfaktor, Arbeitspunkt und Umgebungstemperatur kann eine Anpassung der Strombegrenzungsparameter mittels der Bediensoftware erforderlich sein. Details siehe Gerätehandbuch.

## Bürstenlose DC-Motoren mit integrierter Elektronik, Serie BRC



### Funktion

Diese bürstenlosen DC-Motoren mit integrierter Elektronik verbinden die Vorteile der eisenlosen Wicklungstechnik mit denen der elektronischen Kommutierung.

Die Motoren sind auf der selbsttragenden Wicklungstechnologie, System FAULHABER®, aufgebaut und bestehen im Wesentlichen aus einer dreiphasigen Wicklung und einem zweipoligen Permanentmagneten. Die Regelelektronik ist direkt integriert. Die Erfassung der Rotorlage erfolgt sensorlos über die induzierte Generatorspannung (EMK) der Motoren. Die untere Drehzahlgrenze liegt dadurch bei ca. 1.000 min<sup>-1</sup>.

Durch den mit dem Magneten umlaufenden Eisenrückschluss werden Wirbelstromverluste im Motor vermieden. BRC Antriebe weisen daher einen sehr hohen Wirkungsgrad auf.

### Nutzen und Vorteile

- Große Zuverlässigkeit, lange Lebensdauer
- Breiter linearer Drehzahl-/Drehmoment-Bereich
- Programmierbare Motorcharakteristik
- Keine Funkenbildung
- Kein Rastmoment
- Eisenlose Wicklungstechnologie, System FAULHABER®
- Bürstenlose Kommutierung
- Sensorfreie Positionserfassung
- Integrierte Elektronik
- Dynamisch gewuchteter Rotor, ruhiger Lauf

### Produktkennzeichnung

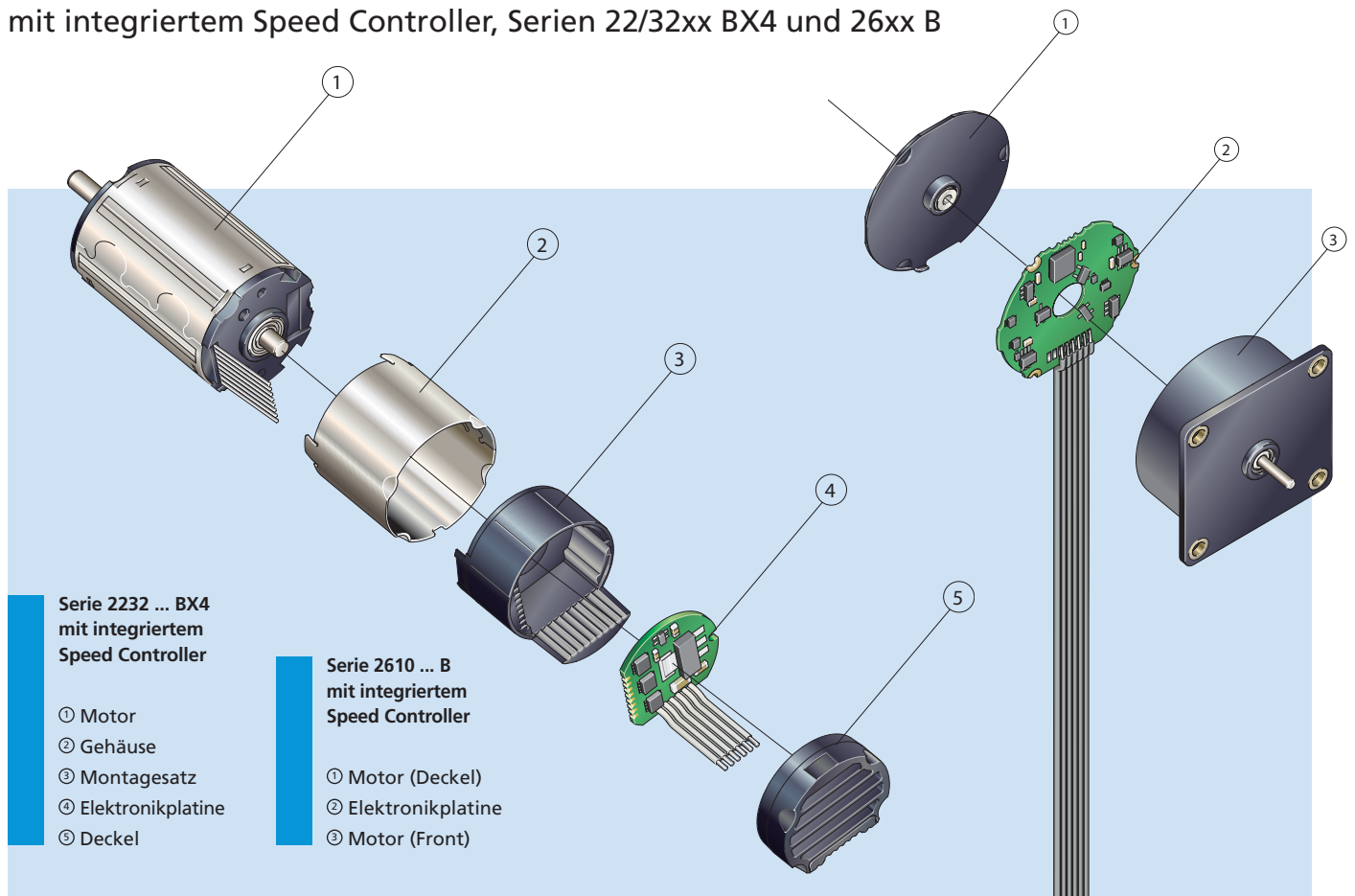


31	Motordurchmesser [mm]
53	Motorlänge [mm]
K	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
BRC	Kommutierungsart (bürstenlos) mit integrierter Elektronik

3153 K 012 BRC

## Bürstenlose DC-Motoren

mit integriertem Speed Controller, Serien 22/32xx BX4 und 26xx B



### Funktion

Die Antriebe mit integriertem Speed Controller verbinden die Vorteile bürstenloser DC-Motoren und der darin enthaltenen elektronischen Ansteuerung.

Speed Control Systems sind für den jeweiligen Motor werksseitig vorkonfiguriert. Durch die eingebaute Strombegrenzung sind die Antriebe vor thermischer Überlastung geschützt. Reglerparameter und Betriebsart können über den Motion Manager angepasst werden.

Die Erfassung der Rotorlage erfolgt je nach gewünschtem Drehzahlbereich mittels digitaler oder optional verfügbarer analoger Hallsensoren. Bei digitalen Hallsensoren liegt die untere Drehzahlgrenze bei etwa 400 min<sup>-1</sup>, mit analogen Hallsignalen werden Drehzahlen ab etwa 50 min<sup>-1</sup> ermöglicht. In der Standardausführung erfolgt die Spannungsversorgung für Motor und Elektronik über zwei getrennt voneinander geführte Eingänge.

Die SCDC Ausführung der Serie BX4 mit Speed Controller kann in bestimmten Anwendungsfällen einen mechanisch kommutierten DC-Motor ersetzen, die Drehrichtung ergibt sich hier direkt aus der Polarität der angelegten Versorgungsspannung.

### Nutzen und Vorteile

- Integrierter Speed Controller
- Kompakte Bauform
- Robuste Ausführung
- Einfache Handhabung
- Integrierte Strombegrenzung (Motorschutz)
- Reglereinstellung in Verbindung mit Motion Manager über Programmieradapter parametrierbar

### Produktkennzeichnung



32	Motordurchmesser [mm]
68	Motorlänge [mm]
G	Abtriebsart
024	Nennspannung [V]
BX4	Kommutierungsart (bürstenlos), 4-Pol-Technologie
SC	Integrierter Speed Controller

32 68 G 024 BX4 SC

# Motion Control Systems

## Feature-Vergleich

### Allgemeine Angaben

Die bauraumoptimierten FAULHABER Motion Control Systeme stehen in unterschiedlichen Baureihen zur Verfügung. Die verschiedenen Varianten sind für eine Vielzahl an Marktsegmenten geeignet und die flexiblen Anbindungsmöglichkeiten eröffnen ein breites Einsatzgebiet in Bereichen wie Gerätebau, Automatisierungstechnik, Handling- und Werkzeugmaschinen, Robotik oder Sondermaschinenbau. Sie können über den kostenlos zum Download bereitstehenden Motion Manager einfach und schnell in Betrieb genommen werden.

#### Generation V2.5

- Bewährte Technik für BL-Motoren in unterschiedlichen Baugrößen und Leistungsklassen
- Einfachste Konfiguration und Inbetriebnahme
- Vielfältige Konfigurationsmöglichkeiten
- Erfolgreich eingesetzt in Medizin- und Labortechnik, Gerätebau, Automatisierung, Medizintechnik und Luftfahrt

#### Generation V3.0

Eine neue Generation an integrierten Motion Controllern für Applikationen, die über den Feature- und Leistungsumfang der Baureihen V2.5 hinausgehen.

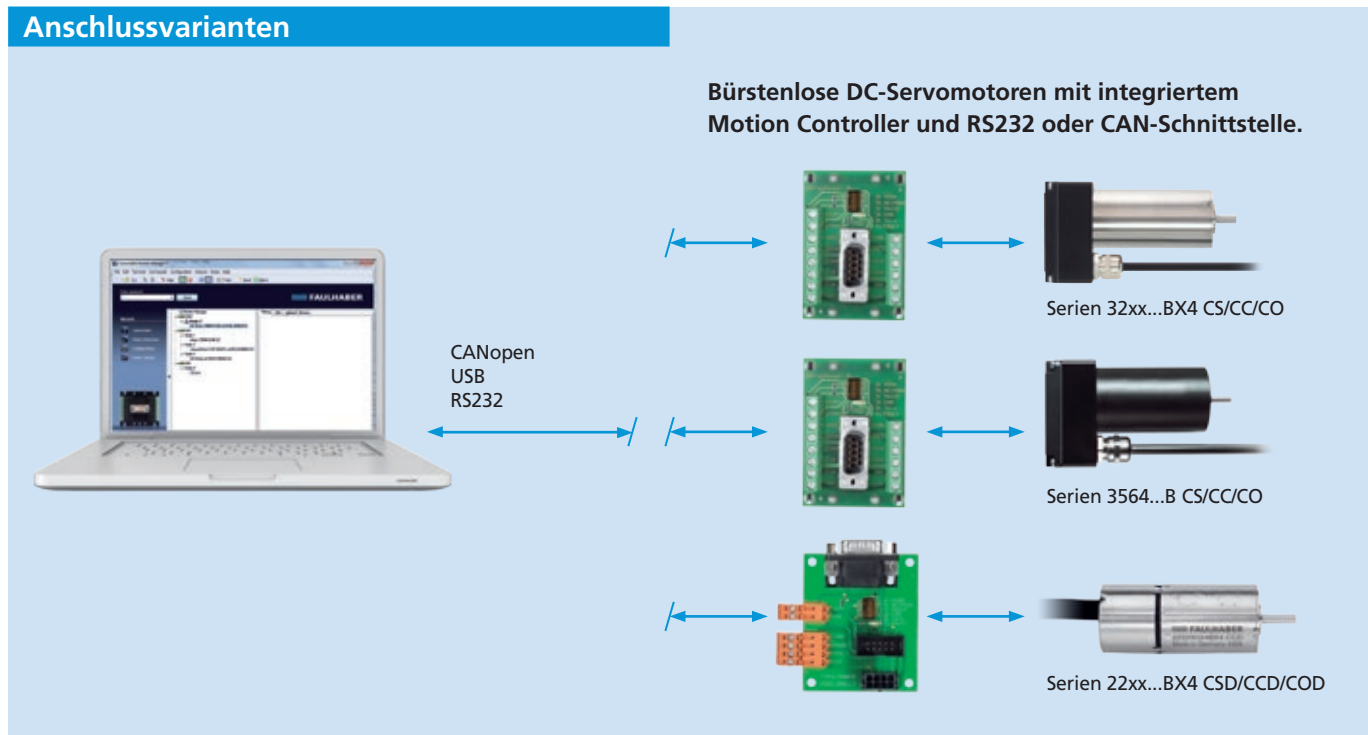
- Mehr Leistung
- Schnellere Regelung
- Neue Betriebsarten
- Flexible Verwendung der I/Os für Soll- und Istwerte
- Zusätzliche I/Os und Schnittstellen
- Ablaufprogramme programmierbar in BASIC für einfache lokale Automatisierung in allen Schnittstellentechnologien
- Erweiterte Diagnosefunktionen
- Einfache Inbetriebnahme über den Motion Manager ab Version 6.0

	Generation V2.5	Generation V3.0
<b>Spannungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Motor: max. 30V</li> <li>■ Elektronik: max. 30V, optional getrennt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Motor: max. 50V</li> <li>■ Elektronik: max. 50V, getrennt als Standard</li> </ul>
<b>PWM Schaltfrequenz</b>	78 kHz	100 kHz
<b>Spitzendrehmoment</b>	bis 190 mNm	bis 320 mNm
<b>Motortypen</b>	22xx BX4 CxD 32xx BX4 Cx 3564 B Cx	32xx BX4 RS / CO / ET 3274 BP4 RS / CO / ET
<b>Ein-/Ausgänge</b>	DigIn: max. 3 DigOut: max. 1 AnIn: 1 (je nach Beschaltung nicht alle I/O's verfügbar)	DigIn: 3 DigOut: 2 AnIn ±10V: 2 (Standard)
<b>Kommunikation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ RS232</li> <li>■ CANopen</li> <li>■ CANopen mit FAULHABER CAN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ RS232</li> <li>■ EtherCAT</li> <li>■ CANopen</li> <li>■ USB</li> </ul>
<b>Regler</b>	Position, Geschwindigkeit, Strombegrenzung	Position, Geschwindigkeit, Strom / Moment
<b>Betriebsarten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abhängig von der Schnittstellenvariante Positions-, Geschwindigkeits- und Stromregelung mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle oder analog (RS und CF)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Profile Position Mode (PP) und Profile Velocity Mode (PV) mit Berücksichtigung von Profilvergaben</li> <li>■ Cyclic Synchronous Position, Geschwindigkeit oder Moment (CSP, CSV bzw. CST)</li> <li>■ Analoge Vorgabe für Position, Geschwindigkeit, Moment oder Spannung (APC, AVC, ATC, Volt)</li> </ul>
<b>Profilbetrieb</b>	Lineare Trapezprofile in allen Betriebsarten	Linear oder Sin <sup>2</sup> Geschwindigkeit im PP und PV Mode
<b>Autonome Abläufe</b>	Verfügbar in den Versionen mit RS232 Schnittstelle.	Bis zu 8 Ablaufprogramme in allen Versionen mit optionalem Kennwortschutz
<b>Schutzklasse</b>	n/a	IP 54 (optional mit Wellendichtung)

# Motion Control Systems

## Technische Informationen

### Anschlussvarianten



### Funktion

FAULHABER Motion Control Systems der Generation V2.5 sind hochdynamische Positioniersysteme. Die Antriebselektronik ist bereits integriert und auf den Motor abgestimmt. Die Funktion der Motion Control Systems ist komplett identisch zu den externen FAULHABER Motion Controllern MCBL 300x der Generation V2.5.

Neben dem Einsatz als Servoantrieb mit geregelter Position kann auch die Geschwindigkeit geregelt werden. Über eine integrierte Stromregelung wird das Drehmoment begrenzt und der Antrieb vor Überlast geschützt.

Motion Control Systems der Generation V2.5 sind mit RS232 oder mit CAN Schnittstelle verfügbar und können dadurch auch in Netzwerke eingebunden werden. Neben dem Betrieb am PC können die Systeme auch an allen üblichen Industriesteuerungen betrieben werden.

Die Integration von Motor und Ansteuerlektonik verringert den Platzbedarf und vereinfacht die Installation und Inbetriebnahme.

### Nutzen und Vorteile

- Kompakte Bauform
- Modularer Aufbau, verfügbar in diversen Leistungsklassen
- Geringer Verdrahtungsaufwand
- Parametrierbar über die Software „FAULHABER Motion Manager“
- Umfangreiches Zubehör
- Adapter zum Anschluss an USB Schnittstellen
- Einfachste Inbetriebnahme

### Produktkennzeichnung



3268	Motorserie
G	Abtriebsart
024	Nennspannung
BX4	Elektronische Kommutierung bürstenlos
CS	Schnittstelle Seriell RS232

3268 G 024 BX4 CS



# Motion Control Systems

## Konfiguration, Vernetzung, Schnittstellen

### Betriebsarten

#### Positionierbetrieb

Der Antrieb fährt die vorgegebene Zielposition an und hält dabei die angegebenen Grenzen für Geschwindigkeit und Position ein. Die Dynamik der Regelung kann an unterschiedlichste Lasten angepasst werden. Endschalter können direkt ausgewertet werden. Die Position kann über End- oder einen Referenzschalter initialisiert werden.

#### Drehzahlregelung

Der Antrieb regelt die vorgegebene Zielgeschwindigkeit über einen PI-Drehzahlregler ohne bleibende Abweichung aus.

#### Stromregelung

Schützt den Antrieb, in dem der Motorstrom auf den eingestellten Spitzenstrom begrenzt wird. Über integrierte thermische Modelle wird der Strom im Bedarfsfall auf den Dauerstrom begrenzt.

#### Bewegungsprofile

Beschleunigungs- und Bremsrampe sowie die Maximalgeschwindigkeit können im Geschwindigkeits- und im Positionierbetrieb vorgegeben werden.

#### Autonomer Betrieb

In der Version RS können frei programmierte Abläufe im Motion Controller gespeichert werden. Der Betrieb ist dann auch ohne RS232 Schnittstelle möglich.

#### Schutzfunktionen

- Schutz gegen ESD
- Überlastschutz für die Elektronik und den Motor
- Selbstschutz vor Übertemperatur
- Überspannungsschutz im Generatorbetrieb

#### Betriebsarten (Version CS und CC)

- Positionsregelung
  - mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle
  - mit analogem Sollwert
  - Gearing Mode
  - Schrittmotorbetrieb
- Geschwindigkeitsregelung
  - mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle
  - mit analogem Sollwert
- Drehmomentenregelung
  - mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle
  - mit analogem Sollwert
- Betrieb als Servoverstärker im Spannungssteller-Modus

#### Betriebsarten (Version CO und CC)

- Profile Position Mode (PP)
- Profile Velocity Mode (PV)
- Homing Mode

### Optionen

Eine getrennte Versorgung von Motor und Ansteuer-elektronik ist optional möglich (wichtig für sicherheitsrelevante Anwendungen). Hierbei entfällt der 3. Eingang. Je nach Antrieb sind zusätzliche Programmieradapter und Anschlusshilfen verfügbar. Auf Anfrage ist eine spezielle Vorkonfiguration der Modi und Parameter möglich.

### Schnittstellen – Diskrete I/O

#### Sollwerteingang

Je nach Betriebsart können Sollwerte über das Kommando Interface, über einen analogen Spannungswert, über ein PWM Signal oder über ein Quadratsignal vorgegeben werden.

#### Fehlerausgang (Open Collector)

Werkseitig als Fehlerausgang konfiguriert. Verwendbar auch als Digitaleingang, freier Schaltausgang, zur Drehzahlkontrolle oder Signalisierung einer erreichten Position.

#### Weiterer Digitaleingang

Zur Auswertung von Referenzschaltern.

### Vernetzung

FAULHABER Motion Control Systems der Generation V2.5 stehen in drei Vernetzungsvarianten zur Verfügung.

#### RS – Systeme mit RS232 Schnittstelle

Ideal für den Gerätebau und für alle Anwendungen, in denen der Controller auch ohne übergeordnete Steuerung eingesetzt werden soll. Die Bedienung erfolgt über einfache Kommandos. Über den Net-Mode können auch mehrere RS Controller an einer RS232 Schnittstelle betrieben werden.

#### CC – CANopen mit FAULHABER CAN

Kombiniert die Kommunikation über das CANopen Protokoll mit den aus der RS Version bekannten Betriebsarten. Die Belegung der PDOs ist fest vorgegeben, die FAULHABER Kommandos werden über eines der PDOs exklusiv versandt.

Ideal für den Einsatz im Gerätebau, wenn mehrere Motion Controller an einem PC betrieben werden.

### CO – CANopen nach CiA 402

Die ideale Variante für den Betrieb eines FAULHABER Motion Controllers an einer SPS – direkt über das CANopen Interface oder über ein Gateway an z. B. Profibus/ProfiNET oder EtherCAT.

## Schnittstellen – Busanbindung

### Version mit RS232

Zur Ankopplung an einen PC mit einer Übertragungsrate von bis zu 115 kbaud. Über die RS232 Schnittstelle können auch mehrere Antriebe vernetzt an einer Steuerung betrieben werden. Auf Seiten des Steuerrechners sind dazu keine besonderen Vorkehrungen nötig. Die Schnittstelle bietet überdies die Möglichkeit, online Betriebsdaten und Werte abzufragen.

Für die Programmierung und Bedienung steht ein umfangreicher ASCII-Befehlssatz zur Verfügung. Dieser kann vom PC mit Hilfe der Software „FAULHABER Motion Manager“ oder über jeden anderen Steuerrechner vorgegeben werden.

Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, komplexe Abläufe aus diesen Befehlen zu erstellen und im Antrieb abzulegen. Einmal als Drehzahl- oder Positionsregler über den Analogeingang, als Schrittmotor oder elektronisches Getriebe programmiert, kann der Antrieb unabhängig von der RS232 Schnittstelle autonom betrieben werden.

### Versionen mit CAN CC oder CO

Für die optimale Integration in unterschiedlichste Anwendungen stehen zwei Controllervarianten mit CANopen Schnittstelle zur Verfügung. CANopen eignet sich dabei ideal für die Vernetzung von Kleinstantrieben, da die Schnittstelle auch in kleine Elektronik integriert werden kann. Über die Baugröße und die effizienten Kommunikationsverfahren stellen sie ein ideales Bindeglied bis in die Industrieautomatisierung dar.

### Version CC: CANopen mit FAULHABER Kanal

Die Version CC unterstützt neben den Standardbetriebsarten nach CiA 402 auch einen speziellen FAULHABER Mode. Über PDO2 steht damit eine Bedienung analog zur RS232 Version zur Verfügung. Darüber werden auch erweiterte Betriebsarten wie der Betrieb mit analoger Sollwertvorgabe oder der Stepper- oder Gearing-Mode unterstützt.

Die CC Version eignet sich insofern besonders für Anwender, die die RS232 Version bereits kennen und die Vorteile von CAN bei der Vernetzung nutzen wollen.

### Version CO: pure CANopen

Die Version CO stellt die Standardbetriebsarten nach CiA 402 zur Verfügung. Alle Parameter sind direkt im Objektver-

zeichnis abgelegt. Die Konfiguration kann daher sowohl über den FAULHABER Motion Manager als auch über Konfigurationstools aus der Automatisierungswelt erfolgen.

Die Version CO eignet sich besonders für Anwender, die schon unterschiedliche CANopen Geräte einsetzen oder die Motion Controller an einer SPS betreiben wollen. Über das dynamische PDO Mapping kann eine sehr effiziente Vernetzung am CAN erreicht werden.

### Vergleich CC / CO

	CC	CO
NMT mit Node Guarding	•	•
Baudrate	Max. 1 Mbit, LSS	Max. 1 Mbit, LSS
EMCY Objekt	•	•
SYNCH Objekt	•	•
Server SDO	1 x	1 x
PDOs	3 x Rx 3 x Tx mit je statischem Mapping	4 x Rx 4 x Tx mit je dynamischem Mapping
PDO ID	fest	einstellbar
Konfiguration	Motion Manager	Motion Manager ab V5
Trace	PDO3 (fest)	Jedes PDO
Standard Betriebsarten - Profile Position Mode - Profile Velocity Mode - Homing	•	•
Erw. Betriebsarten	FAULHABER Kanal	-

Beide Varianten unterstützen das CANopen-Kommunikationsprofil nach CiA 301 V4.02. Die Einstellung von Übertragungsrate und Knoten-Nr. erfolgt über das Netzwerk gemäß des LSS-Protokolls nach CiA 305 V1.11.

Wir empfehlen dazu die Verwendung des FAULHABER Motion Managers in seiner jeweils neuesten Version.

## Hinweis

Gerätehandbücher zur Installation und Inbetriebnahme, Kommunikations- und Funktionshandbücher sowie die Software „FAULHABER Motion Manager“ sind auf Anfrage oder im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich.

# Motion Control Systems

## Technische Informationen

### Allgemeine Angaben

#### Systembeschreibung

Die Antriebssysteme integrieren einen bürstenlosen DC-Servomotor, einen hochauflösenden Istwertgeber und einen Motion Controller in einer kompakten, kompletten Antriebseinheit.

Da die Motorkommutierung nicht mechanisch, sondern elektronisch durchgeführt wird, hängt die Lebensdauer eines Motion Control Systems von FAULHABER hauptsächlich von der Lebensdauer der Motorlager ab.

FAULHABER verwendet hochpräzise vorgespannte Kugellager in jedem seiner Systeme mit integriertem Motion Controller. Die Faktoren, die die Lebensdauer der Motorlager beeinflussen, sind die statischen und dynamischen axialen und radialen Lagerbelastungen, die thermischen Umgebungsbedingungen, die Drehzahl, Schwing- und Schockbelastungen sowie die Präzision, mit der die Welle an die gegebene Anwendung gekoppelt ist.

Für hochdynamische Servoanwendungen, die sehr hohes Drehmoment in höchst kompakten Abmessungen fordern, sind die integrierten 4-poligen DC-Servomotoren der FAULHABER BX4 Serie ideal. Ihr robustes Design mit nur wenigen Bauteilen ohne verklebte Komponenten bedeutet, dass sie äußerst langlebig und gut für raue Umgebungsbedingungen geeignet sind, wie beispielsweise extreme Temperaturen und hohe Schwing- und Schocklasten.

Die FAULHABER Motion Control Systems der Generation V2.5 sind durch ihre robuste Bauweise und ihr kompaktes Design perfekt für den Einsatz im Automatisierungsumfeld geeignet.

### Modifikationen und Zubehör

FAULHABER ist auf die Anpassung seiner Standardprodukte für kundenspezifische Anwendungen spezialisiert. Folgende Standardoptionen und Zubehörteile sind für FAULHABER Motion Control Systems verfügbar:

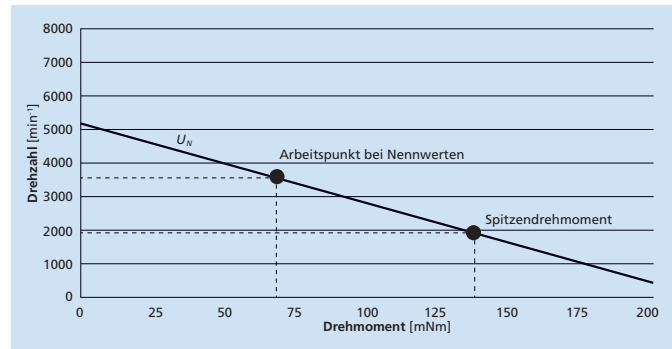
- Konfigurierbare Wellenlängen
- Modifizierte Wellengeometrie und Ritzelkonfigurationen, wie z. B. Flächen, Zahnräder, Scheiben und Exzenter
- Modifizierungen für Applikationen mit höheren Drehzahlen und/oder höheren Lasten
- Kundenspezifische Sonderparametrierung und Firmware
- Getrennte Spannungsversorgung für Motor und Elektronik
- Parametrier- und Anschlussadapter

## Motion Control Systems

V2.5, 4-Quadranten PWM mit RS232  
oder CANopen-Schnittstelle

### 3242 ... BX4 Cx

Werte bei 22°C und Nennspannung **3242 G**  
 Versorgungsspannung Elektronik  $U_B/U_{EL}$   
 Versorgungsspannung Motor  $U_M/U_{EL}$   
 Nennspannung Motor  $U_N$



Beispiel: 3242...BX4 Cx

## Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Datenblattwerte der Motion Control Systems werden bei Nennspannung und einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

MCS der Generation V2.5 verfügen in der Standardausführung über keine getrennten Versorgungseingänge für Motor und Elektronik, können aber optional (über 3. Eingang) damit ausgestattet werden.

### Versorgungsspannung Elektronik $U_B/U_{EL}$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für die integrierte Steuerelektronik.

### Versorgungsspannung Motor -- $U_B$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für den im Gesamtsystem integrierten Basismotor.

### Nennspannung Motor $U_N$ [V]

Die zwischen zwei Wicklungsphasen angelegte Spannung. Bei dieser Spannung werden die Kennwerte im Datenblatt gemessen bzw. berechnet. Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb des zulässigen Bereichs der Versorgungsspannung eine höhere oder niedrigere Spannung angelegt werden.

### Leerlaufdrehzahl $n_0$ [min⁻¹]

Beschreibt die Motordrehzahl im Leerlauf und eingeschwenenem Zustand bei Nennspannung und Sinuskommutierung.

### Spitzendrehmoment $M_{max}$ [mNm]

Gibt das Drehmoment an, das der Antrieb bei S2-Betrieb (Kaltstart ohne zusätzliche Kühlung) bei Nennspannung und -bedingungen unter konstanter Last für die im Datenblatt angegebene Zeit erreichen kann, ohne das thermische Limit zu überschreiten. Falls nicht abweichend definiert, gilt für den Wert des Spitzendrehmomentes eine Verdoppelung des Dauerdrehmomentes.

### Drehmomentkonstante $k_m$ [mNm/A]

Konstante, die das Verhältnis zwischen Motordrehmoment und aufgenommenem Strom beschreibt.

### PWM-Schaltfrequenz $f_{PWM}$ [kHz]

Die Pulsweitenmodulation beschreibt den Wechsel der elektrischen Spannung zwischen zwei Werten. Die in den MCS integrierten Motoren weisen eine niedrige elektrische Zeitkonstante auf. Um die PWM bedingten Verluste niedrig zu halten, ist eine hohe Schaltfrequenz notwendig.

### Wirkungsgrad Elektronik $\eta$ [%]

Verhältnis zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung der Steuerelektronik.

### Stromaufnahme der Elektronik $I_{el}$ [A]

Beschreibt die durch die integrierte Elektronik zusätzliche Stromaufnahme des Gesamtsystems.

### Drehzahlbereich [min⁻¹]

Beschreibt die maximale Leerlaufdrehzahl für Dauerbetrieb im eingeschwenen Zustand bei erhöhter Nennspannung (30 V). Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb der gegebenen Systemgrenzen eine höhere oder niedrigere Spannung angelegt werden.

Montage des Systems an einem Kunststoffflansch gemäß Montageart IM B 5.

### Wellenlagerung

Die für die bürstenlosen DC-Motoren verwendeten Lager.

### Wellenbelastung, max. zulässig [N]

Die max. zulässige Wellenbelastung bei angegebenem Wellendurchmesser für die Abtriebswelle. Die Werte für Belastung und Lebensdauer von Motoren mit Kugellagern basieren auf den Herstellerangaben. Dieser Wert gilt nicht für ein eventuell verfügbares hinteres oder zweites Wellenende.

# Motion Control Systems

## Technische Informationen

### Wellenspiel [mm]

Spiel zwischen Welle und Lagerung einschließlich des zusätzlichen Lagerspiels bei Kugellagern.

### Betriebstemperaturbereich [°C]

Gibt die minimale und maximale Betriebstemperatur des Gesamtsystems unter Nennbedingungen wieder.

### Gehäusematerial

Gehäusematerialien und ggf. die Oberflächenbehandlung.

### Masse [g]

Die typische Masse des Standardsystems kann durch unterschiedliche Bestückungsvarianten innerhalb der einzelnen Schnittstellenvarianten voneinander abweichen.

### Längenmaße ohne mechanische Toleranzangaben:

Toleranzen nach ISO 2768:

≤ 6 = ± 0,1 mm

≤ 30 = ± 0,2 mm

≤ 120 = ± 0,3 mm

Die Toleranzen nicht spezifizierter Werte erhalten Sie auf Anfrage.

Alle mechanischen Abmessungen der Motorwelle werden mit axialer Wellenbelastung in Richtung Motor gemessen.

## Nennwerte für Dauerbetrieb

Die folgenden Werte werden bei Nennspannung, einer Umgebungstemperatur von 22 °C und in Montageart IM B 5 gemessen.

Montageart IM B 5 definiert die Anflanschung des Antriebs ohne Montagefüße mit zwei Lagerschilden, freiem vorderen Wellenende und Montageflansch nahe am Lager.

### Nenndrehmoment $M_N$ [mNm]

Das maximale Dauerdrehmoment (S1-Betrieb) bei Nennspannung, bei dem im eingeschwungenen Zustand die Temperatur die maximal zulässige Wicklungstemperatur und/oder den Betriebstemperaturbereich des Motors nicht überschreitet. Der Motor ist dabei an einem Metallflansch befestigt, was in etwa der Kühlung des Motors in einer typischen Anbausituation entspricht. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

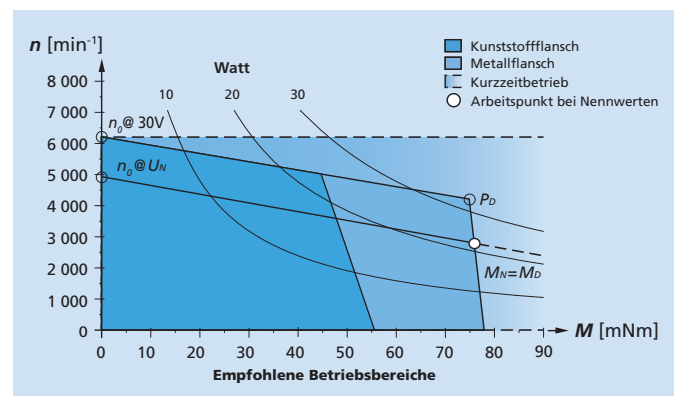
### Nennstrom $I_N$ [A]

Der typische maximale Dauerstrom in eingeschwungenem Zustand, der aus dem Nenndrehmoment bei Dauerbetrieb resultiert. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Antrieb intermittierend betrieben wird, bei Start-/Stopbetrieb, in der Anlaufphase und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

### Nenndrehzahl $n_N$ [min<sup>-1</sup>]

Die typische Nenndrehzahl in eingeschwungenem Zustand, die sich aus dem gegebenen Nenndrehmoment ermittelt.

Dieser Wert schließt die Effekte der Motorverluste auf die Steigung der n/M-Kennlinie ein.



Beispiel: Leistungsdiagramm für Nennwerte bei Dauerbetrieb.

## Erläuterungen zum Leistungsdiagramm

Dargestellt werden die möglichen Drehzahlbereiche in Abhängigkeit zum Wellendrehmoment.

Das Leistungsdiagramm zeigt die möglichen Betriebspunkte der Servoantriebe.

Arbeitspunkte im dunkelblauen Bereich werden bei einer reinen Flanschmontage (IM B5) an einem Kunststoffflansch (ca. 100mm x 100mm x 10mm) und 22°C Umgebungstemperatur dauerhaft erreicht.

Arbeitspunkte im hellblauen Bereich bis zu  $P_D$  werden bei einer reinen Flanschmontage (IM B5) an einem Alufansch (ca. 100mm x 100mm x 10mm) und 22°C Umgebungstemperatur dauerhaft erreicht.

Die maximal erreichbare Geschwindigkeit hängt von der Motorversorgungsspannung ab. Bei Nennspannung werden maximal die Arbeitspunkte auf der Nennspannungslinie durch den Leerlaufpunkt und den Nennpunkt erreicht.

Drehzahlen oberhalb der Nennspannungslinie werden mit einer angehobenen Versorgungsspannung erreicht.

Die Maximalspannung für die Elektronik oder Motorversorgung darf dabei nie überschritten werden.

Der gestrichelt dargestellte Sektor beschreibt mögliche Arbeitspunkte, in denen der Antrieb im intermittierenden Betrieb oder bei erhöhter Kühlung zum Einsatz kommen kann.

### Dauerdrehmoment $M_D$ [mNm]

Beschreibt das max. empfohlene Dauerdrehmoment im eingeschwungenen Zustand bei Nennspannung und Montage an einem Alufansch. Bei Motion Control Systemen entspricht das Dauerdrehmoment gleichzeitig auch dem Nennmoment.

Die Drehzahl verhält sich dabei linear zum Dauerdrehmoment. Das Dauerdrehmoment ist unabhängig von der Dauerleistung und kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb, und/oder mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

### Dauerleistung $P_D$ [W]

Beschreibt die max. mögliche Abgabeleistung bei Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei Montage am Alufansch. Der Wert ist nicht vom Dauerdrehmoment abhängig, verhält sich linear zum Kühlfaktor und kann überschritten werden, wenn der Motor periodisch betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung angewendet wird.

### Nennspannungskennlinie $U_N$ [V]

Die Nennspannungskurve beschreibt die möglichen Dauerarbeitspunkte bei  $U_N$ . Im eingeschwungenen Zustand entspricht der Startpunkt der Leerlaufdrehzahl  $n_0$  des Antriebs. Betriebspunkte oberhalb dieser Kurve können durch eine Erhöhung, Betriebspunkte unterhalb durch eine Reduzierung der Nennspannung erreicht werden.



Einfache Inbetriebnahme mit dem neuen Motion Manager 6.

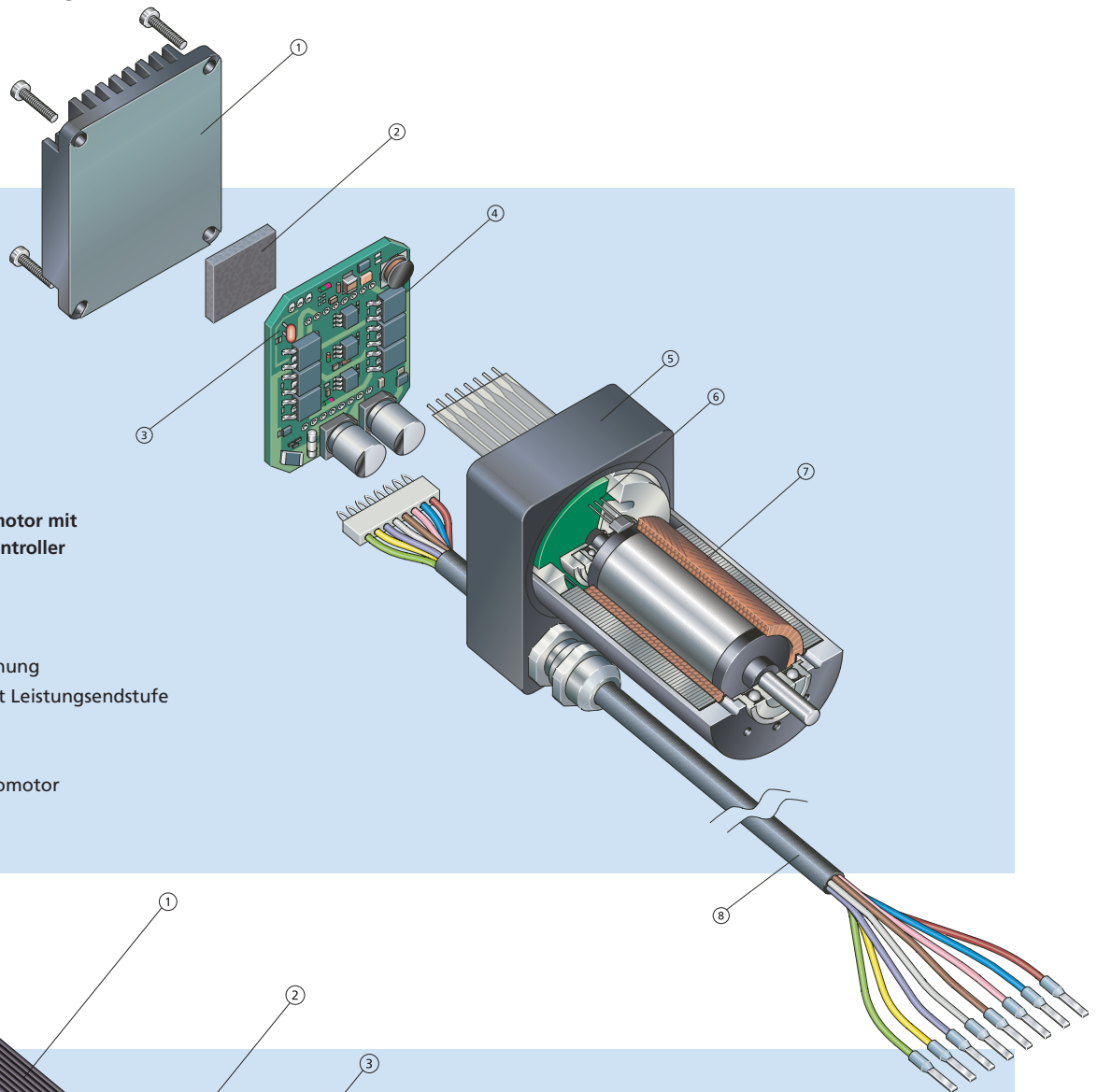
Je nach Kühlfaktor, Arbeitspunkt und Umgebungstemperatur kann eine Anpassung der Strombegrenzungsparameter mittels der Bediensoftware erforderlich sein. Details siehe Gerätehandbuch.



## Motion Control Systems

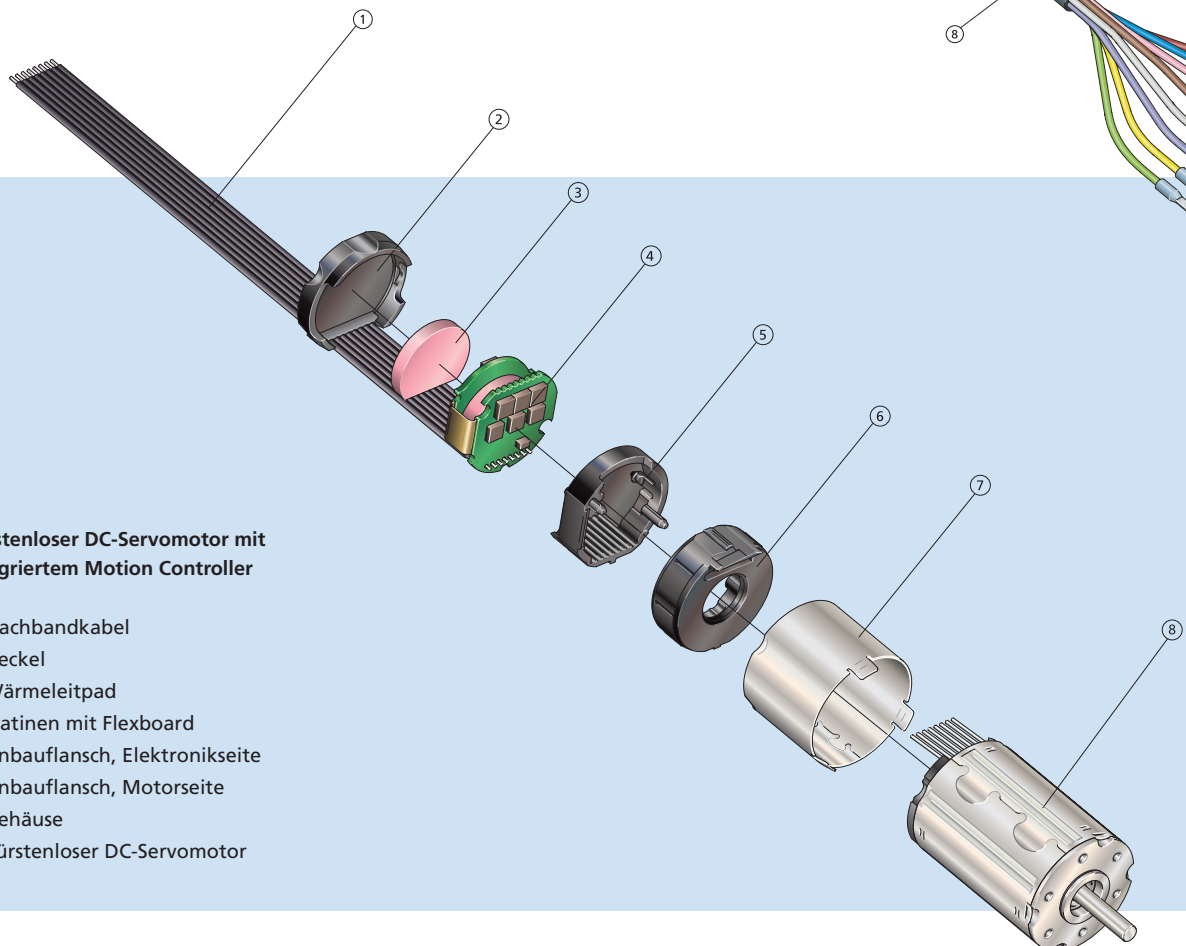
### Bürstenloser DC-Servomotor mit integriertem Motion Controller

- ① Kühlkörper/Deckel
- ② Wärmeleitplatte
- ③ Thermische Überwachung
- ④ Motion Controller mit Leistungsendstufe
- ⑤ Gehäuse
- ⑥ Hallensoren
- ⑦ Bürstenloser DC-Servomotor
- ⑧ Anschlüsse



### Bürstenloser DC-Servomotor mit integriertem Motion Controller

- ① Flachbandkabel (Flat cable)
- ② Deckel (Cover)
- ③ Wärmeleitpad (Heat conduction pad)
- ④ Platinen mit Flexboard (Plates with flexboard)
- ⑤ Anbauflansch, Elektronikseite (Mounting flange, electronics side)
- ⑥ Anbauflansch, Motorseite (Mounting flange, motor side)
- ⑦ Gehäuse (Housing)
- ⑧ Bürstenloser DC-Servomotor (Brushless DC servomotor)



## Motion Control Systems

### Technische Informationen



Als Kommunikationsschnittstellen werden je nach Gerät RS232 oder CANopen und optional EtherCAT unterstützt. Dabei stehen alle Funktionen des Antriebs uneingeschränkt über alle Schnittstellen zur Verfügung.

FAULHABER Motion Control Systems der Generation V3.0 sind in drei Motorvarianten verfügbar und damit perfekt skalierbar:

- MCS 3242 ... BX4
- MCS 3268 ... BX4
- MCS 3274 ... BP4

Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig: Von der Laborautomation über den industriellen Gerätebau, die Automatisierungstechnik und Robotik bis hin zur Luftfahrt.

Der elektrische Anschluss der Systeme erfolgt über M12 Stecker und Verlängerungsleitungen. Das Flanschbild aller Baugrößen ist identisch.

### Funktion

FAULHABER Motion Control Systems der Generation V3.0 sind hoch dynamische Positioniersysteme in 3 Motorausführungen zur Kombination mit darauf abgestimmten Getrieben und Kugelumlaufspindeln aus dem FAULHABER Produktprogramm. Die Motorparameter sind bereits werkseitig vorkonfiguriert. Die Anpassung an die Strecke erfolgt bei der Inbetriebnahme über den FAULHABER Motion Manager ab Version 6.0.

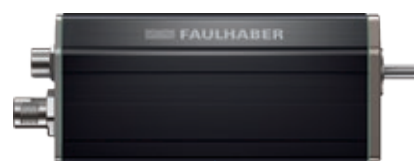
Neben dem Einsatz als Servoantrieb mit geregelter Position können auch die Geschwindigkeit oder der Strom geregelt werden. Die Istwerte für Geschwindigkeit und Position werden über die integrierten Geber ermittelt. End- und Referenzschalter können direkt angeschlossen werden.

Die Sollwerte für die Regelung können über die Kommunikationsschnittstelle, über die analogen bzw. einen PWM-Eingang vorgegeben werden oder aus intern hinterlegten Ablaufprogrammen stammen.

### Nutzen und Vorteile

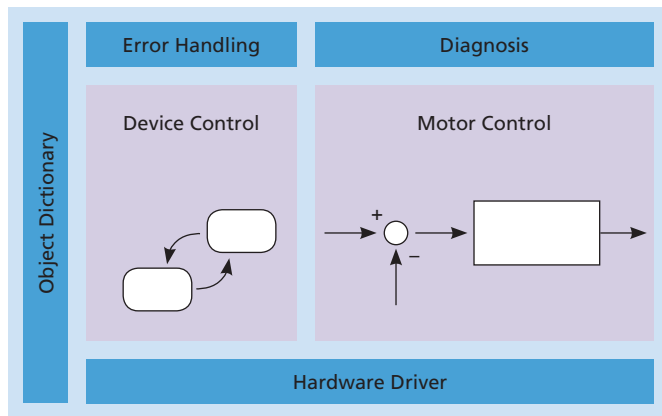
- Perfekt skalierbar durch diverse Baugrößen
- Sehr dynamische Regelung
- Vielfältige Sollwertschnittstellen
- Stand-Alone Betrieb in allen Varianten möglich
- Anschluss über M12 Standardstecker
- Schnelle Rückmeldung durch Zustands-LEDs
- Inbetriebnahme mit dem kostenlosen FAULHABER Motion Manager ab V6.0
- Parametrierung über Programmieradapter

### Produktkennzeichnung



MCS	Motion Control System
3268	Motorserie
G	Abtriebsart
024	Nennspannung Motor
BX4	Elektronische Kommunikation bürstenlos
ET	Schnittstelle EtherCAT

MCS\_3268\_G\_024\_BX4\_ET



## Betriebsarten

### Motorregelung

Über die Reglerkaskade können Strom, Geschwindigkeit und Position des Antriebs geregelt werden. Durch die optionalen Vorsteuerpfade können auch schnellste Bewegungen sicher reproduzierbar geregelt werden. Einstellbare Filter erlauben die Anpassung an unterschiedlichste Geber und Lasten.

### Bewegungsprofile

Beschleunigungs- und Bremsrampe sowie die Maximalgeschwindigkeit können im Geschwindigkeits- und im Positionierbetrieb in den Betriebsarten Profile Position Mode (PP) und Profile Velocity Mode (PV) vorgegeben werden.

### Autonomer Betrieb

Bis zu 8 in BASIC erstellte Ablaufprogramme können direkt auf dem Controller gespeichert und ausgeführt werden. Eines davon kann aus der Autostart-Anwendung konfiguriert werden. Ein Zugriffsschutz kann aktiviert werden.

### Schutz- und Diagnosefunktionen

FAULHABER Motion Control Systems der Generation V3.0 schützen Motor und Elektronik durch thermische Modelle vor Überlast. Die Versorgungsspannung wird überwacht und kann auch im rückspeisenden Betrieb begrenzt werden. Damit werden externe Geräte vor Überspannungen aus dem dynamischen Betrieb geschützt.

### Profile Position Mode (PP) / Profile Velocity Mode (PV)

Für Anwendungen, in denen dem Regler lediglich das Ziel der Bewegung vorgegeben wird. Die Beschleunigungs- und Bremsrampe sowie eine eventuelle Maximalgeschwindigkeit werden über den integrierten Profilgenerator berücksichtigt. Profilbasierte Bewegungen eignen sich daher zur Kombination mit Standardvernetzungen wie RS232 oder CANopen.

### Cyclic Synchronous Position (CSP) / Cyclic Synchronous Velocity (CSV) / Cyclic Synchronous Torque (CST)

Für Anwendungen, in denen eine übergeordnete Steuerung die Bahnplanung auch für mehrere Achsen synchronisiert übernimmt. Die Sollwerte für Position, Geschwindigkeit und Strom werden laufend aktualisiert. Übliche Aktualisierungsraten liegen im Bereich weniger Millisekunden. Cyclic Modes eignen sich daher primär zur Kombination mit EtherCAT. Auch CANopen kann verwendet werden.

### Analog Position Control (APC) / Analog Velocity Control (AVC) / Analog Torque Control (ATC)

Für Anwendungen, in denen die Sollwerte der Regelung analog oder z.B. über einen direkt angeschlossenen Referenzencoder vorgegeben werden. Diese Betriebsarten eignen sich daher insbesondere für den Stand-Alone Betrieb ohne übergeordneten Master.

### Spannungssteller (Voltmode)

Im Spannungssteller ist lediglich ein Strombegrenzungsregler im Einsatz. Alle Regelschleifen werden von einem übergeordneten System geschlossen. Die Sollwertvorgabe kann über das Kommunikationssystem oder über einen analogen Eingang erfolgen.

### Schnittstellen – Diskrete I/O

Drei digitale Eingänge zum Anschluss von End- und Referenzschaltern oder zum Anschluss eines Referenzencoders. Die Logikpegel sind umschaltbar.

Zwei analoge Eingänge ( $\pm 10V$ ), die frei verwendbar als Soll- oder Istwert zur Verfügung stehen.

Zwei digitale Ausgänge, die frei verwendbar als Fehlerausgang, zur direkten Ansteuerung einer Haltebremse oder als flexibler Diagnoseausgang zur Verfügung stehen.

## Optionen

Alle Controller können ab Werk optional mit einer EtherCAT Schnittstelle ausgestattet werden.

Für hoch dynamische Anwendungen kann der Einsatz eines Brems-Choppers zum Abbau von rückgespeicherter Energie sinnvoll sein.

# Motion Control Systems

## Technische Informationen

### Vernetzung

#### RS – Systeme mit RS232 Schnittstelle

Ideal für den Gerätebau und für alle Anwendungen, in denen der Motion Controller an einem Embedded Steuergerät betrieben werden soll. Über den Net-Mode können auch mehrere RS Controller an einer RS232 Schnittstelle betrieben werden. Die Übertragungsrate kann zwischen 9600 Baud und 115 kBaud liegen.

#### CO – CANopen nach CiA 402

Die ideale Variante für den Betrieb eines FAULHABER Motion Controllers an einer SPS – direkt über das CANopen Interface oder über ein Gateway an z. B. Profibus/ProfiNET oder auch an EtherCAT. Dynamisches PDO Mapping sowie Node-Guarding oder Heartbeat werden unterstützt. Übliche Aktualisierungsraten für Soll- und Istwerte liegen hier ab 10 ms.

#### ET – EtherCAT

Motion Controller mit direkter EtherCAT Schnittstelle. Die Controller werden über CoE über das CiA 402 Servodrive Profile angesprochen. Ideal in Kombination mit einer leistungsfähigen Industriesteuerung, die auch die Bahnplanung und Interpolation der Bewegung für mehrere Achsen übernimmt. Aktualisierungsraten für Soll- und Istwerte ab 0,5 ms werden unterstützt.

Alle beschriebenen Betriebsarten und Funktionen stehen unabhängig von der verwendeten Kommunikationsschnittstelle zur Verfügung.

### Hinweis

Gerätehandbücher zur Installation und Inbetriebnahme, Kommunikations- und Funktionshandbücher sowie die Software „FAULHABER Motion Manager“ sind auf Anfrage oder im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich.

### Allgemeine Angaben

#### Systembeschreibung

Die Antriebssysteme integrieren einen bürstenlosen DC-Servomotor, einen hochauflösenden Istwertgeber und einen Motion Controller in einer kompakten, kompletten Antriebseinheit.

Da die Motorkommutierung nicht mechanisch, sondern elektronisch durchgeführt wird, hängt die Lebensdauer eines Motion Control Systems von FAULHABER hauptsächlich von der Lebensdauer der Motorlager ab.

FAULHABER verwendet hoch präzise vorgespannte Kugellager in jedem seiner Systeme mit integriertem Motion Controller. Die Faktoren, die die Lebensdauer der Motorlager beeinflussen, sind die statischen und dynamischen axialen und radialen Lagerbelastungen, die thermischen Umgebungsbedingungen, die Drehzahl, Schwing- und Schockbelastungen sowie die Präzision, mit der die Welle an die gegebene Anwendung gekoppelt ist.

Für hoch dynamische Servoanwendungen, die sehr hohes Drehmoment in höchst kompakten Abmessungen fordern, sind die integrierten 4-poligen DC-Servomotoren der FAULHABER BX4 / BP4 Serien ideal. Ihr robustes Design mit nur wenigen Bauteilen ohne verklebte Komponenten bedeutet, dass sie äußerst langlebig und gut für raue Umgebungsbedingungen geeignet sind, wie beispielsweise extreme Temperaturen und hohe Schwing- und Schocklasten.

Die neuen FAULHABER Motion Control Systems sind durch ihre robuste Bauweise, ihr kompaktes Design und das Anschlusskonzept mit industrietauglichen Standardleitungen perfekt für den Einsatz im Automatisierungsumfeld geeignet.

#### Modifikationen und Zubehör

FAULHABER ist auf die Anpassung seiner Standardprodukte für kundenspezifische Anwendungen spezialisiert. Folgende Standardoptionen und Zubehörteile sind für FAULHABER Motion Control Systems verfügbar:

- Industrietaugliche Anschluss- und Schnittstellenleitungen mit Stecker
- Konfigurierbare Wellenlängen
- Modifizierte Wellengeometrie und Ritzelkonfigurationen, wie z. B. Flächen, Zahnräder, Scheiben und Exzenter
- Modifizierungen für Applikationen mit höheren Drehzahlen und/oder höheren Lasten
- Anpassung der Schutzart über Wellendichtringe
- Anschluss- und Parametrieradapter
- Kundenspezifische Sonderparametrierung und Firmware

## Motion Control Systems

V3.0, 4-Quadranten PWM  
mit RS232 oder CANopen-Schnittstelle

### MCS 3242 ... BX4 RS/CO

Werte bei 22°C und Nennspannung

Versorgungsspannung Elektronik

Versorgungsspannung Motor

Nennspannung Motor

MCS 3242G

$U_p$

## Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Datenblattwerte der Motion Control Systems werden bei Nennspannung und einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

Motion Control Systems verfügen, bei gleichem Masseanschluss, generell über getrennte Versorgungseingänge für Motor und Elektronik, die bei Bedarf auch als gemeinsame Versorgung genutzt werden können.

### Versorgungsspannung Elektronik $U_p$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für die integrierte Steuerelektronik.

### Versorgungsspannung Motor $U_{mot}$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für den im Gesamtsystem integrierten Basismotor.

### Nennspannung $U_N$ [V]

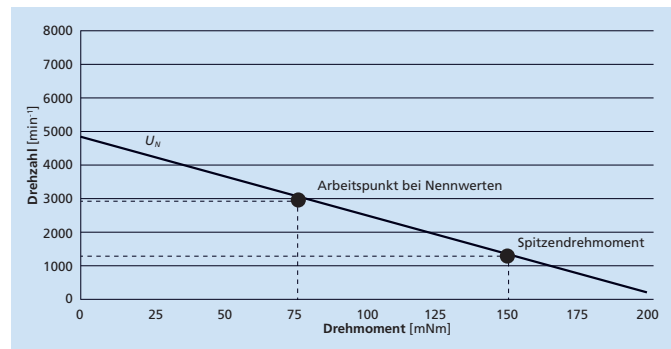
Die zwischen zwei Wicklungsphasen mittels Blockkommutierung angelegte Spannung. Bei dieser Spannung werden die Kennwerte im Datenblatt gemessen bzw. berechnet. Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb des zulässigen Bereichs der Versorgungsspannung eine höhere oder niedrigere Spannung angelegt werden.

### Leerlaufdrehzahl $n_0$ [min<sup>-1</sup>]

Beschreibt die Motordrehzahl im Leerlauf und eingeschwengetem Zustand bei Nennspannung und Sinuskommutierung.

### Spitzendrehmoment $M_{max}$ [mNm]

Gibt das Drehmoment an, das der Antrieb bei S2-Betrieb (Kaltstart ohne zusätzliche Kühlung) bei Nennspannung und -bedingungen unter konstanter Last für die im Datenblatt angegebene Zeit erreichen kann, ohne das thermische Limit zu überschreiten. Falls nicht abweichend definiert, gilt für den Wert des Spitzendrehmomentes eine Verdoppelung des Dauerdrehmomentes.



Beispiel: MCS 3242...BX4

### Drehmomentkonstante $k_m$ [mNm/A]

Konstante, die das Verhältnis zwischen Motordrehmoment und aufgenommenem Strom beschreibt.

### PWM-Schaltfrequenz $f_{PWM}$ [kHz]

Die Pulsweitenmodulation beschreibt den Wechsel der elektrischen Spannung zwischen zwei Werten. Die in den MCS integrierten Motoren weisen eine niedrige elektrische Zeitkonstante auf. Um die PWM bedingten Verluste niedrig zu halten, ist eine hohe Schaltfrequenz notwendig.

### Wirkungsgrad Elektronik $\eta$ [%]

Verhältnis zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung der Steuerelektronik.

### Stromaufnahme der Elektronik $I_{el}$ [A]

Beschreibt die durch die integrierte Elektronik zusätzliche Stromaufnahme des Gesamtsystems.

### Wellenlagerung

Die für die bürstenlosen DC-Motoren verwendeten Lager.

### Wellenbelastung, max. zulässig [N]

Die max. zulässige Wellenbelastung bei angegebenem Wellendurchmesser für die Abtriebswelle. Die Werte für Belastung und Lebensdauer von Motoren mit Kugellagern basieren auf den Herstellerangaben. Dieser Wert gilt nicht für ein eventuell verfügbares hinteres oder zweites Wellenende.

### Wellenspiel [mm]

Spiel zwischen Welle und Lagerung einschließlich des zusätzlichen Lagerspiels bei Kugellagern.

### Betriebstemperaturbereich [°C]

Gibt die minimale und maximale Betriebstemperatur des Gesamtsystems unter Nennbedingungen wieder.



# Motion Control Systems

## Technische Informationen

**Drehzahlbereich [min<sup>-1</sup>]**

Beschreibt die maximale Leerlaufdrehzahl für Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei erhöhter Nennspannung (30 V). Je nach geforderter Drehzahl kann innerhalb der gegebenen Systemgrenzen eine höhere oder niedrigere Spannung angelegt werden.

Montage des Systems an einem Kunststoffflansch gemäß Montageart IM B 5.

## Gehäusematerial

Gehäusematerialien und ggf. die Oberflächenbehandlung.

### Schutzart

Definiert den Schutzgrad des Gehäuses gegen Berührung, Fremdkörper und Wasser. Die der Bezeichnung IP angehängten Kennziffern zeigen an, welchen Schutzzumfang ein Gehäuse bezüglich Berührung bzw. Fremdkörper (erste Kennziffer) und Feuchtigkeit bzw. Wasser (zweite Kennziffer) bietet.

Bedingt durch zusätzliche Schutzmaßnahmen wie z.B. Wellendichtringe sind in definierten Zeitintervallen Wartungsmaßnahmen durchzuführen > Details siehe Gerätehandbuch.

## Masse [g]

Die typische Masse des Standardsystems kann durch unterschiedliche Bestückungsvarianten innerhalb der einzelnen Schnittstellenvarianten voneinander abweichen.

### Längenmaße ohne mechanische Toleranzangaben:

Toleranzen nach ISO 2768:

≤ 6	= ± 0,1 mm
≤ 30	= ± 0,2 mm
≤ 120	= ± 0,3 mm

Die Toleranzen nicht spezifizierter Werte erhalten Sie auf Anfrage.

Alle mechanischen Abmessungen der Motorwelle werden mit axialer Wellenbelastung in Richtung Motor gemessen.

## Nennwerte für Dauerbetrieb

Die folgenden Werte werden bei Nennspannung, einer Umgebungstemperatur von 22 °C und in Montageart IM B 5 gemessen.

Montageart IM B 5 definiert die Anflanschung des Antriebs ohne Montagefüße mit zwei Lagerschilden, freiem vorderen Wellenende und Montageflansch nahe am Lager.

Nenndrehmoment  $M_N$  [mNm]

Das maximale Dauerdrehmoment (S1-Betrieb) bei Nennspannung, bei dem im eingeschwungenen Zustand die Temperatur die maximal zulässige Wicklungstemperatur und/oder den Betriebstemperaturbereich des Motors nicht überschreitet. Der Motor ist dabei an einem Metallflansch befestigt, was in etwa der Kühlung des Motors in einer typischen Anbausituation entspricht. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

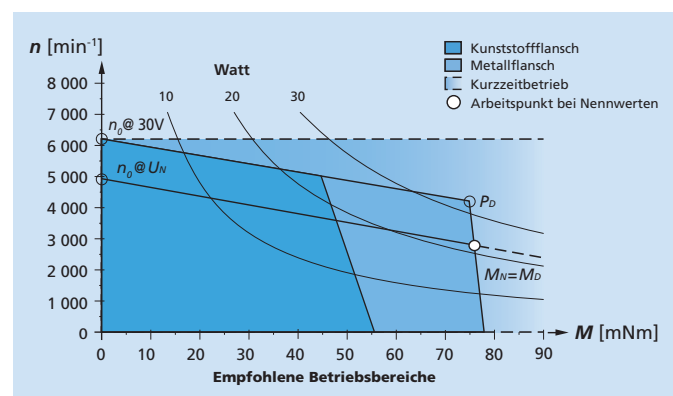
**Nennstrom  $I_N$  [A]**

Der typische maximale Dauerstrom in eingeschwungenem Zustand, der aus dem Nenndrehmoment bei Dauerbetrieb resultiert. Dieser Wert kann überschritten werden, wenn der Antrieb intermittierend betrieben wird, bei Start-/Stopbetrieb, in der Anlaufphase und/oder wenn mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

**Nenn Drehzahl  $n_N$  [min<sup>-1</sup>]**

Die typische Nenndrehzahl in eingeschwungenem Zustand, die sich aus dem gegebenen Nenndrehmoment ermittelt.

Dieser Wert schließt die Effekte der Motorverluste auf die Steigung der n/M-Kennlinie ein.



Beispiel: Leistungsdiagramm für Nennwerte bei Dauerbetrieb.



## Erläuterungen zum Leistungsdiagramm

Dargestellt werden die möglichen Drehzahlbereiche in Abhängigkeit zum Wellendrehmoment. Das Leistungsdiagramm zeigt die möglichen Betriebspunkte der Servoantriebe.

Arbeitspunkte im dunkelblauen Bereich werden bei einer reinen Flanschmontage (IM B5) an einem Kunststoffflansch (ca. 100mm x 100mm x 10mm) und 22 °C Umgebungstemperatur dauerhaft erreicht.

Arbeitspunkte im hellblauen Bereich bis zu  $P_D$  werden bei einer reinen Flanschmontage (IM B5) an einem Alufansch (ca. 100mm x 100mm x 10mm) und 22 °C Umgebungstemperatur dauerhaft erreicht.

Die maximal erreichbare Geschwindigkeit hängt von der Motorversorgungsspannung ab. Bei Nennspannung werden maximal die Arbeitspunkte auf der Nennspannungslinie durch den Leerlaufpunkt und den Nennpunkt erreicht.

Drehzahlen oberhalb der Nennspannungslinie werden mit einer angehobenen Versorgungsspannung erreicht. Die Maximalspannung für die Elektronik oder Motorversorgung darf dabei nie überschritten werden.

Der gestrichelt dargestellte Sektor beschreibt mögliche Arbeitspunkte, in denen der Antrieb im intermittierenden Betrieb oder bei erhöhter Kühlung zum Einsatz kommen kann.

### Dauerdrehmoment $M_D$ [mNm]

Beschreibt das max. empfohlene Dauerdrehmoment im eingeschwungenen Zustand bei Nennspannung und Montage an einem Alufansch. Bei Motion Control Systemen entspricht das Dauerdrehmoment gleichzeitig auch dem Nennmoment.

Die Drehzahl verhält sich dabei linear zum Dauerdrehmoment. Das Dauerdrehmoment ist unabhängig von der Dauerleistung und kann überschritten werden, wenn der Motor intermittierend betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb, und/oder mehr Kühlung zum Einsatz kommt.

### Dauerleistung $P_D$ [W]

Beschreibt die max. mögliche Abgabeleistung bei Dauerbetrieb im eingeschwungenen Zustand bei Montage am Alufansch. Der Wert ist nicht vom Dauerdrehmoment abhängig, verhält sich linear zum Kühlfaktor und kann überschritten werden, wenn der Motor periodisch betrieben wird, z. B. im S2-Betrieb und/oder wenn mehr Kühlung angewendet wird.

### Nennspannungskennlinie $U_N$ [V]

Die Nennspannungskurve beschreibt die möglichen Dauerarbeitspunkte bei  $U_N$ . Im eingeschwungenen Zustand entspricht der Startpunkt der Leerlaufdrehzahl  $n_0$  des Antriebs. Betriebspunkte oberhalb dieser Kurve können durch eine Erhöhung, Betriebspunkte unterhalb durch eine Reduzierung der Nennspannung erreicht werden.



Einfache Inbetriebnahme mit dem neuen Motion Manager 6.

Je nach Kühlfaktor, Arbeitspunkt und Umgebungstemperatur kann eine Anpassung der Strombegrenzungsparameter mittels der Bediensoftware erforderlich sein. Details siehe Gerätehandbuch.

# Schrittmotoren



# Schrittmotoren

## Technische Informationen

Schrittmotoren	
Zwei Phasen, 24 Schritte pro Umdrehung PRECiStep® Technologie	
Serie AM2224	
	AM2224 ... 1
1 Nennstrom pro Phase (2 Phasen bestromt) <sup>1)</sup>	1,0
2 Nennspannung pro Phase (2 Phasen bestromt) <sup>1)</sup>	–
3 Phasenwiderstand (bei 20°C)	–
4 Induktivität pro Phase (1kHz)	–
5 Amplitude der Gegen-EMK	–

### Erläuterungen zu den Datenblättern

#### Nennstrom pro Phase [A]

Der Phasenstrom, der durch beide Phasenwicklungen fließen darf, ohne dass der Motor (bei 20 °C, konstanter Betrieb) überhitzt.

#### Nennspannung pro Phase (V DC)

Die benötigte Versorgungsspannung, bei der sich der Nennstrom bei 20 °C Umgebungstemperatur einstellt.

#### Phasenwiderstand (bei 20 °C) <sup>1)</sup> [Ω]

Wicklungswiderstand einer Phase bei 20 °C, eingeschwungener Zustand; die Toleranz beträgt ±12%.

#### Induktivität pro Phase [mH]

Die Induktivität einer Phase gemessen bei 1 kHz.

#### Amplitude der Gegen-EMK <sup>1)</sup> [V/k Schritt/s]

Die Amplitude der Gegen-EMK bei 1000 Schritten/s.

#### Haltemoment (2 Phasen bestromt) [mNm]

Die Amplitude des Drehmoments, das der Motor im Stillstand entwickelt, wenn beide Phasen mit Nennstrom bestromt sind.

#### Haltemoment (zweifacher Nennstrom) [mNm]

Die Amplitude des Drehmoments, das der Motor im Stillstand entwickelt, wenn beide Phasen mit doppeltem Nennstrom bestromt sind.

Es besteht keine Gefahr, den Motor dabei zu beschädigen. Um den Motor thermisch nicht zu überlasten, sollte der Spitzenstrom nur kurzzeitig eingesetzt werden. Idealerweise sollte die Einschaltdauer auf 25% verringert werden, um Motorschäden vorzubeugen.

#### Vollschritt-Winkel [Grad]

Schrittinkel, den der Motor im Vollschritt ausführt.

#### Absolute Schrittwinkelgenauigkeit [%]

Die Abweichung der Rotorposition von der idealen Winkelposition, die ohne äußere Last gemessen wird. Der Fehler ist absolut und wird nicht kumuliert.

#### Stromloses Haltemoment max. <sup>1)</sup> [mNm]

Das Resthaltemoment des Motors ohne Phasenstrom. Das Restdrehmoment ist nützlich, um eine Position ohne

jeglichen Strom zu halten, so dass die Batteriebensdauer geschont oder die Motortemperatur reduziert wird.

#### Rotorträgheitsmoment [kgm<sup>2</sup>]

Gibt das gesamte Trägheitsmoment des Rotors an.

#### Resonanzfrequenz (bei Nennstrom) [Hz]

Die Schrittfrequenz, bei der beim unbelasteten Motor Resonanzschwingungen des Rotors auftreten. Es wird empfohlen, den Motor mit einer höheren Frequenz zu starten oder Halb- oder Mikroschritt einzusetzen, um außerhalb dieser Frequenz zu arbeiten. Zusätzliche Trägheitslasten verändern die Resonanzfrequenz.

#### Elektrische Zeitkonstante [ms]

Die benötigte Zeit, um 67% des möglichen Phasenstromes eines vorgegebenen Arbeitspunktes zu erreichen.

#### Betriebstemperaturbereich [°C]

Der Temperaturbereich innerhalb dessen der Motor betrieben werden kann.

#### Maximal zulässige Wicklungstemperatur [°C]

Die Temperatur, welche die Wicklung und die Magnete maximal erreichen können.

#### Thermischer Widerstand $R_{th1}$ , $R_{th2}$ [K/W]

$R_{th1}$  bezieht sich auf den Wert zwischen Wicklung und dem Gehäuse;  $R_{th2}$  bezieht sich auf den Wert zwischen dem Gehäuse und der Umgebungsluft;  $R_{th2}$  kann reduziert werden, indem ein Wärmeaustausch zwischen dem Motor und der Umgebungsluft ermöglicht wird (beispielsweise durch die Verwendung eines Kühlkörpers oder durch Umluftkühlung).

#### Thermische Zeitkonstante $\tau_{w1}$ , $\tau_{w2}$ [s]

Beschreibt die Zeit, die die Wicklung bzw. das Gehäuse benötigen, um eine Temperatur von 63% des endgültigen Wertes zu erreichen.

#### Wellenlagerung

Zur Verfügung stehen dauerhaft gefettete Sinterlager oder vorgespannte Kugellager, deren Vorspannung durch Federscheiben am hinteren Kugellager eingestellt wird.

#### Wellenbelastung, max. radial [N]

Die Angaben geben empfohlene Werte für die radiale Wellenbelastung an.

#### Wellenbelastung, max. axial [N]

Dieser Wert gibt für alle Lagerarten die maximal empfohlene axiale Belastung an. Für Kugellager entspricht dieser Wert der eingestellten Vorspannung. Wird dieser Wert überschritten, kann eine reversible Verschiebung der Welle um ~200µm eintreten. Um zu vermeiden, dass der Motor irreparabel beschädigt wird, sollte die maximale Axiallast stets unter der maximalen Schubkraft bleiben, die der Motor mit einer montierten Spindel erzeugen kann. Weitere Informationen entnehmen Sie bitte den Datenblättern der linearen Komponenten.

# Schrittmotoren

## Technische Informationen

### Wellenspiel, max., radial/axial [ $\mu\text{m}$ ]

Gibt das maximale Spiel an, das sich einstellt, wenn die Achse mit den angegebenen Kräften radial / axial bewegt wird.

### Masse [g]

Die typische Masse des Standardmotors.

<sup>1)</sup> Diese Parameter werden bei der Endkontrolle zu 100 % geprüft.

## Auswahl der geeigneten Schrittmotoren

Die Auswahl eines Schrittmotors für eine Anwendung erfolgt über die Drehmomentkurven. Diese basieren auf den Last- und Bewegungsparametern des jeweiligen Schrittmotors.

Eine mathematische Auslegung ohne Drehmomentkurven ist nicht möglich!

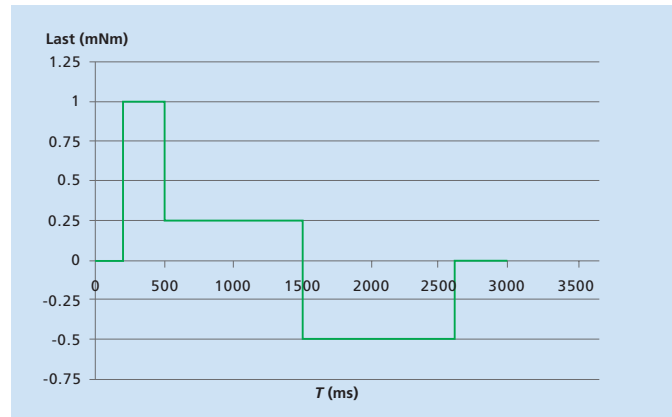
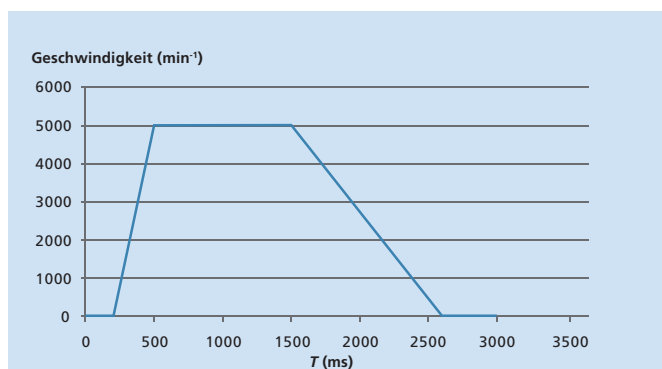
Folgende Parameter müssen bekannt sein:

- Bewegungsprofil
- Reibmoment und Massenträgheit
- Erforderliche Auflösung
- Verfügbarer Platz
- Strom- und Spannungsversorgung

### 1. Bestimmung der Last an der Motorwelle

Hier soll berechnet werden mit welchem Bewegungsprofil gearbeitet werden muss, um eine Bewegung innerhalb der vorgegebenen Zeit auszuführen. Mit den Lastparametern wie Reibung und Massenträgheit kann damit die maximale Drehzahl und das maximale Drehmoment berechnet und ein Motor ausgesucht werden, der diese Vorgaben erfüllt. Dies wurde im folgenden Beispiel durchgeführt.

Für eine detaillierte Überprüfung sollte auch das Massenträgheitsmoment des Motors mit in die Lastberechnung einbezogen werden.



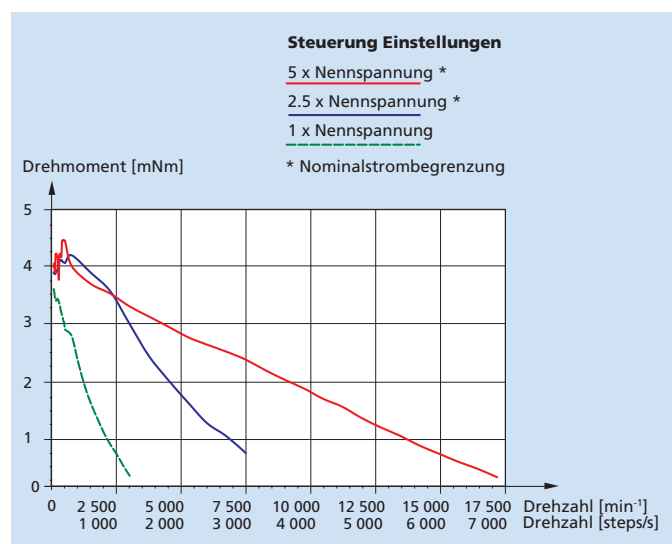
Im vorliegenden Beispiel wird der AM1524, aus Gründen der Vorgabe des Durchmessers von max. 15 mm, in der Anwendung eingesetzt. Sein Massenträgheitsmoment wurde in der Lastberechnung berücksichtigt.

### 2. Überprüfung der Motorleistung

Im vorliegenden Beispiel befindet sich der Punkt mit der höchsten Last mit  $M = 1 \text{ mNm}$  bei  $n = 5000 \text{ min}^{-1}$  am Ende der Beschleunigungsphase. Dieser Punkt muss nun in die Drehmoment-Drehzahlkurve des ausgewählten Motors eingetragen werden.

Dabei sollte eine Sicherheit von 30 % mit eingerechnet werden. Der AM1524 ist auch mit diesem Sicherheitsfaktor in der Lage, die geforderte Bewegung auszuführen. Sollte dies nicht der Fall sein, kann eine Getriebeuntersetzung eingeplant oder ein größerer Motor ausgewählt werden.

Höhere Versorgungsspannungen bewirken im Vergleich zum Betrieb mit Nennspannung ein größeres Drehmoment bei steigender Drehzahl (siehe Kennlinie).



### 3. Die Auflösung des Schrittmotorantriebs

Für das gewählte Beispiel wird davon ausgegangen, dass die geforderte Winkelauflösung  $9^\circ$  beträgt.

Der Schrittwinkel des AM1524 wird mit  $15^\circ$  angegeben. Er kann, um die Auflösung zu erhöhen, im Halbschritt angesteuert werden, und kann so einen Schrittwinkel von  $7,5^\circ$  ausführen. Durch Betrieb im Mikroschrittbetrieb kann seine Winkelauflösung noch erhöht werden. Allerdings erhöht sich auch der Winkelfehler, da der Schrittfehler eines Schrittmotors, ausgedrückt in % des Vollschriffs, in seiner absoluten Höhe konstant bleibt.

Sollte die Auflösung durch diese Maßnahmen nicht hoch genug werden, kann durch ein Getriebe oder eine Spindel die Auflösung mechanisch erhöht werden.

### 4. Einsatz im niedrigen Drehzahlbereich

Jeder Motor besitzt eine eigene Resonanzfrequenz, die im Bereich von ca. 200 Hz liegt. Wird der Motor in diesem Bereich betrieben, erzeugt er Vibrationen, die ungenaue Bewegungen auslösen und sich gleichzeitig negativ auf das Drehmoment auswirken. Befindet sich die Drehzahl im Bereich oder unterhalb der Resonanzfrequenz, wird daher dringend empfohlen, im Mikroschrittmodus zu arbeiten. Je höher dabei die Anzahl der Mikroschritte ist, desto besser wird das Verhalten des Motors. Die Genauigkeit der Schrittbewegungen nimmt zu, die negativen Effekte der Resonanzfrequenz werden deutlich besser ausgeglichen.

## Allgemeine Anwendungshinweise

Jeder Schrittmotor kann mit Vollschrift (2 Phasen oder 1 Phase bestromt), im Halbschritt oder im Mikroschritt betrieben werden. Das Haltemoment ist bei Voll-, Halb- und Mikroschritt gleich groß (bei konstantem  $I^2R$ -Verlust ist auch das Haltemoment konstant).

Üblicherweise stellt man die Theorie an einem Schrittmotor-Grundmodell mit 2 Phasen und 1 Polpaar dar, weil an so einem Modell der mechanische und elektrische Winkel gleich sind.

- Bei Vollschrift, eine Phase bestromt, müssen die Phasen nacheinander bestromt werden:  
1. A+ 2. B+ 3. A- 4. B-
- Im Halbschritt schaltet man Phase: 1. A+ 2. A+B+ 3. B+ 4. A-B+ 5. A- 6. A-B- 7. B- 8. A+B-
- Soll jeder Halbschritt dasselbe Haltemoment ergeben, so wird bei Strom in nur einer Phase dieser um den Faktor  $\sqrt{2}$  erhöht.

Der Mikroschrittbetrieb bringt zwei wesentliche Vorteile, nämlich einen praktisch geräuschlosen Lauf sowie eine höhere Auflösung oder Anzahl der Zielpositionen.

Die zwei Hauptvorteile des Mikroschrittbetriebs sind geringere Laufgeräusche und eine höhere Auflösung, wobei beide von der Anzahl der Mikroschritte pro Vollschrift abhängen, die durch die Leistungsfähigkeit des Controllers begrenzt ist.

Die zu Beginn dieses Abschnitts gegebenen Erläuterungen zeigen, dass für einen Zyklus des Magnetfeld-Vektors (4 Vollschriffs) die Steuerung mehrere definierte Werte der Phasenströme liefern muss, deren Zahl der Anzahl von Mikroschritten pro Vollschrift entspricht.

Bei 8 Mikroschritten wären dies 8 verschiedene Werte, die z. B. in Phase A den Strom vom Nennwert auf Null bringen, entsprechend der Kosinusfunktion von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$ . Gleichzeitig steigt in Phase B der Strom von Null auf den Nennwert und folgt dabei dem Sinus von Null bis  $90^\circ$ . Die Werte sind in einem Ringzähler gespeichert und werden vom Programm der Steuerung abgerufen.

Für jeden Mikroschritt wird die jeweilige Zielposition durch die Vektorsumme der in beiden Phasen erzeugten Drehmomente definiert:

$$M_A = k \cdot I_A = k \cdot I_o \cdot \cos \varphi$$

$$M_B = k \cdot I_B = k \cdot I_o \cdot \sin \varphi$$

mit  $M$  = Drehmoment,  $k$  = Drehmomentkonstante,  $I_o$  = Nennstrom der Phase.

Ein Schrittmotor ohne Last hat für Vollschrift-, Halbschritt- und Mikroschrittbetrieb stets denselben Positionsfehler.

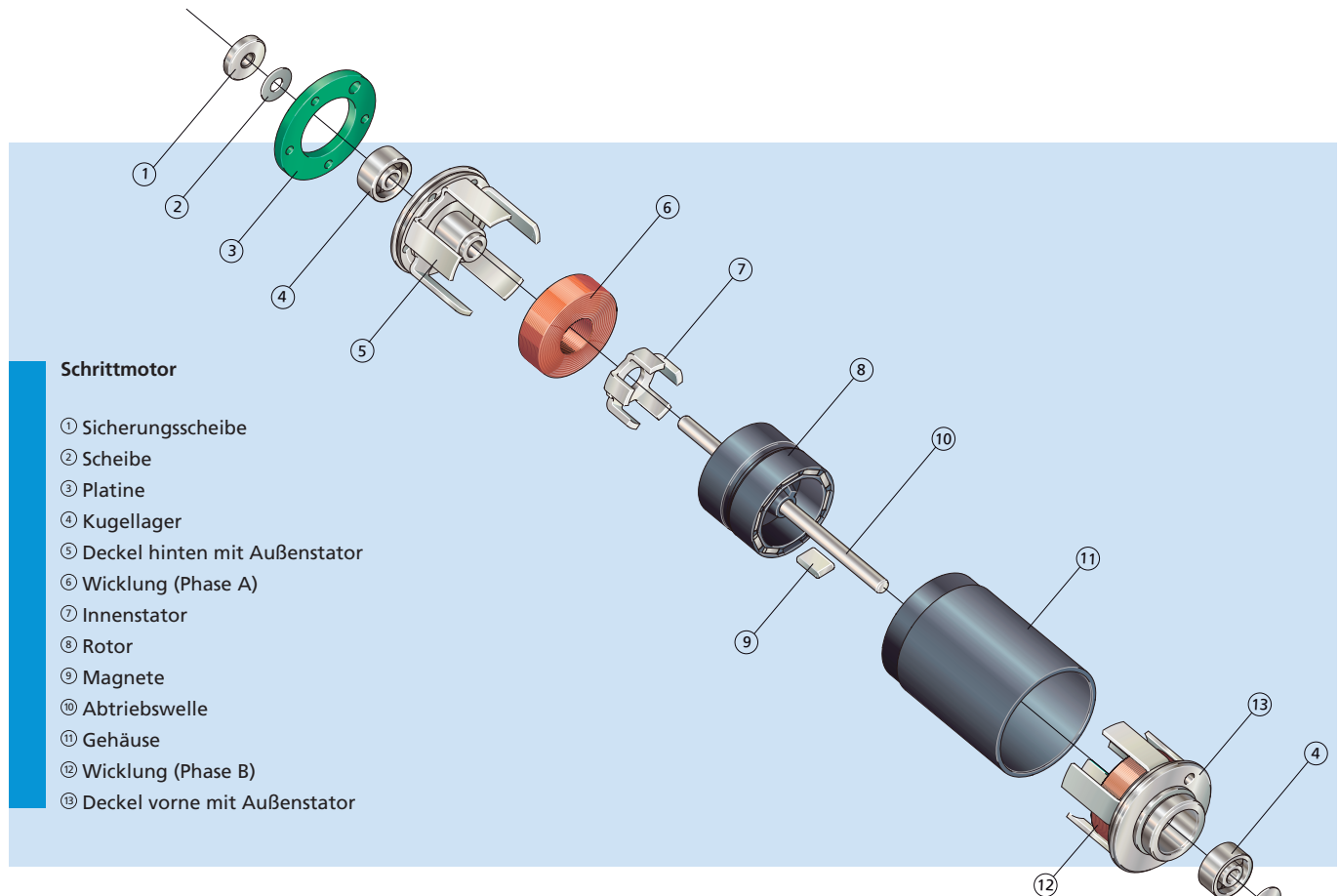
Daher hängt der Positionsfehler stets auch von der momentanen Rotorposition ab sowie vom genauen Betrag der Phasenströme und selbstverständlich von den Lastbedingungen.

### 5. Prüfung in der Anwendung

Jede Motorauslegung, die auf den obigen Betrachtungen beruht, muss nachher in der realen Anwendung überprüft werden. Dabei muss sichergestellt sein, dass alle Lastparameter, auch unter erschwerten Bedingungen, getestet werden.

## Schrittmotoren

### Zwei Phasen



### Funktion

Die PRECistep® Schrittmotoren sind Zwei-Phasen-Schrittmotoren mit Permanentmagneten. Aufgrund des optimierten Aufbaus und durch den Einsatz von NdFeB-Magneten wird ein sehr gutes Leistungs-/Volumenverhältnis erreicht. Die Ansteuerung im Voll-, Halb- oder Mikroschrittbetrieb ermöglicht es, genaue Drehzahlprofile zu fahren oder eine Positioniersteuerung im offenen Regelkreis aufzubauen.

Der Rotor besteht aus einem Kunststoffträger, in dem Magnete spezifisch angeordnet sind, um 10 bis 12 Polpaare zu erzeugen, je nach Motorausführung. Das große Magnetvolumen garantiert ein hohes Drehmoment, die Qualität des Magnetmaterials ermöglicht den Einsatz bei sehr tiefen Temperaturen und bis über 180 °C (Sonderausführung). Zwei Wicklungen werden für die Statorn verwendet, eine für jede Phase. Sie sind auf jeder Seite des Rotors positioniert. Die inneren und äußeren Statorzinken erzeugen einen radialen Magnetfluss.

### Nutzen und Vorteile

- Kostengünstiger Positionierbetrieb ohne Impulsgeber (offener Regelkreis)
- Hohe Leistungsdichte
- Langlebig
- Großer Temperaturbereich
- Drehzahlbereich bis 16 000 min<sup>-1</sup> bei Stromsteuerung (Chopperbetrieb)
- Voll-, Halb- und Mikroschrittbetrieb möglich

### Produktkennzeichnung



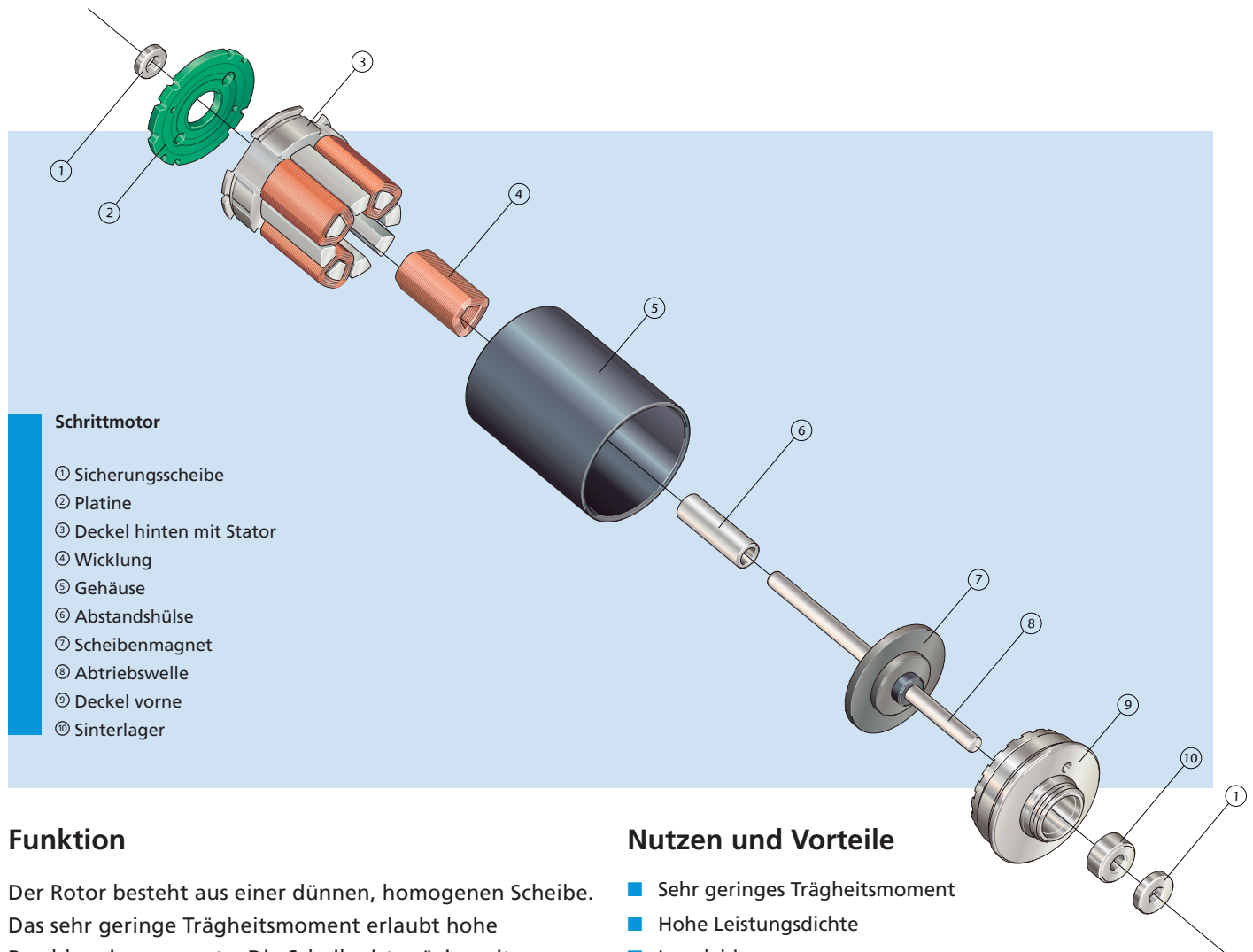
AM1524	Motorserie
2R	Lagerung
0075	Wicklung
57	Motorausführung

AM1524 2R 0075 57



## Schrittmotoren

Zwei Phasen, mit Scheibenmagnet



### Schrittmotor

- ① Sicherungsscheibe
- ② Platine
- ③ Deckel hinten mit Stator
- ④ Wicklung
- ⑤ Gehäuse
- ⑥ Abstandshülse
- ⑦ Scheibenmagnet
- ⑧ Abtriebswelle
- ⑨ Deckel vorne
- ⑩ Sinterlager

### Funktion

Der Rotor besteht aus einer dünnen, homogenen Scheibe. Das sehr geringe Trägheitsmoment erlaubt hohe Beschleunigungswerte. Die Scheibe ist präzise mit 10 Polpaaren magnetisiert, woraus eine hohe Winkelgenauigkeit resultiert. Der Stator befindet sich nur auf einer Seite des Motors. 4 Wicklungen (2 pro Phase) generieren dazu den axialen Magnetfluss.

Sonderausführungen dieses Motortyps bieten sehr gute Mikroschritt-Einsatzmöglichkeiten infolge des nicht vorhandenen Rastmoments.

### Nutzen und Vorteile

- Sehr geringes Trägheitsmoment
- Hohe Leistungsdichte
- Langlebig
- Großer Temperaturbereich
- Sehr gut für Mikroschrittbetrieb geeignet

### Produktkennzeichnung



DM1220	Motorserie
2R	Lagerung
0330	Wicklung
51	Motorausführung

DM1220 2R 0330 51

# Lineare DC-Servomotoren



# Lineare DC-Servomotoren

## Technische Informationen

### Lineare DC-Servomotoren

mit analogen Hall Sensoren  
QUICKSHAFT® Technologie

#### Serie LM 1247 ... 11

	LM 1247-	020-11
1 Dauerkraft <sup>1)</sup>	$F_e \text{ max.}$	3,6
2 Spitzenkraft <sup>1) 2)</sup>	$F_p \text{ max.}$	10,7
3 Dauerstrom <sup>1)</sup>	$I_e \text{ max.}$	0,55
4 Spitzenstrom <sup>1) 2)</sup>	$I_p \text{ max.}$	1,66
5 Generator-Spannungskonstante		
6 Kraftkonstante		

### Erläuterungen zu den Datenblättern

Alle Werte bei 22 °C Umgebungstemperatur.

#### Dauerkraft $F_e \text{ max.}$ [N]

Die maximale Schubkraft im Dauerbetrieb bei der maximal zulässigen Betriebstemperatur.

$$F_e \text{ max.} = k_F \cdot I_e \text{ max.}$$

#### Spitzenkraft $F_p \text{ max.}$ [N]

Die maximale Schubkraft im intermittierenden Betrieb (max. 1 s, 10% Arbeitszyklus) bei der maximal zulässigen Betriebstemperatur.

$$F_p \text{ max.} = k_F \cdot I_p \text{ max.}$$

#### Dauerstrom $I_e \text{ max.}$ [A]

Der maximal zulässige Strom im Dauerbetrieb bei der maximal zulässigen Betriebstemperatur.

$$I_e \text{ max.} = \sqrt{\frac{T_{125} - T_{22}}{R \cdot (1 + \alpha_{22} \cdot (T_{125} - T_{22})) \cdot (R_{th1} + 0,45 \cdot R_{th2})}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

#### Spitzenstrom $I_p \text{ max.}$ [A]

Der maximal zulässige Spitzenstrom im Kurzzeitbetrieb (max. 1 s, 10% Arbeitszyklus) bei der maximal zulässigen Betriebstemperatur.

#### Generator-Spannungskonstante $k_E$ [V/m/s]

Die Motorkonstante, die das Verhältnis zwischen der induzierten Spannung in den Motorphasen und der linearen Bewegungsgeschwindigkeit beschreibt.

$$k_E = \frac{2 \cdot k_F}{\sqrt{6}}$$

#### Kraftkonstante $k_F$ [N/A]

Die Konstante, die das Verhältnis zwischen der geleisteten Motorkraft und dem Stromverbrauch beschreibt.

#### Anschlusswiderstand, Phase-Phase $R$ [ $\Omega$ ] $\pm 12\%$

Der zwischen jeweils zwei Motorphasen gemessene Widerstand. Der Wert ist direkt von der Spulentemperatur abhängig (Temperaturkoeffizient:  $\alpha_{22} = 0,004 \text{ K}^{-1}$ ).

#### Anschlussinduktivität, Phase-Phase $L$ [ $\mu\text{H}$ ]

Die bei 1 kHz zwischen zwei Phasen gemessene Induktivität.

#### Hublänge, $s_{\text{max.}}$ [mm]

Die maximale Hublänge vom Läuferstab.

#### Wiederholgenauigkeit [ $\mu\text{m}$ ]

Die maximal gemessene Abweichung, wenn mehrfach die gleiche Bewegung unter gleichen Bedingungen wiederholt wird.

#### Präzision [ $\mu\text{m}$ ]

Die maximalen Positionierungsfehler. Dieser Wert entspricht der Differenz zwischen der gesetzten und der gemessenen Position des Systems.

#### Beschleunigung $a_e \text{ max.}$ [ $\text{m/s}^2$ ]

Die maximale Beschleunigung aus dem Stillstand, ohne Last.

$$a_e \text{ max.} = \frac{F_e \text{ max.}}{m_m}$$

#### Geschwindigkeit $v_e \text{ max.}$ [m/s]

Die maximale Geschwindigkeit aus dem Stillstand, ohne Last, bei einem dreieckigen Geschwindigkeitsprofil und maximaler Hublänge.

$$v_e \text{ max.} = \sqrt{a_e \text{ max.} \cdot s_{\text{max.}}}$$

#### Wärmewiderstände $R_{th1}$ ; $R_{th2}$ [K/W]

$R_{th1}$  entspricht dem thermischen Übergangswiderstand zwischen Spule und Gehäuse.

$R_{th2}$  entspricht dem thermischen Übergangswiderstand zwischen Gehäuse und Umgebung.

Der Wert für  $R_{th2}$  kann durch den Einsatz eines Kühlkörpers und/oder durch Zwangsbelüftung verbessert werden.

#### Thermische Zeitkonstante $\tau_{w1}$ ; $\tau_{w2}$ [s]

Die Zeitkonstante der Spule ( $\tau_{w1}$ ) und vom Gehäuse ( $\tau_{w2}$ ).

#### Betriebstemperaturbereich [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Die minimal und maximal zulässigen Betriebstemperaturwerte.

# Lineare DC-Servomotoren

## Technische Informationen

### Läuferstabgewicht $m_m$ [g]

Das Gewicht des Läuferstabes mit den Magneten.

### Gesamtgewicht $m$ [g]

Das Gesamtgewicht vom Linear DC-Servomotor.

### Magnetischer Polabstand $\tau_m$ [mm]

Die Distanz zwischen zwei gleichen Polpaaren.

### Läuferstab Lager

Das Material und die Ausführung der Läuferstablager.

### Gehäusematerial

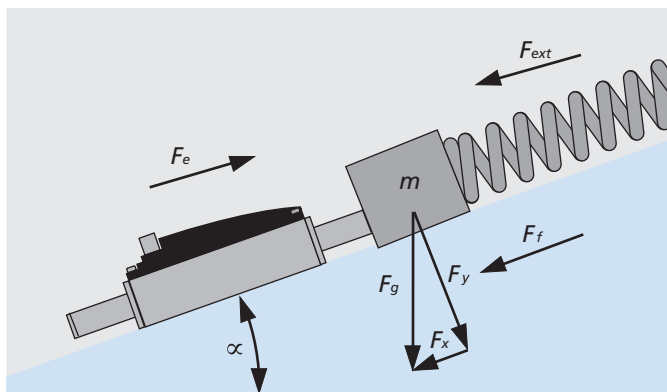
Das Material vom Motorgehäuse.

### Bewegungsrichtung

Die Bewegungsrichtung ist reversibel und wird durch die Ansteuerungselektronik bestimmt.

## Kräfteberechnung

Um eine Masse eine Neigung hochzubewegen, muss ein Motor eine Kraft ausüben, um die Last zu beschleunigen und alle gegen diese Bewegung wirkenden Kräfte zu überwinden.



Die Summe der in der oben stehenden Zeichnung gezeigten Kräfte muss gleich sein zu:

$$\sum F = m \cdot a \quad [\text{N}]$$

Gibt man die verschiedenen Kräfte in diese Gleichung ein, folgt daraus:

$$F_e - F_{ext} - F_f - F_x = m \cdot a \quad [\text{N}]$$

dabei gilt:

$F_e$ :	Dauerkraft des Motors	[N]
$F_{ext}$ :	Externe Kraft	[N]
$F_f$ :	Reibungskraft $F_f = m \cdot g \cdot \mu \cdot \cos(\alpha)$	[N]
$F_x$ :	Parallelkraft $F_x = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$	[N]
$m$ :	Gesamtmasse	[kg]
$g$ :	Gravitation	[m/s <sup>2</sup> ]
$a$ :	Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]

## Bewegungsprofile

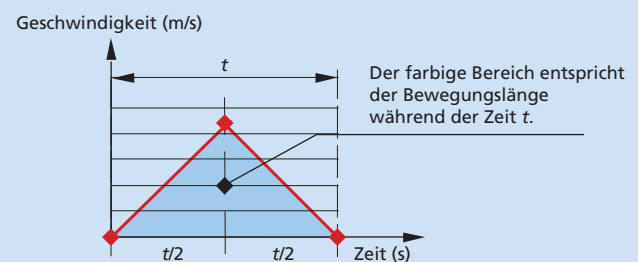
Das Bewegen jeder Masse von Punkt A zu Punkt B unterliegt den Gesetzen der Kinematik.

Die Formeln einer geradlinigen Bewegung und einer kontinuierlichen, beschleunigten Bewegung erlauben die verschiedenen Geschwindigkeits- und Zeitprofile zu definieren.

Bevor die vom Motor zu leistende kontinuierliche Arbeitskraft berechnet werden kann, muss ein Geschwindigkeitsprofil mit den verschiedenen Lastbewegungen definiert werden.

### Dreieckiges Geschwindigkeitsprofil

Das dreieckige Geschwindigkeitsprofil besteht nur aus der Beschleunigungs- und Abbremszeit.



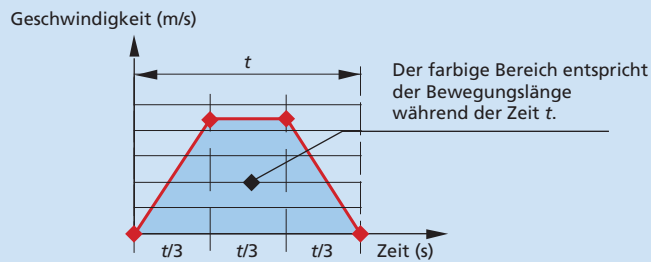
Bewegung:  $s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t = \frac{1}{4} \cdot a \cdot t^2 = \frac{v^2}{a} \quad [\text{m}]$

Geschwindigkeit:  $v = 2 \cdot \frac{s}{t} = \frac{a \cdot t}{2} = \sqrt{a \cdot s} \quad [\text{m/s}]$

Beschleunigung:  $a = 4 \cdot \frac{s}{t^2} = 2 \cdot \frac{v}{t} = \frac{v^2}{s} \quad [\text{m/s}^2]$

### Trapezförmiges Geschwindigkeitsprofil

Das trapezförmige Geschwindigkeitsprofil, konstante Beschleunigung, konstante Geschwindigkeit und Abbremsen erlauben eine einfache Berechnung, die vielen praxisnahen Anwendungen entspricht.



Bewegung:  $s = \frac{2}{3} \cdot v \cdot t = \frac{1}{4,5} \cdot a \cdot t^2 = 2 \cdot \frac{v^2}{a}$  [m]

Geschwindigkeit:  $v = 1,5 \cdot \frac{s}{t} = \frac{a \cdot t}{3} = \sqrt{\frac{a \cdot s}{2}}$  [m/s]

Beschleunigung:  $a = 4,5 \cdot \frac{s}{t^2} = 3 \cdot \frac{v}{t} = 2 \cdot \frac{v^2}{s}$  [m/s<sup>2</sup>]

### Auswahl eines linearen DC-Servomotors

Dieser Abschnitt beschreibt Schritt für Schritt den Vorgang zur Auswahl eines linearen DC-Servomotors.

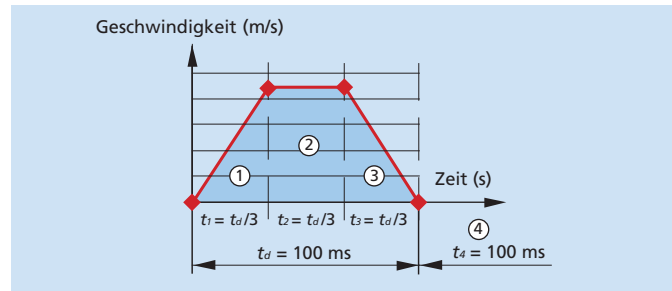
#### Definition des Geschwindigkeitsprofils

Zu Beginn ist es notwendig, das Geschwindigkeitsprofil der Lastbewegungen zu definieren.

Die Eigenschaften der Bewegungen müssen zu Beginn berücksichtigt werden. Wie hoch ist die maximale Geschwindigkeit? Wie stark soll die Masse beschleunigt werden? Wie lang ist die Bewegung, welche die Masse durchführen soll? Wie lange ist die Ruhezeit?

Sind die Parameter der Bewegung nicht klar definiert, wird empfohlen, ein dreieckiges oder trapezförmiges Profil zu verwenden.

Nehmen wir eine Last von 500 g, die in 100 ms 20 mm weit auf einer Neigung mit einem Steigungswinkel von 20° bewegt werden muss und berücksichtigen ein trapezförmiges Geschwindigkeitsprofil.



	Einheit	①	②	③	④
s (Bewegungsdistanz)	m	0,005	0,01	0,005	0
v (Geschwindigkeit)	m/s	0 ... 0,3	0,3	0,3 ... 0	0
a (Beschleunigung)	m/s <sup>2</sup>	9,0	0	-9,0	0
t (Zeit)	s	0,033	0,033	0,033	0,100

#### Berechnungsbeispiel

Geschwindigkeit und Beschleunigung für Teil ①

$$v_{max} = 1,5 \cdot \frac{s}{t} = 1,5 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{100 \cdot 10^{-3}} = 0,3 \text{ m/s}$$

$$a = 4,5 \cdot \frac{s}{t^2} = 4,5 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{(100 \cdot 10^{-3})^2} = 9 \text{ m/s}^2$$

#### Kräfteberechnung

Unter der Annahme einer Last von 500 g und einem Reibungskoeffizienten von 0,2 ergeben sich folgende Kräfte:

Kraft	Einheit	Symbol	vorwärts				rückwärts			
			①	②	③	④	①	②	③	④
Reibung	N	$F_f$	0,94	0,94	0,94	-0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Parallel	N	$F_x$	1,71	1,71	1,71	1,71	-1,71	-1,71	-1,71	-1,71
Beschleunigung	N	$F_a$	4,5	0	-4,5	0	4,5	0	-4,5	0
Gesamt	N	$F_t$	7,15	2,65	-1,85	0,77	3,73	-0,77	-5,27	-0,77

#### Berechnungsbeispiel

Reibungs- und Beschleunigungskräfte für Teil ①

$$F_f = m \cdot g \cdot \mu \cdot \cos(\alpha) = 0,5 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot \cos(20^\circ) = 0,94 \text{ N}$$

$$F_a = m \cdot a = 0,5 \cdot 9 = 4,5 \text{ N}$$

#### Auswahl des Motors

Da nun die Kräfte der drei Teile des Profils bekannt sind, können die erforderlichen Spitzen- und Dauerkräfte in Abhängigkeit der Zeit jedes Teils berechnet werden.

Die Spitzenkraft ist die größte Kraft, die während des Arbeitszyklus erreicht wird.

$$F_p = \max(|7,15|, |2,65|, |-1,85|, |0,77|, |3,73|, |-0,77|, |-5,27|, |-0,77|) = 7,15 \text{ N}$$

# Lineare DC-Servomotoren

## Technische Informationen

Die Dauerkraft wird durch folgende Formel errechnet:

$$F_e = \sqrt{\frac{\sum (t \cdot F_t^2)}{2 \cdot \sum t}} = \dots$$

$$F_e = \sqrt{\frac{0,033 \cdot 7,15^2 + 0,033 \cdot 2,65^2 + 0,033 \cdot (-1,85)^2 + 0,1 \cdot 0,77^2 + 0,033 \cdot 3,73^2 + 0,033 \cdot (-0,77)^2 + 0,033 \cdot (-5,27)^2 + 0,1 \cdot (-0,77)^2}{2 \cdot (0,033 + 0,033 + 0,033 + 0,1)}} = 2,98 \text{ N}$$

Mit diesen beiden Werten ist es nun möglich, den geeigneten Motor für die Anwendung zu finden.

Linearer DC-Servomotor **LM 1247-020-11**

$s_{max.} = 20 \text{ mm}$  ;  $F_{e \text{ max.}} = 3,6 \text{ N}$  ;  $F_{p \text{ max.}} = 10,7 \text{ N}$

### Temperaturberechnung der Spulenwicklung

Um die Temperatur der Spulenwicklung zu ermitteln, muss der Dauerstrom berechnet werden. Wenn man für das vorliegende Beispiel eine Dauerkraft von 6,43 N/A berücksichtigt, ergibt sich daraus:

$$I_e = \frac{F_e}{k_f} = \frac{2,98}{6,43} = 0,46 \text{ A}$$

Mit einem elektrischen Widerstand von 13,17  $\Omega$ , einem gesamten Wärmewiderstand von 26,2  $^{\circ}\text{C/W}$  ( $R_{th1} + R_{th2}$ ) und einem reduzierten Wärmewiderstand  $R_{th2}$  um 55% ( $0,45 \cdot R_{th2}$ ), ergibt sich eine Spulentemperatur von:

$$T_c(I) = \frac{R \cdot (R_{th1} + 0,45 \cdot R_{th2}) \cdot (I_e \cdot \frac{\sqrt{3}}{2})^2 \cdot (1 - \alpha_{22} \cdot T_{22}) + T_{22}}{1 - \alpha_{22} \cdot R \cdot (R_{th1} + 0,45 \cdot R_{th2}) \cdot (I_e \cdot \frac{\sqrt{3}}{2})^2} = \dots$$

$$T_c(I) = \frac{13,17 \cdot (8,1 + 0,45 \cdot 18,1) \cdot (0,46 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2})^2 \cdot (1 - 0,0038 \cdot 22) + 22}{1 - 0,0038 \cdot 13,17 \cdot (8,1 + 0,45 \cdot 18,1) \cdot (0,46 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2})^2} = 113,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

## Motorkennlinien

### Bewegungsprofil:

Trapezförmig ( $t_1 = t_2 = t_3$ ), vorwärts und rückwärts

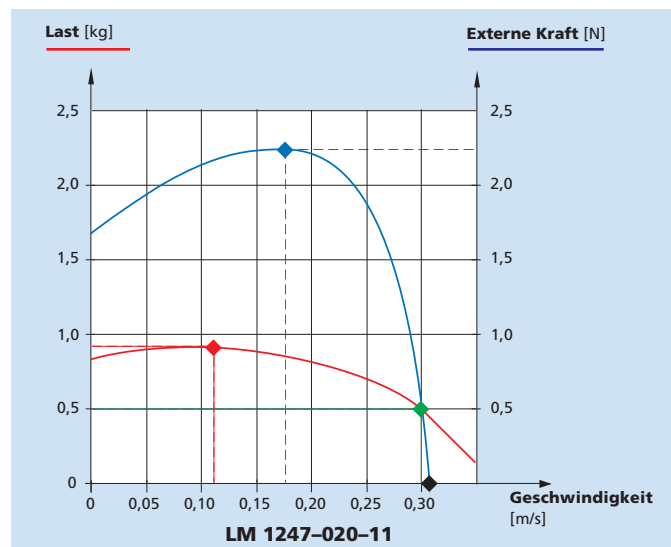
Motorkennlinien-Diagramm für den linearen DC-Servomotor mit den folgenden Parametern:

Bewegungsstrecke: 20 mm

Reibungskoeffizient: 0,2

Neigungswinkel: 20°

Ruhezeit: 0,1 s



### Lastkurve

Die Lastkurve ermöglicht es, die maximal zulässige Last für eine bestimmte Geschwindigkeit bei 0 N externer Kraft abzulesen.

Die Kurve zeigt eine maximale Last (♦) von 0,87 kg bei einer Geschwindigkeit von 0,11 m/s.

### Externe Kraftkurve

Die externe Lastkurve ermöglicht es, die maximal zulässige externe Kraft, bei einer bestimmten Geschwindigkeit mit einer Last von 0,5 kg abzulesen.

Die Kurve zeigt, dass die maximal erreichbare Geschwindigkeit (♦) ohne externe Kräfte bei einer Masse von 0,5 kg bei 0,31 m/s liegt.

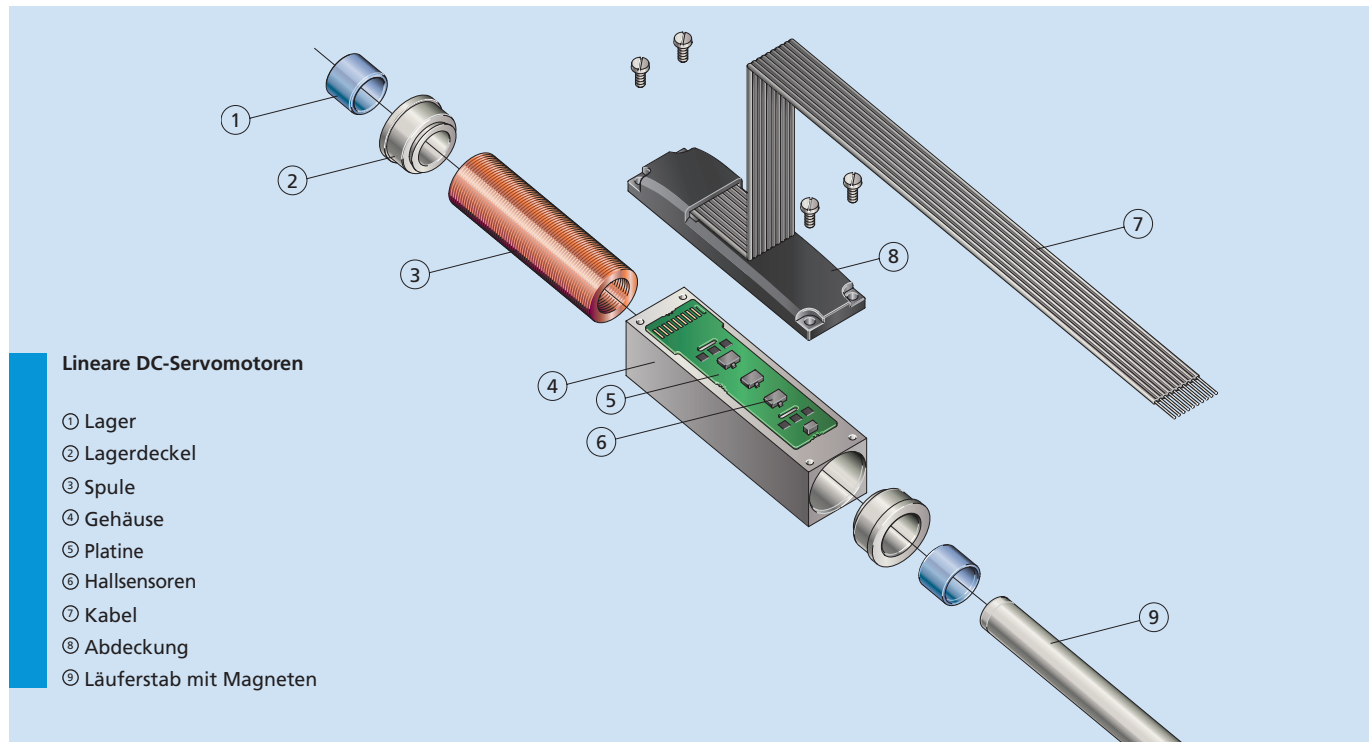
Somit liegt die maximal anzuwendende externe Kraft (♦) bei einer Geschwindigkeit von 0,3 m/s bei 0,5 N.

Die externe Spitzenkraft (♦) wird bei einer Geschwindigkeit von 0,17 m/s erreicht und entspricht einer maximal anzuwendenden externen Kraft von 2,27 N.



## Lineare DC-Servomotoren

QUICKSHAFT® Technologie



### Funktion

QUICKSHAFT® kombiniert die Geschwindigkeit und Robustheit eines pneumatischen Systems mit der Flexibilität und der Zuverlässigkeit eines elektromechanischen Linearmotors. Die innovative Konstruktion mit einer selbsttragenden Dreiphasenspule und antimagnetischem Metallgehäuse resultiert in einer außerordentlichen Leistung.

Dank dem hervorragenden linearen Kraft-/ Stromverhältnis und dem Fehlen statischer Rastmomente ist dieser Antrieb besonders ideal für den Einsatz bei Mikro-Positionieraufgaben geeignet. Die Positionskontrolle der linearen QUICKSHAFT® DC-Servomotoren ist über die integrierten Hallsensoren einfach zu realisieren.

Die Lebensdauer der linearen DC-Servomotoren wird hauptsächlich durch die Lebensdauer der Hülsenlager beeinflusst. Deren Verschleiß hängt stark von der Betriebsgeschwindigkeit und der Last des Läuferstabs ab.

### Nutzen und Vorteile

- Hohe Dynamik
- Ausgezeichnetes Leistungs-/ Volumenverhältnis
- Keine Rastmomente vorhanden
- Antimagnetisches Metallgehäuse
- Kompakte und robuste Konstruktion
- Benötigt keine Schmierung
- Einfacher Einbau und Inbetriebnahme

### Produktkennzeichnung



LM	Linearer Motor
12	Breite des Motors □ [mm]
47	Länge des Motors [mm]
020	Hublänge [mm]
11	Sensortyp: Linear

LM1247-020-11

# Präzisionsgetriebe



# Präzisionsgetriebe

## Technische Informationen

### Allgemeine Angaben

#### Lebensdauer

Die Lebensdauer eines Getriebes und einer Motor-Getriebe-Kombination hängt von folgenden Faktoren ab:

- Eingangsdrehzahl
- Abtriebsdrehmoment
- Betriebsbedingungen
- Umgebung und Einbau in andere Systeme

Da bei jeder Anwendung außerordentlich viele Parameter mitspielen, ist es fast unmöglich, die Lebensdauer eines bestimmten Getriebes oder einer Motor-Getriebe-Kombination genau anzugeben. Um die Lebensdauer zu erhöhen, stehen zahlreiche Wahlmöglichkeiten zur Verfügung: Kugellager, ausschließlich Metallzahnräder, Sonderfettung usw.

#### Lager – Schmierung

Die Getriebe sind entweder mit Sinter- oder Kugellager an der Abtriebswelle lieferbar. Wo angegeben, sind Kugellager mit Federscheiben vorgespannt, um die Laufeigenschaften der Lager zu verbessern.

Eine höhere axiale Wellenbelastung oder eine höhere Aufpresskraft als in den Datenblättern spezifiziert, hebt die Vorspannung der Kugellager auf. Die Satellitenzahnäder der Planetengetriebe der Serien 38/1 und 38/2 werden einzeln auf Sintergleitlagern geführt. Die Zahnäder der Getriebeserie 38A und 44/1 laufen auf Kugel- und Nadellagern. Alle Lager sind für die vorgesehene Lebensdauer geschmiert. Ein Nachschmieren ist unnötig und zu vermeiden. Die Verwendung nicht empfohlener Schmiermittel kann sich negativ auf Funktion und Lebensdauer der Getriebe auswirken. Die Standardschmierung gewährt eine optimale Lebensdauer bei einem Minimum an Stromaufnahme im Leerlauf. Für den Betrieb in extremen Temperaturbereichen und unter Vakuum sind Getriebe mit Spezialfettung erhältlich.

### Erläuterungen zu den Datenblättern

#### Maße ohne Toleranzangabe

Die Toleranzen entsprechen ISO 2768 mittel.

≤ 6	= ± 0,1 mm
≤ 30	= ± 0,2 mm
≤ 120	= ± 0,3 mm

#### Eingangsdrehzahl

Die maximale empfohlene Eingangsdrehzahl für Dauerbetrieb dient als Richtlinie. Es ist zulässig, das Getriebe mit höheren Drehzahlen zu betreiben. Im Interesse einer optimalen Lebensdauer sollte jedoch bei Anwendungen,

die Dauerbetrieb und lange Lebensdauer erfordern, die empfohlene Drehzahl berücksichtigt werden.

#### Kugellager

Falls nicht extra aufgeführt, entsprechen die Werte für Belastung und Lebensdauer den Angaben der Kugellagerhersteller.

#### Betriebstemperaturbereich

Der Standardbereich ist auf den Datenblättern vorgegeben. Die Werte für Spezialausführungen mit erweiterten Temperaturbereichen können auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

#### Untersetzungsverhältnis

Die in den Tabellen aufgeführten Werte sind nominal und gerundet. Das genaue Untersetzungsverhältnis kann auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

#### Ausgangsdrehmoment

Dauerbetrieb:

Das Dauerdrehmoment stellt die dauerhaft zulässige Belastung des Getriebes dar. Eine Überschreitung dieses Wertes verkürzt die Lebensdauer.

Kurzzeitbetrieb:

Das Kurzzeitdrehmoment kann nur für eine kurze Zeit gehalten werden. Die Intervalle sollten 5 % des Dauerbetriebszyklus nicht überschreiten.

#### Drehrichtung, reversibel

Alle Getriebe sind für Rechts- und Linkslauf gleich gut geeignet. Die Angabe bezieht sich auf den Drehsinn der Abtriebswelle (auf das Wellenende gesehen), wobei der Motor immer rechtslaufend ist.

#### Getriebeispiel

Das Getriebeispiel ist definiert als der Wert, um den die Weite des Zahnzwischenraums die Weite der in Eingriff befindlichen Zähne auf dem Wälzkreisdurchmesser übersteigt.

Getriebeispiel ist nicht zu verwechseln mit der Elastizität oder der Torsionssteifigkeit des Systems.

Grundsätzlich dient das Spiel dazu, ein Verklemmen zu vermeiden. Ein geringes Spiel ist notwendig, um Platz für die Schmierung zu schaffen und unterschiedliche Ausdehnungen zwischen den Getriebekomponenten zu ermöglichen. Das Spiel wird an der Ausgangswelle gemessen.

## Präzisionsgetriebe

### Technische Informationen

#### Spielarme Getriebe

Die Stirnradgetriebe der Serien 08/3, 12/5, 15/8, 16/8 und 22/5 mit zwei Getriebepfaden sind als spielarm zu bezeichnen, wenn diese mit FAULHABER DC-Mikromotoren vorgespannt sind. Vorgespannte Getriebe bewirken eine geringfügige Reduzierung im gesamten Wirkungsgrad und in der Belastbarkeit.

Die Konstruktion der spielarmen Getriebe von FAULHABER bietet, mit einigen Einschränkungen, ein ausgezeichnetes sowie einzigartiges Produkt, das für viele Positionierungsanwendungen mit niedrigem Drehmoment und hoher Präzision einsetzbar ist.

Aufgrund der Herstelltoleranzen können vorgespannte Getriebe höhere und unregelmäßige interne Reibungsdrehmomente erzeugen, die wiederum zu einem höheren und wechselnden Stromverbrauch im Motor führen.

Die Vorspannung, insbesondere bei kleinen Untersetzungsverhältnissen ist sehr empfindlich. Die Vorspannung wird nach einem definierten Einlaufprozess für beide Drehrichtungen eingestellt. Daher sind vorgespannte Stirnradgetriebe nur mit werksseitig montierten Motoren verfügbar.

Der echte spielarme Betrieb ist nur bei neuen Getrieben möglich. In Abhängigkeit von der Applikation kann während des Betriebs ein leichtes Spiel auftreten, sobald an den Zahnrädern Verschleiß auftritt. Falls diese Abnutzung nicht zu groß ist, kann ein erneutes Vorspannen in Betracht gezogen werden, um die ursprüngliche Spielarmut wiederherzustellen.

#### Hinweise für die Montage

Bei der Montage eines Stirnradgetriebes an einen Motor muss dieser sehr langsam laufen. Dadurch lässt sich eine Beschädigung der Eingangszahnräder durch schlechten Eingriff des Motorritzels vermeiden. Die Getriebe werden durch Verwendung eines geeigneten Klebstoffes (z. B. Loctite 638) mit dem Motor gesichert.

Planetengetriebe dürfen dagegen nicht bei laufendem Motor montiert werden. Vor der Getriebemontage müssen die Zahnräder der Eingangsstufe mit dem Motorritzel in die richtige Lage zueinander gebracht werden, um Beschädigungen zu vermeiden.

Es wird empfohlen, die Motoren und Getriebe werksseitig montieren und prüfen zu lassen. Dies stellt eine optimale Abstimmung sowie einen möglichst niedrigen Stromverbrauch sicher.

Bei stirnseitiger Befestigung eines Getriebes ist darauf zu achten, die angegebene Gewinde-Einschraubtiefe nicht zu überschreiten. Ein zu tiefes Einschrauben kann zu Beschädigungen führen. Getriebe mit Metallgehäuse können radial mit einer Stellschraube gesichert werden.

### Auswahl des geeigneten Getriebes

Dieses Kapitel beschreibt Schritt für Schritt, wie bei der Auswahl des geeigneten Getriebes vorzugehen ist.

#### Anwendungsdaten

Die für jede Anwendung wesentlichen Daten sind:

Erforderliches Drehmoment	$M$	[mNm]
Erforderliche Drehzahl	$n$	[min <sup>-1</sup> ]
Einschaltdauer	$\delta$	[%]
Max. verfügbarer Platz	Durchmesser/Länge	[mm]
Wellenbelastung	radial/axial	[N]

Das vorliegende Beispiel geht von folgenden Anwendungsdaten aus:

Abtriebsdrehmoment	$M$	=	120 mNm
Drehzahl	$n$	=	30 min <sup>-1</sup>
Einschaltdauer	$\delta$	=	100%
Max. verfügbarer Platz	Durchmesser	=	18 mm
	Länge	=	60 mm
Wellenbelastung	radial	=	20 N
	axial	=	4 N

Um die Berechnung zu vereinfachen, wird in diesem Beispiel vom Dauerbetrieb ausgegangen.

#### Vorauswahl

Aus dem Katalog wird ein Getriebe ausgewählt, dessen Abtriebsdrehmoment im Dauerbetrieb größer ist als das der Anwendung. Im Fall von intermittierendem Betrieb geht man bei der Auswahl des Getriebes von dem Abtriebsdrehmoment für intermittierenden Betrieb aus. Die Werte für die Wellenbelastung und Gehäuseabmessungen, Gesamtlänge mit Motor müssen ebenfalls die Mindestanforderungen erfüllen. Für diese Anwendung wird das Planetengetriebe 16/7 gewählt.

Abtriebsdrehmoment, Dauerbetrieb	$M_{max.}$	=	300 mNm
Max. empf. Eingangsdrehzahl für			
– Dauerbetrieb	$n$	≤	5 000 min <sup>-1</sup>
– Wellenbelastung	radial	≤	30 N
	axial	≤	5 N

#### Berechnung des Untersetzungsverhältnisses

Um das theoretische Untersetzungsverhältnis zu berechnen, teilt man die für Dauerbetrieb empfohlene maximale Eingangsdrehzahl durch die gewünschte Abtriebsdrehzahl.

$$i_N = \frac{\text{Empfohlene max. Eingangsdrehzahl}}{\text{gewünschte Abtriebsdrehzahl}}$$

Aus dem Datenblatt für das Getriebe wird ein Untersetzungsverhältnis gewählt, das gleich groß oder kleiner als die berechnete Untersetzung ist.

Im vorliegenden Beispiel wurde das Untersetzungsverhältnis 159 : 1 gewählt.

#### Berechnung der Eingangsrehzahl $n_{input}$

$$n_{input} = n \cdot i \quad [\text{min}^{-1}]$$

$$n_{input} = 30 \cdot 159 = 4\,770 \quad \text{min}^{-1}$$

#### Berechnung des Eingangsrehmomentes $M_{input}$

$$M_{input} = \frac{M \cdot 100}{i \cdot \eta} \quad [\text{mNm}]$$

Der Wirkungsgrad dieses Getriebes beträgt 60 %, also ist:

$$M_{input} = \frac{120 \cdot 100}{159 \cdot 60} = 1,26 \quad \text{mNm}$$

Die Werte stehen mit der Motorberechnung in Beziehung:

Eingangsrehzahl und	$n_{input}$	= 4 770	min <sup>-1</sup>
Eingangsrehmoment	$M_{input}$	= 1,26	mNm

Der für das ausgewählte Getriebe geeignete Motor muss mindestens das Doppelte des erforderlichen Eingangsrehmomentes liefern können.

In dem vorliegenden Beispiel erzeugt der DC-Kleinstmotor 1624 E 024 S mit 14 VDC die gewünschte Drehzahl und das gewünschte Drehmoment.

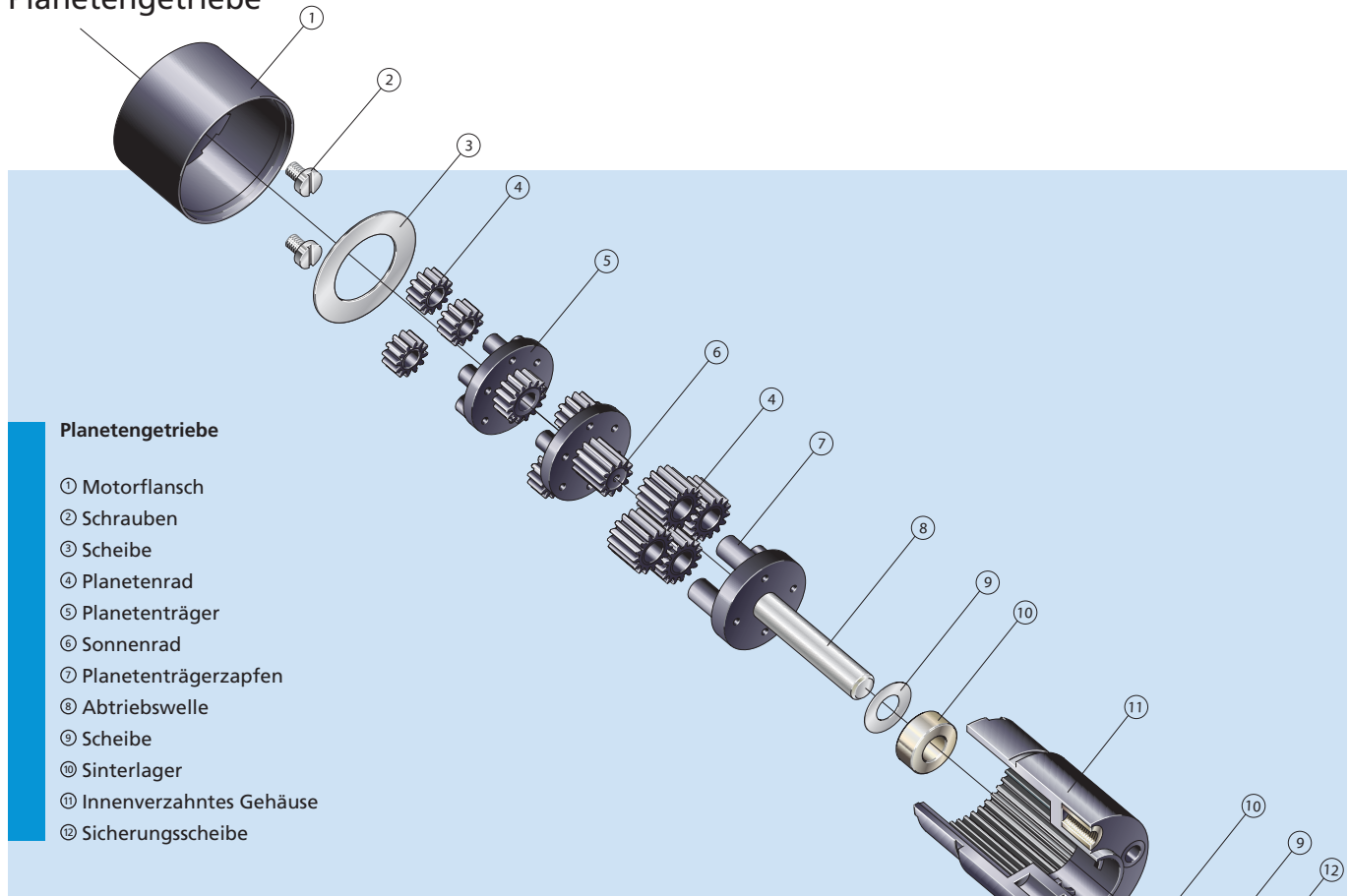
In der Praxis ist die Berechnung des idealen Motor-Getriebe-Antriebs nicht immer möglich. Detaillierte Werte für Drehmoment und Drehzahl sind meistens nicht klar definiert.

Es empfiehlt sich, geeignete Komponenten nach einer ersten Schätzung auszuwählen und die Einheiten dann in der Anwendung mit unterschiedlicher Versorgungsspannung zu testen, bis die gewünschten Werte für Drehzahl und Drehmoment erreicht sind.

Durch Aufzeichnung der angelegten Spannung und der Stromwerte können wir Ihnen helfen, die ideale Motor-Getriebe-Kombination zu finden.

## Präzisionsgetriebe

### Planetengetriebe



### Funktion

Durch ihre robuste Bauweise eignen sich FAULHABER Metall-Planetengetriebe in Kombination mit FAULHABER DC-Kleinstmotoren ideal für Anwendungen, bei denen höchste Drehmomente gefragt sind. Um den Geräuschpegel bei höheren Drehzahlen zu reduzieren, sind die Zahnräder der Eingangsstufe in Kunststoff ausgeführt. Für höchste Drehmomente, Vakuumanwendungen oder hohe Temperaturen kann die Eingangsstufe in Stahl gewählt werden. Sonderfettungen unterstützen bei schwierigen Betriebsbedingungen.

Bei mittleren Abtriebsmomenten bieten FAULHABER Kunststoff-Planetengetriebe mit ihrer außergewöhnlichen Materialkombination das beste Preis-/Leistungsverhältnis. Auch bei Antrieben, bei denen das Leistungsgewicht eine Rolle spielt, fällt ein FAULHABER Kunststoffplanetengetriebe kaum ins Gewicht. Die Montage „Getriebe/Motor“ erfolgt sehr einfach über einen stirnseitig aufschraubbaren Getriebeflansch.

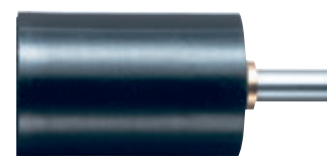


**Metall-Planetengetriebe**  
Serie 12/4

### Nutzen und Vorteile

- Je nach Anforderung wahlweise als Metall- oder Kunststoffgetriebe
- Verwendung von Hochleistungskunststoffen und Keramikbauteilen
- Unterschiedliche Abtriebslager erhältlich (Sinter-, Kugel- oder Keramiklager)
- Sonderversionen mit Spezialfettung für erweiterten Anwendungsbereich verfügbar
- Kompetente Realisierung von kundenspezifischen Ausführungen

### Produktkennzeichnung



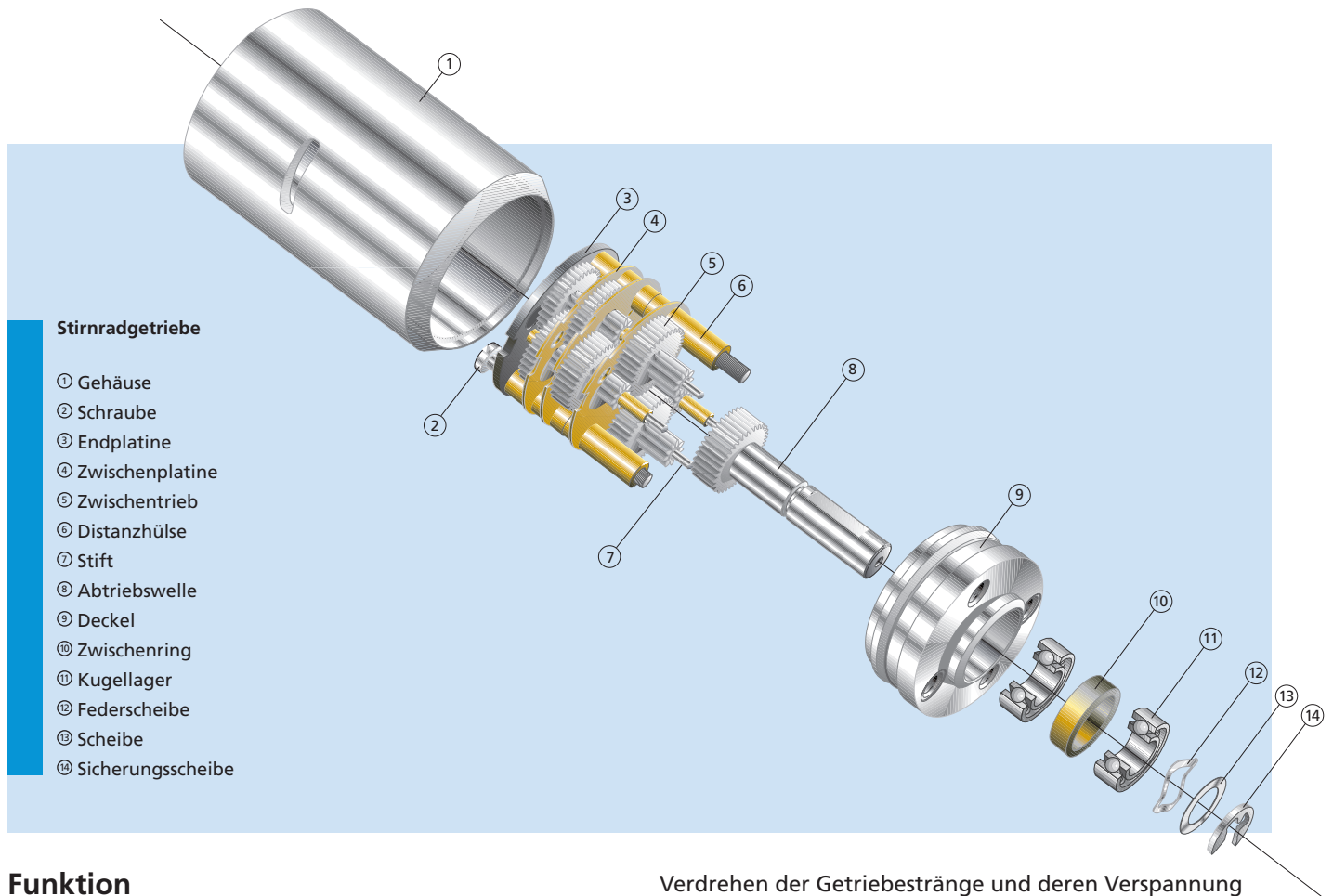
26	Getriebedurchmesser [mm]
A	Getriebeausführung
64:1	Untersetzungsverhältnis

26A 64:1



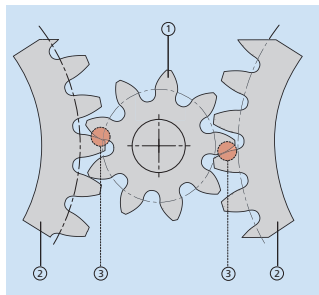
## Präzisionsgetriebe

### Stirnradgetriebe



### Funktion

Passend zu den FAULHABER DC-Kleinstmotoren steht eine breite Auswahl hochwertiger FAULHABER Stirnradgetriebe zur Verfügung. Die Ganzmetall-Konstruktionen überzeugen durch ihren gleichmäßigen und ruhigen Lauf. Aufgrund der außerordentlichen Präzision dieser Getriebe wird ein hoher Wirkungsgrad erzielt, wodurch eine geringe Stromaufnahme der Motor-Getriebe-Kombinationen ermöglicht wird.



#### Spielarme Stirnradgetriebe

- ① Motorritzel
- ② Zahnräder der Eingangsstufe
- ③ Spielarm vorgespannt

Eine spezielle Variante sind die spielarmen FAULHABER Stirnradgetriebe. Diese sind als zweistängige Stirnradgetriebe mit Zahnrädern und Gehäuse aus Metall aufgebaut. Das Getriebespiel wird auf ein Minimum reduziert mittels einer Vorspannung, die durch gegensinniges

Verdrehen der Getriebeestränge und deren Verspannung auf dem Motorritzel eingestellt wird. Dadurch sind sie ideal für Positionieraufgaben mit hoher Genauigkeit und geringem Drehmoment geeignet. Spielarm vorgespannte Getriebe sind nur mit werkseitig montierten Motoren lieferbar.

### Nutzen und Vorteile

- Sehr hohe Untersetzungen möglich
- Auch als spielarme Variante verfügbar
- Unterschiedliche Abtriebslager erhältlich (Sinter-, Kugel- oder Keramiklager)

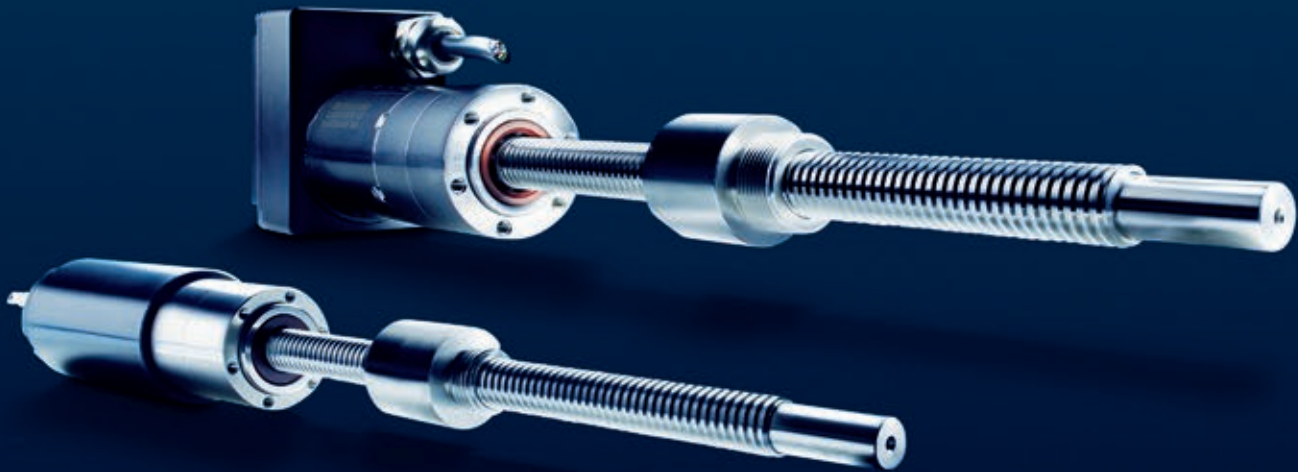
### Produktkennzeichnung



22	Getriebedurchmesser [mm]
/5	Getriebeausführung
377:1	Untersetzungsverhältnis

22/5 377:1

# Lineare Komponenten



# Kugelumlaufspindel

## Technische Informationen

### Allgemeine Angaben

#### Funktion:

Kugelumlaufspindeln (auch als Kugelgewindetriebe bezeichnet) wandeln Drehbewegungen in eine axiale Bewegung um. Kugelumlaufspindeln, die als Wälzschraubengetriebe ausgeführt sind, weisen gegenüber Gleitschraubengetrieben (wie Trapezspindeln oder metrische Spindeln), wegen der auftretenden niedrigeren Rollreibung einen sehr hohen Wirkungsgrad auf. Die hohe Fertigungspräzision ermöglicht darüber hinaus ein sehr niedriges Axialspiel und eine damit einhergehende sehr hohe Positioniergenauigkeit.

Die Produktreihe BS beinhaltet neben der Kugelumlaufspindel sowohl die Spindellagerung als auch die Ankuppung an den Motor. Das eingesetzte Duplexlager, eine Paarung von zwei spielfrei montierten Schrägkugellagern, ermöglicht die Aufnahme von axialen Zug- als auch Druckkräften. Die hochpräzise Stiftkupplung überträgt nahezu spielfrei das Motormoment an die Spindel.

#### Montage

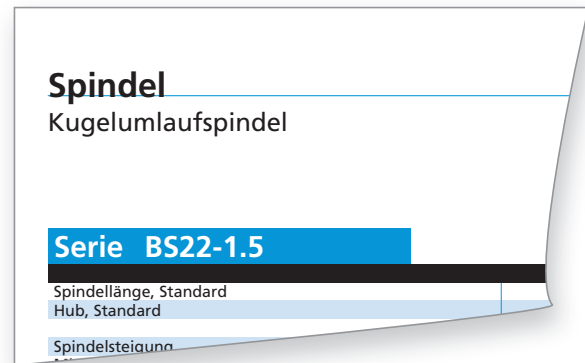
Zur Befestigung der Motor-Spindel-Kombination sind an der Stirnfläche des Gehäuses mehrere Gewindebohrungen vorgesehen.

Durch die hochpräzisen Laufbahnen und der spielarmen bis spielfreien Einstellung kann die Kugelgewindemutter radiale Abweichungen zwischen Spindelachse und eventuellen zusätzlichen Führungen eines Anbaus an die Mutter nicht ausgleichen. Hier ist bei Bedarf eine radiale Entkoppelung vorzusehen. Dies betrifft Abweichungen des radialen Abstandes (Fluchtungsabweichung) und Winkelabweichungen (Verkipfung) der Führungen.

Zur Reduzierung von radialen Kräften auf die Lagerung wird eine Abstützung der Spindel durch ein zusätzliches Lager empfohlen.

#### Handhabung

Bei den Kugelumlaufspindeln liegen die Laufbahnen der Kugeln frei. Aus diesem Grunde sind die Spindeln vor Verschmutzung zu schützen. Die Kugelgewindemutter darf nie, weder im Betrieb noch bei der Montage, über den Laufbahnbereich des Kugelgewindes hinausbewegt werden.



### Erläuterungen zu den Datenblättern

#### Spindellänge, Standard [mm]

Bezeichnet die Länge der Spindel zwischen Stirnfläche am Gehäuse und dem Ende der Kugelumlaufspindel.

#### Hub [mm]

Maximaler Weg, welchen die Kugelgewindemutter axial verfahren darf. Das metrische Befestigungsgewinde der Kugelgewindemutter kann dabei über den Laufbahnbereich des Kugelgewindes hinausragen.

#### Spindelsteigung $P_h$ [mm]

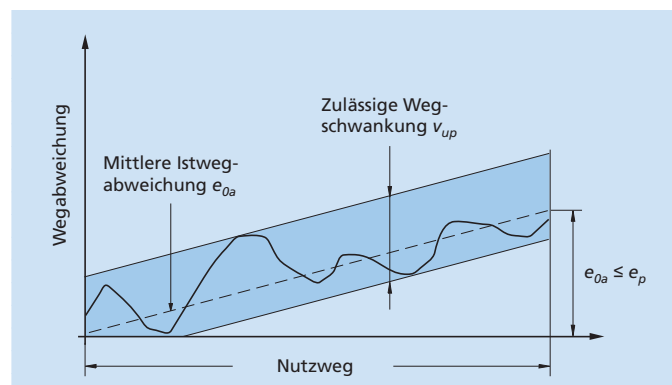
Axiale Verschiebung bei Drehung der Kugelgewindespindel relativ zur Kugelgewindemutter um  $360^\circ$ .

#### Mittlere Istwegabweichung, maximal zulässig $e_p$ [ $\mu\text{m}$ ]

Die gemittelte Abweichung des tatsächlich auftretenden Istweges vom idealen Sollweg wird als mittlere Istwegabweichung  $e_{0a}$  bezeichnet. Über den gesamten Nutzweg ist diese durch den Wert  $e_p$  begrenzt ( $e_{0a} \leq e_p$ ).

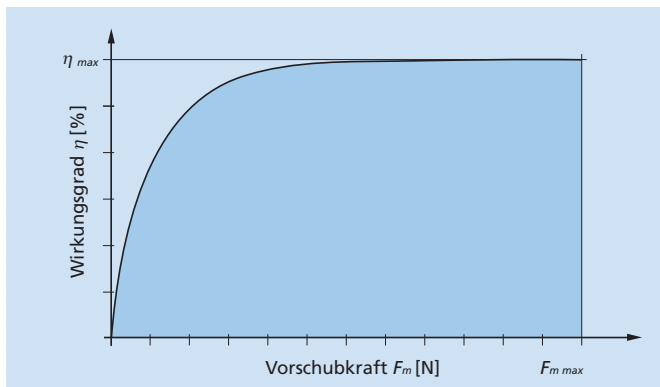
#### Zulässige Wegschwankung $V_{up}$ [ $\mu\text{m}$ ]

Parallel zur mittleren Istwegabweichung können kurzweilige Wegschwankungen auftreten. Die Bandbreite, nachfolgend als blaues Band dargestellt, ist durch den Wert der zulässigen Wegschwankung  $V_{up}$  begrenzt.



#### Wirkungsgrad $\eta_{max}$ [%]

Beschreibt das Verhältnis zwischen der aufgenommenen und der abgegebenen Leistung des Kugelgewindetriebes bei Vorschubkraft  $F_{m\ max}$ .



Zu beachten ist die Abhängigkeit des Wirkungsgrades von der Vorschubkraft, insbesondere für kleine Vorschubkräfte.

#### Betriebstemperaturbereich [°C]

Bezeichnet die minimal und maximal zulässige Betriebstemperatur des Kugelgewindetriebs.

#### Axiale Tragzahl, dynamisch $C_{am}$ [N]

Kennwert zur Berechnung der theoretischen Lebensdauer. Diese entspricht einer konstanten Vorschubkraft in gleichbleibender Richtung, bei welcher eine theoretische Lebensdauer von  $10^6$  Umdrehungen erreicht wird. Es liegt eine Erlebenswahrscheinlichkeit von 90 % zugrunde.

#### Axiale Tragzahl, statisch $C_{oa}$ [N]

Maximal zulässige axiale Belastung der Kugelgewindemutter. Sofern nicht anders angegeben, ist dies ebenfalls die maximal zulässige axiale Belastung der Kugelgewindespindel. Um die zulässige Belastung nicht zu überschreiten, ist gegebenenfalls der Motorstrom zu begrenzen.

#### Max. zulässige Wellenbelastung, radial $F_{rs\ max}$ [N]

Maximal zulässige radiale Belastung der Kugelgewindespindel. Diese ist abhängig vom einwirkenden Hebelarm.

#### Spindelmutter, Axialspiel [μm]

Maximale axiale Verschiebung der Kugelgewindemutter gegenüber der Kugelgewindespindel, wenn diese nicht zueinander verdreht werden. Diese wird mittels einer axialen Prüfkraft von 3,5 N ermittelt.

#### Max. zulässige Mutterbelastung, radial $F_{m\ max}$ [N]

Maximal zulässige radiale Belastung der Kugelgewindemutter.

#### Drehrichtung

Drehrichtung der Kugelgewindespindel. Betrachtung erfolgt aus Richtung Kugelgewindespindel. Bei einem Rechtsgewinde führt die Drehung der Antriebswelle im Uhrzeigersinn (= rechtsdrehend) zu einer Vergrößerung des Abstandes zwischen Antrieb und der Kugelgewindemutter.

#### Empfohlene Werte

Nachstehend sind die maximal empfohlenen Werte für Dauerbetrieb zur Erreichung einer optimalen Lebensdauer aufgeführt. Die Werte gelten unabhängig voneinander.

#### Vorschubkraft Dauerbetrieb $F_{m\ max}$ [N]

Bezeichnet die maximal empfohlene Vorschubkraft für den Dauerbetrieb.

#### Vorschubkraft Kurzzeitbetrieb $F_{p\ max}$ [N]

Bezeichnet die maximal zulässige Vorschubkraft. Um die zulässige Belastung nicht zu überschreiten, ist gegebenenfalls der Motorstrom zu begrenzen.

#### Spindeldrehzahl, max. [min<sup>-1</sup>]

Bezeichnet die maximal zulässige Spindeldrehzahl.

#### Vorschubgeschwindigkeit, max. [mm/s]

Bezeichnet die maximal zulässige Vorschubgeschwindigkeit. Diese ergibt sich aus dem Produkt der maximal zulässigen Spindeldrehzahl und der Spindelsteigung  $P_h$ .

# Kugelumlaufspindel

## Technische Informationen

### Berechnungen

#### Berechnung des Motorantriebsmomentes

Das mindestens erforderliche Motorantriebsmoment lässt sich nachfolgend ableiten:

$$M_{mot} = \frac{F_m \cdot P_h \cdot 100}{2\pi \cdot \eta}$$

Erforderliches Motordrehmoment	$M_{mot}$	[mNm]
Vorschubkraft (Dauerbetrieb)	$F_m$	[N]
Spindelsteigung	$P_h$	[mm]
Wirkungsgrad	$\eta$	[%]

#### Berechnung der Motorantriebsdrehzahl

$$n_{mot} = \frac{v \cdot 60}{P_h}$$

Erforderliche Motordrehzahl	$n_{mot}$	[min <sup>-1</sup> ]
Vorschubgeschwindigkeit	$v$	[mm/s]
Spindelsteigung	$P_h$	[mm]

#### Berechnung der theoretischen Lebensdauer

Die Lebensdauer hängt von folgenden Faktoren ab:

- Vorschubkraft
- Vorschubgeschwindigkeit
- Betriebsbedingungen
- Umgebung und Einbau in andere Systeme

Da bei jeder Anwendung außerordentlich viele Parameter zum Tragen kommen, ist eine genaue Lebensdauerbestimmung nicht möglich.

Als unverbindlichen Anhaltswert lässt sich eine theoretische Lebensdauer auf Basis der Norm ISO 3408 berechnen:

Die theoretische Lebensdauer wird allgemein durch die Anzahl der Umdrehungen definiert. Sie kann alternativ auch in Stunden oder als Fahrweg angegeben werden. Es liegt eine Erlebenswahrscheinlichkeit von 90 % zugrunde.

Die theoretische Lebensdauer wird wie folgt berechnet:

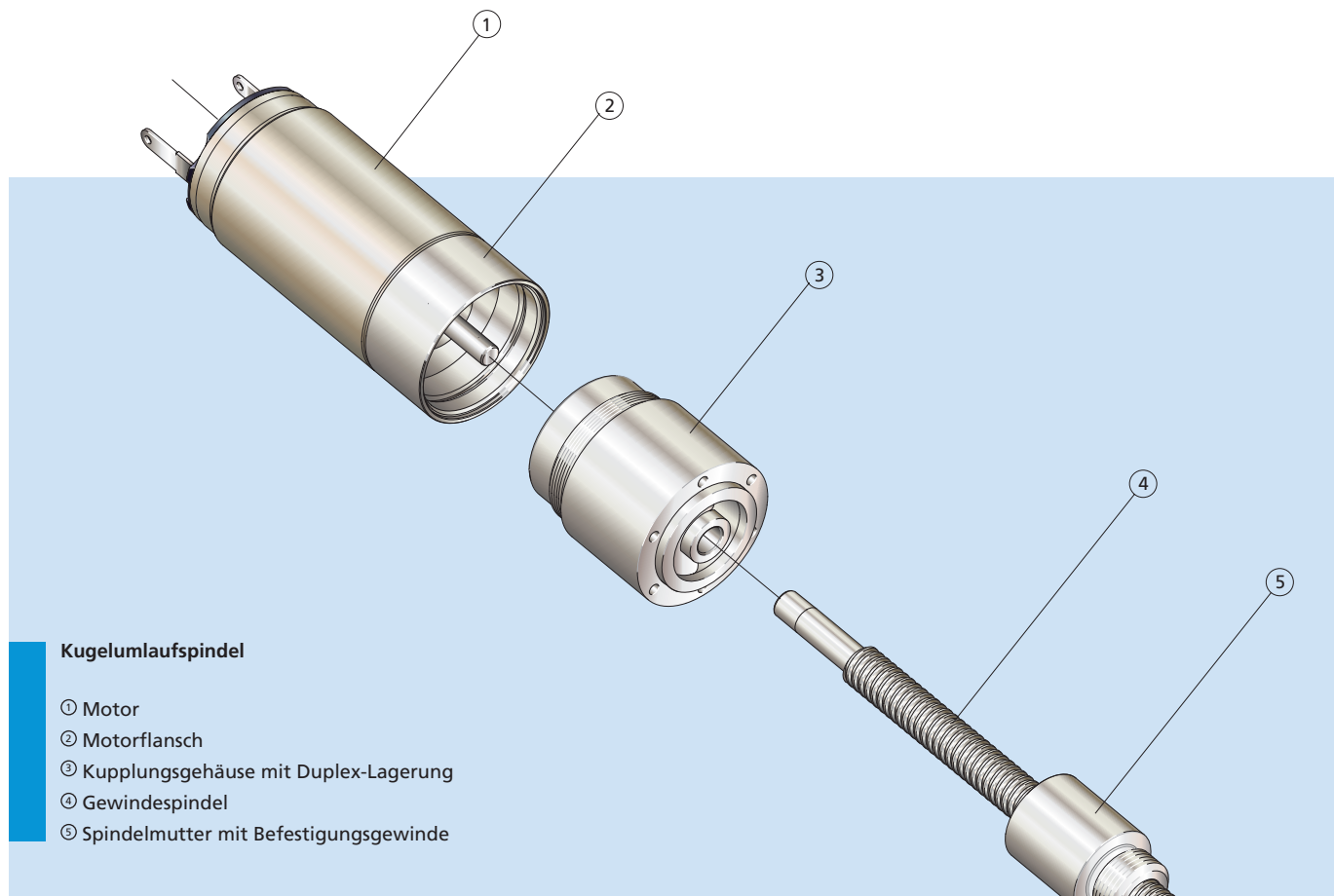
$$L_{rev} = \left( \frac{C_{am}}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6$$

$$L_h = \frac{L_{rev}}{n_m \cdot 60}$$

$$L_s = P_h \cdot \left( \frac{C_{am}}{F_m} \right)^3 \cdot 10^3$$

Lebensdauer in Umdrehungen	$L_{rev}$	[rev]
Lebensdauer in Stunden	$L_h$	[h]
Lebensdauer in Meter	$L_s$	[m]
Dynamische axiale Tragzahl	$C_{am}$	[N]
Vorschubkraft (Dauerbetrieb)	$F_m$	[N]
Durchschnittliche Motordrehzahl	$n_m$	[min <sup>-1</sup> ]
Spindelsteigung	$P_h$	[mm]

## Kugelumlaufspindel



### Funktion

Durch ihren hochgenauen mechanischen Aufbau sind FAULHABER Kugelumlaufspindeln ideal für hochpräzise Positionieraufgaben geeignet. Kombinationen mit DC-Kleinstmotoren mit hochauflösenden Encodern, integrierten Motion Controllern oder Schrittmotoren garantieren die optimale Systemlösung für anspruchsvollste Applikationsaufgaben bei optischen Systemen, im Sondermaschinenbau, der Automation oder in der Medizintechnik.

Die kompakte Bauform in Verbindung mit zahlreichen Modifikationsmöglichkeiten ergibt die perfekte Antriebslösung für ein breites Spektrum unterschiedlichster Anwendungen.

### Nutzen und Vorteile

- Hohe Lebensdauer
- Hoher Wirkungsgrad
- Variables Längenkonzept
- Sonderversionen mit Spezialschmierung für erweiterte Anwendungsbereiche
- Hohe Positioniergenauigkeit durch stark reduziertes Spiel

### Produktkennzeichnung



BS	Kugelumlaufspindel
22	Durchmesser Kupplung [mm]
1.5	Steigung Spindel [mm]

**BS 22-1.5**



## Spindeln und Optionen

### Technische Informationen

#### Spindelparameter

##### Auflösung (Weg/Schritt)

Mit einer Spindel kann in Verbindung mit einem PRECstep® Schrittmotor eine Positionierauflösung von 10 µm erreicht werden. Die Auflösung der Position ist von der Steigung und der Anzahl der Schritte pro Umdrehung abhängig:

$$P = \frac{P_h}{n}$$

Dabei entspricht  $P_h$  der Steigung der Spindel und  $n$  der Anzahl der Schritte pro Umdrehung des Motors.

Durch den Betrieb des Motors in Halb- oder Mikroschritten verbessert sich die Auflösung bis zu einem bestimmten Ausmaß. Die Auflösung muss mit einem weiteren Parameter abgestimmt werden: der Präzision.

##### Präzision

Die Genauigkeit des Schrittwinkels des Motors sowie das Axialspiel zwischen der Spindel und der Mutter sind die maßgeblichen Parameter, die die Präzision der Linearbewegung entscheidend beeinflussen. Die Genauigkeit des Schrittwinkels schwankt zwischen  $\pm 3$  und  $\pm 10$  % eines vollständigen Schrittwinkels, ist vom Motormodell abhängig (siehe Zeile 9 im Datenblatt zum Motor) und bleibt auch im Mikroschrittbetrieb unverändert. Sie ist nicht zu kumulieren.

##### Axialspiel

Mit den in diesem Katalog angebotenen optionalen Muttern wird ein Axialspiel von bis zu 30 µm gemessen. Durch die Implementierung eines Vorspannsystems (z. B. ein Federmechanismus) in das Design kann das Axialspiel jedoch ausgeglichen werden.

Spiefreiheit zwischen der Spindel und dem Motorgehäuse wird durch das Vorspannen der Motor-Kugellager sichergestellt (in der Standardkonfiguration: Federringe am hinteren Kugellager). Ein Axialspiel von bis zu 0,2 mm tritt auf, wenn die Vorschubkraft an der Spindel die Vorspannung des Kugellagers übersteigt.

Dies führt nicht zu Motorschäden und kann behoben werden und tritt nur bei Zugbelastung an der Welle auf. Auf Anfrage kann diese Einschränkung durch eine kundenspezifische Lösung umgangen werden.

Um zu vermeiden, dass der Motor irreparabel beschädigt wird, sollte die maximale Axiallast stets unter der maximalen Schubkraft bleiben, die der Motor mit einer montierten Spindel erzeugen kann.

#### Spindel

Linearpositioniereinheit  
PRECstep® Technologie

##### Serie M2 x 0,2 x L1

Nominaldurchmesser	2,0
Spindelsteigung	0,2
Spindelmaterial	Bestf.

##### Reversierbetrieb

Ein Reversierbetrieb der Motoren bei gleichzeitiger axialer Last an der Spindel ist nicht möglich. Das Verhältnis zwischen Steigung und Durchmesser verbietet dies.

##### Vorschub/Geschwindigkeit-Kurven

Der Vorschub, den ein Linearpositioniersystem liefern kann, ist von der Art der ausgewählten Spindel und des ausgewählten Schrittmotors abhängig. Dieser Katalog enthält für jede einzelne Lösung die Vorschub/Geschwindigkeit-Kurven. Bei diesen Kurven sind ein Sicherheitsfaktor von 40% für das Motordrehmoment sowie ein üblicher Wirkungsgrad der Spindel in der Kalkulation bereits berücksichtigt.

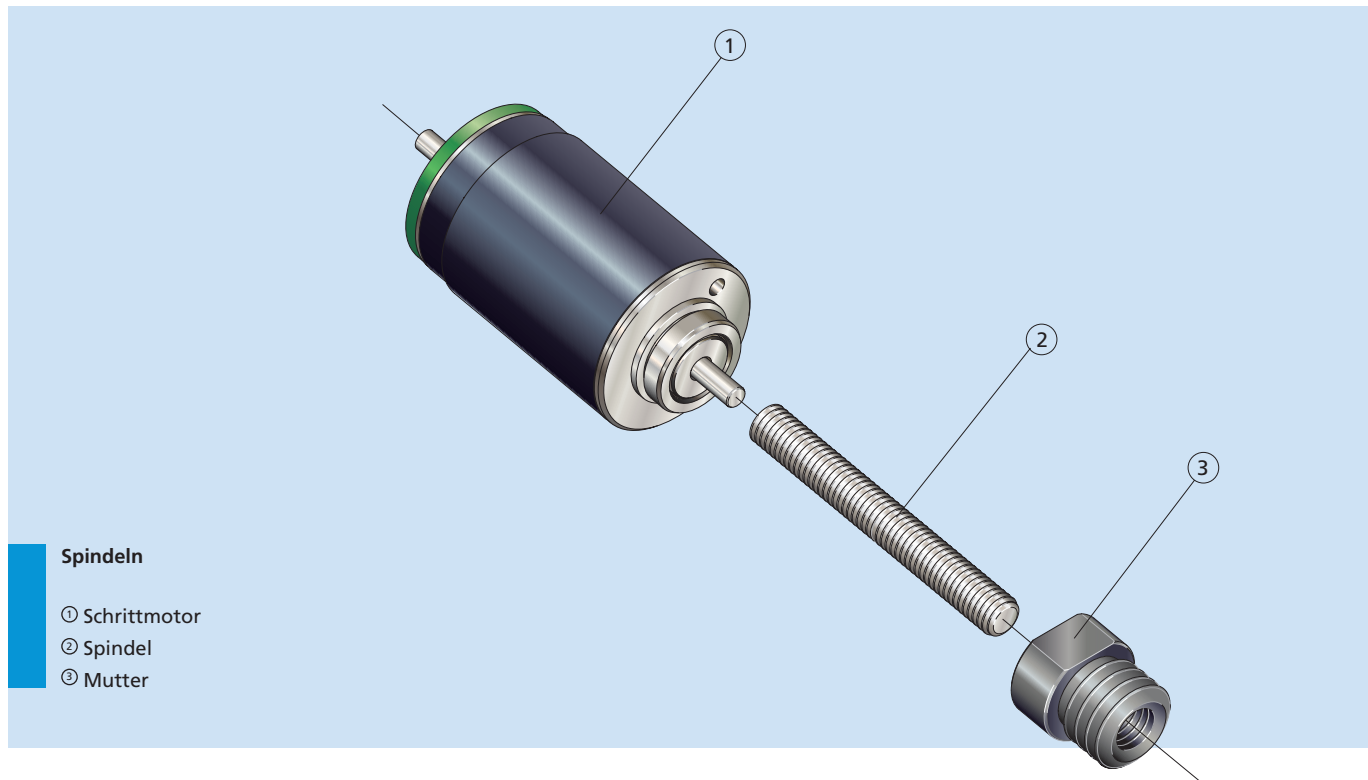
##### Lagerbund für Lager

Im Idealfall sollten in der Anwendung die Radiallasten abgefangen werden und an der Spindel nur die Axiallasten wirken. Wenn dies nicht der Fall ist, können am vorderen Spindelende Lagerbunde für entsprechende Lager angebracht werden, um Radiallasten abfangen zu können. In dieser Konfiguration muss besonders die Ausrichtung zwischen Motor und Lager beachtet werden, damit sich die erreichbaren Axialkräfte nicht verschlechtern. Angaben zu den geeigneten Kugellagern enthält das entsprechende Datenblatt für das optionale Zubehör.

##### Mutter

Die in diesem Katalog enthaltenen optionalen Muttern sind mit einer Fläche versehen, damit sie sich in der Anwendung nicht drehen können. Alternativ sind Gewindebohrungen in der Anwendung ebenfalls geeignet, da metrische Innengewinde leicht herzustellen sind.

## Spindeln und Optionen



### Funktion

Schrittmotoren können für mehr als nur rein rotative Applikationen eingesetzt werden. So entsteht in Kombination mit Spindeln ein hochpräzises Linearpositioniersystem, das eine Reihe von Vorzügen bietet, wie z. B. offener Regelkreis, hohe Lebensdauer, hohe Drehmomentdichte usw.

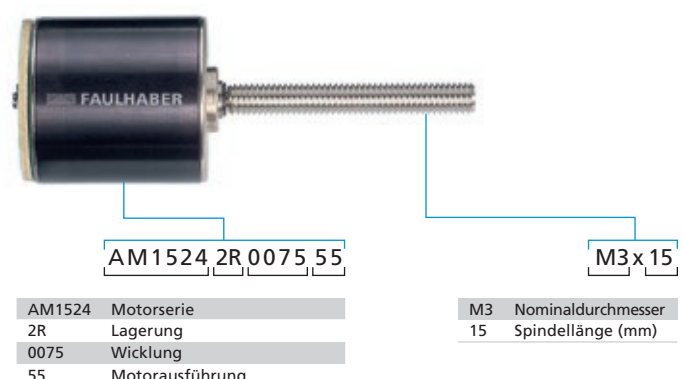
Alle mit den Schrittmotoren kombinierbaren Spindeln basieren auf metrischen Abmessungen (M1,2 bis M3) und sind speziell für den Einsatz mit PRECIsStep® Schrittmotoren konzipiert. Die Technik, mit der die Spindeln produziert werden, gewährleistet Präzision und Qualität auf allerhöchstem Niveau. Standardlängen sind in großer Auswahl ab Lager lieferbar, kundenspezifische Anpassungen sind auf Anfrage erhältlich.

Eine solche Kombination ist prädestiniert für Anwendungsbereiche, in denen eine exakte lineare Bewegung, wie z. B. bei Objektiveneinstellungen (zoomen, fokussieren), für Mikroskopeinheiten oder in der Medizintechnik, benötigt wird.

### Nutzen und Vorteile

- Kosteneffizienter Positionierantrieb ohne Encoder
- Hohes Maß an Genauigkeit
- Breite Palette an Spindeln verfügbar
- Kurze Lieferzeiten bei Standardlängen
- Hohe Flexibilität durch optionale Muttern und Kugellager
- Individuelle Längen auf Anfrage

### Produktkennzeichnung



# Encoder



# Encoder

## Technische Informationen

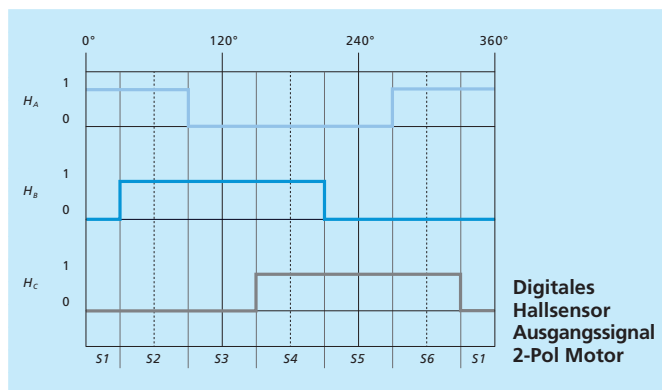
### Allgemeine Angaben

FAULHABER Motoren sind mit einer Vielfalt von Sensoren und Encodern verfügbar zur Lösung verschiedenster Antriebsaufgaben – von einer Drehzahlregelung bis zur hochgenauen Positionierung.

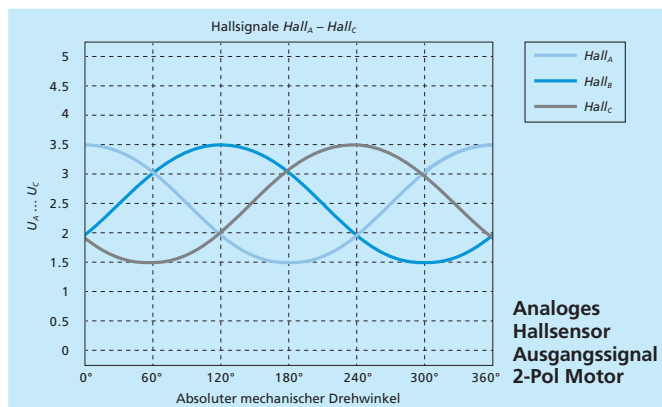
#### Sensoren und Encoder

FAULHABER Motoren werden in Kombination mit Sensoren und Encodern angeboten. Ein Encoder ist eine Sensorik zur Winkelmessung, die meist zur Drehzahl- oder Positionsregelung eingesetzt wird.

Mit dem Begriff Sensoren werden digitale oder analoge Hallsensoren bezeichnet, die in den FAULHABER bürstenlosen DC-Motoren meist direkt auf der Motorplatine verbaut sind. Die digitalen Hallsensoren dienen in erster Linie zur Kommutierung der bürstenlosen DC-Motoren und zu einer einfachen Drehzahlregelung. Fast alle FAULHABER bürstenlosen DC-Motoren sind mit drei integrierten digitalen Hallsensoren im Standard ausgestattet.



Außerdem sind als Option in der Regel analoge Hallsensoren verfügbar.



Die analogen Hallsensoren können aufgrund der höheren Auflösung auch zur genauen Drehzahl- oder zur Positionsregelung eingesetzt werden und sind damit eine beson-

ders wirtschaftliche, leichte und kompakte Alternative zu Encodern. Die Option für analoge Hallsensoren ist direkt in den Datenblättern der Motoren unter der Ausführung „Controller Kombinationen“ zu finden. Bei Wahl dieser Option erübrigt sich ein Encoder. Durch den Bauraum- und Kostenvorteil sind analoge Hallsensoren die bevorzugte Lösung für einen Großteil der Positionieranwendungen mit bürstenlosen DC-Motoren. Bei Wahl dieser Option empfiehlt sich der Betrieb mit FAULHABER Steuerungen, die perfekt auf die analogen Hallsignale ausgelegt sind.

### Funktionsweise

#### Messprinzip

Die FAULHABER Sensoren und Encoder basieren auf magnetischen oder optischen Messprinzipien.

Magnetische Encoder sind besonders unempfindlich gegen Staub, Feuchtigkeit und thermischen und mechanischen Schock. In magnetischen Encodern kommen Sensoren zum Einsatz, die Veränderungen des magnetischen Feldes bestimmen. Die Veränderung des Magnetfeldes wird durch die Bewegung eines magnetischen Objektes erreicht. Das kann der Magnet des Motors oder ein zusätzlicher Gebermagnet mit einer definierten Maßverkörperung sein, der auf der Welle des Motors befestigt ist. Bei Encodern ist normalerweise ein zusätzlicher Gebermagnet notwendig.

Im Falle integrierter digitaler oder analoger Hallsensoren kann direkt die Bewegung des Rotormagneten des Motors gemessen werden. Im Normalfall ist bei den integrierten Hallsensoren deshalb ein zusätzlicher Gebermagnet nicht notwendig.

Optische Encoder zeichnen sich durch eine sehr hohe Positions- und Wiederholgenauigkeit und eine sehr hohe Signalgüte aus, aufgrund der präzisen Maßverkörperung. Außerdem sind sie unempfindlich gegenüber magnetischen Störungen. In optischen Encodern kommt eine Taktzscheibe mit einer Maßverkörperung zum Einsatz, die auf der Welle des Motors befestigt ist. Es wird unterschieden in reflektive und transmissive optische Encoder. Bei reflektiven Encodern wird Licht aus einer LED von reflektierenden Flächen auf der Taktzscheibe zurückgeworfen und mit Fotodetektoren aufgefangen. Reflektive optische Encoder sind besonders kompakt, da die LED, die Fotodetektoren und die Elektronik auf der gleichen Platine bzw. sogar im gleichen Chip verbaut werden können. FAULHABER setzt deshalb vor allem auf reflektive optische Encoder. Bei transmissiven Encodern fällt das Licht der LED durch Schlitze in der Taktzscheibe und wird von Fotodetektoren auf der anderen Seite der Taktzscheibe aufgefangen (Durchlichtverfahren).

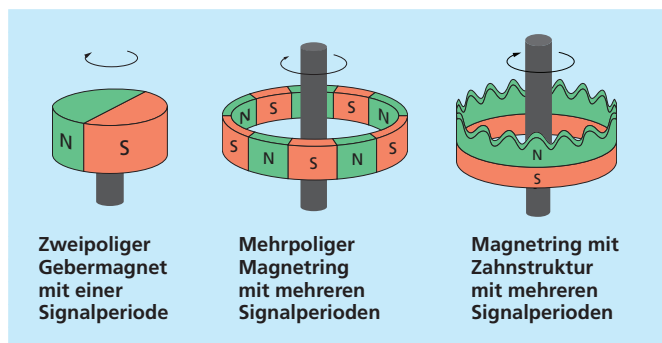
# Encoder

## Technische Informationen

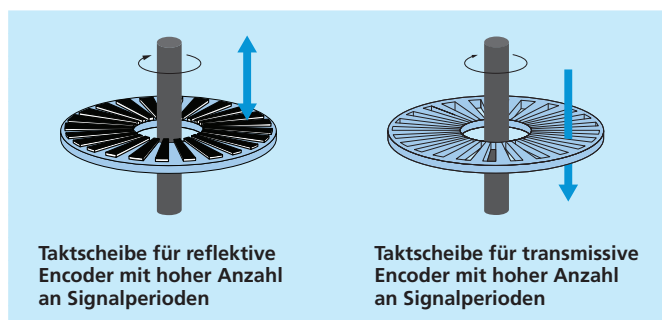
### Maßverkörperung

In den FAULHABER Encodern kommen je nach Messprinzip und verfügbarem Bauraum unterschiedliche Maßverkörperungen zum Einsatz. Die Maßverkörperung hat einen wichtigen Einfluss auf die Genauigkeit und die Auflösung des Encoders: Je höher die physikalische Auflösung und die Präzision der Maßverkörperung ist, desto höher ist die Auflösung und die Genauigkeit des Encoders.

In magnetischen Encodern kommen einfache zweipolige Gebermagnete und Magnetringe zum Einsatz. Die Magnetringe weisen mehrere Signalperioden pro Umdrehung auf durch eine spezielle Zahnstruktur oder ein gezieltes Aufmagnetisieren. Die Anzahl der Signalperioden entspricht der physikalischen Auflösung der Magnetringe.



In optischen Encodern kommen Maßverkörperungen in Form von Taktscheiben zum Einsatz. Bei den reflektiven Encodern bestehen diese aus einer Folge aus Licht reflektierenden und Licht absorbierenden Flächen. Bei den transmissiven Encodern bestehen die Taktscheiben aus einer Folge aus Stegen und Schlitten. Die Anzahl der reflektierenden Flächen bzw. Schlitten entspricht der physikalischen Auflösung. Diese ist bei optischen Encodern in der Regel deutlich höher als bei magnetischen Encodern.



### Signalverarbeitung und Interpolation

Neben den Sensoren zur Signalerfassung beinhalten die FAULHABER Encoder auch Elektronikbausteine zur Signalaufbereitung. Diese verarbeiten die Signale der Sensoren und generieren die standardisierten Ausgangssignale der Encoder. In vielen Fällen werden die Signale außerdem interpoliert, das heißt aus einer physikalisch gemessenen Signalperiode werden durch Hochrechnung mehrere Signalperioden erzeugt. Die physikalische Auflösung der Maßverkörperung kann dadurch um ein Vielfaches erhöht werden.

### Charakteristische Encoder-Merkmale

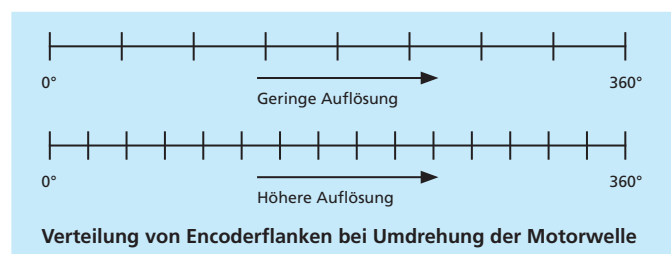
Die Qualität eines Encoders wird maßgeblich von der Auflösung und der Genauigkeit bestimmt.

#### Auflösung

Die Auflösung ist die Anzahl an Flanken bzw. Schritten, die ein Encoder innerhalb einer Umdrehung wiedergibt. Die Auflösung wird über die physikalische Auflösung der Maßverkörperung und der Interpolation des physikalischen Signals über die Elektronik bestimmt. Aufgrund der hohen Anzahl an Informationen, die pro Motorumdrehung zur Verfügung steht, bietet eine hohe Auflösung für ein Antriebssystem verschiedene Vorteile:

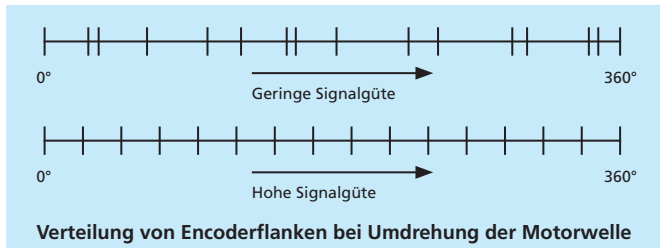
- Hoher Gleichlauf und geringe Geräuschentwicklung
- Betrieb auch bei sehr geringen Drehzahlen

Eine hohe Auflösung von über 4.000 Flanken bzw. Schritten ist vor allem dann relevant, wenn der Motor als Direktantrieb zur Positionierung eingesetzt wird oder der Motor bei sehr geringen Drehzahlen betrieben wird.



#### Genauigkeit

Unabhängig von der Auflösung spielt auch die Genauigkeit eine wichtige Rolle. Die Genauigkeit wird von der physikalischen Auflösung der Maßverkörperung und der Präzision bestimmt, mit der die Maßverkörperung und der Encoder, aber auch das komplette Antriebssystem, gefertigt ist. Hat ein Encoder eine hohe Genauigkeit, gibt er die Signale in immer gleichen Abständen pro Motorumdrehung wieder und weist damit eine hohe Signalgüte auf.



Der wichtigste Parameter für die Signalgüte der FAULHABER Encoder ist der Phasenfehler ( $\Delta\Phi$ ). Ist der Phasenfehler gering, gibt der Encoder gleichmäßige Signale wieder. Während die magnetischen FAULHABER Encoder bereits eine hohe Signalgüte mit einem Phasenfehler von rund 45 °e aufweisen, bestechen die optischen FAULHABER Encoder mit einer besonders hohen Signalgüte mit einem Phasenfehler von rund 20 °e. Optische Encoder sind in der Regel noch genauer als magnetische.

Detaillierte Informationen zur Berechnung des Phasenfehlers sind in dem Kapitel „Erläuterungen zu den Datenblättern“ unter Signal-Phasenverschiebung zu finden.

Eine hohe Genauigkeit bzw. eine hohe Signalqualität haben für ein Antriebssystem mehrere Vorteile:

- Genaue Bestimmung der Position und damit genaue Positionierung
- Hoher Gleichlauf und geringe Geräuschentwicklung

Eine hohe Genauigkeit ist vor allem dann relevant, wenn der Motor als Direktantrieb eingesetzt wird und eine genaue Positionierung erforderlich ist.

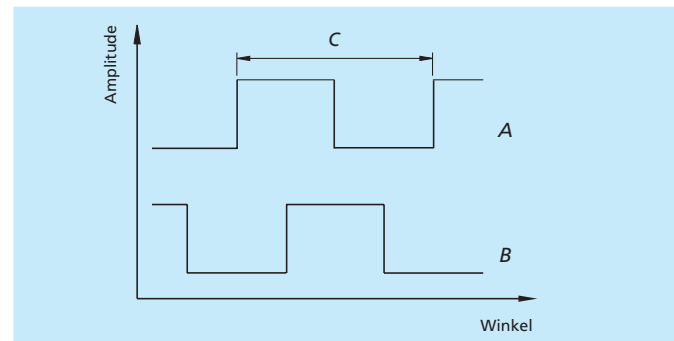
Um ein Antriebssystem genau zu positionieren, reicht ein hochgenauer Encoder nicht aus. Es müssen Toleranzen im gesamten Antriebssystem berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die Rundlauf toleranz der Motorwelle. Die Genauigkeit und der Phasenfehler der FAULHABER Encoder wird daher in Kombinationen mit den FAULHABER Motoren bestimmt. Bei der angegebenen Positions- und Wiederholgenauigkeit handelt es sich um die Systemgenauigkeit, die eine FAULHABER Motor-Encoder Kombination in einer Anwendung real erreicht.

## Ausgangssignal

### Inkrementalencoder

Inkrementalencoder geben eine spezifische Anzahl an gleichmäßig verteilten Impulsen pro Umdrehung wieder. Alle FAULHABER Inkrementalencoder haben mindestens 2 Kanäle A und B. Beide Kanäle liefern ein Rechtecksignal, das zueinander 90 °e, also eine viertel Signalperiode C, versetzt ist. Durch den Versatz der Impulse kann die Drehrichtung des Motors bestimmt werden.

Die Auflösung von Inkrementalencodern ist nicht ihre Impulszahl, sondern die Zahl an Flanken. Bei Encodern mit mindestens 2 Kanälen wechselt aufgrund des Phasenversatzes alle 90 °e der Zustand des Kanals A oder B. Die Flanken, also der Zustandswechsel der Encoder Kanäle, werden zur Bestimmung der Position ausgewertet. Da pro Impuls 4 Flanken auftreten, beträgt die Auflösung der FAULHABER Inkrementalencoder ein Vierfaches ihrer Impulszahl. Damit weist beispielsweise ein Encoder mit 10.000 Impulsen pro Umdrehung 40.000 Flanken pro Umdrehung auf, was einer sehr hohen Winkelauflösung von  $360^\circ/40.000 = 0,009^\circ$  entspricht.



Ein Inkrementalencoder misst keine absoluten, sondern relative Positionen. Inkrementalencoder bestimmen eine Position relativ zu einer anderen Referenzposition. Dazu müssen die Signalfanken über einen Quadraturzähler entsprechend ihrer Flankenfolge über die Motorsteuerung vor bzw. zurück gezählt werden. Dieser Positionswert geht bei einer Unterbrechung der Stromversorgung verloren. Ein Positioniersystem muss deshalb bei der Inbetriebnahme oder nach einer Stromunterbrechung eine definierte Referenzposition anfahren, um den Positionszähler zu initialisieren (Homing). Zur Bestimmung der Referenzposition kommt meist eine externe zusätzliche Sensorik wie ein Referenz- oder Endlagenschalter zum Einsatz.

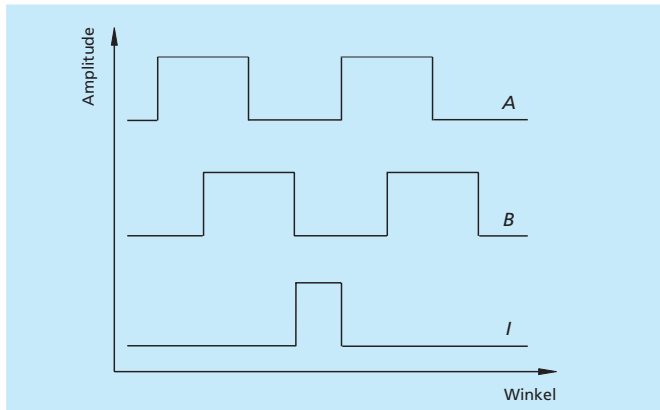
Um die Referenzposition besonders genau zu bestimmen, weisen die FAULHABER Drei Kanal Encoder noch einen zusätzlichen Kanal auf – den Index. Dabei wird ein einziger Indeximpuls einmal pro Umdrehung erzeugt. Externe Referenz- oder Endlagenschalter können durch Umwelteinflüsse einen vergleichbar hohen Positionsfehler aufweisen und im einen Falle etwas früher und im anderen Falle etwas später auslösen. Um trotzdem eine genaue Referenzposition zu bestimmen, kann nach dem Endlagenschalter das Antriebssystem zurückfahren, bis die erste Signalfanke des Indeximpulses auftritt. Dieser Punkt kann dann als genaue Referenzposition genutzt werden. Der Indeximpuls hat eine Breite von 90 °e und tritt immer bei definierten Zuständen von Kanal A und B auf. Bei



## Encoder

### Technische Informationen

längeren Verfahrestrecken und mehreren Umdrehungen des Encoders kann der Indeximpuls außerdem genutzt werden, um die gezählte Anzahl der Flanken zu verifizieren.



#### Absolutencoder

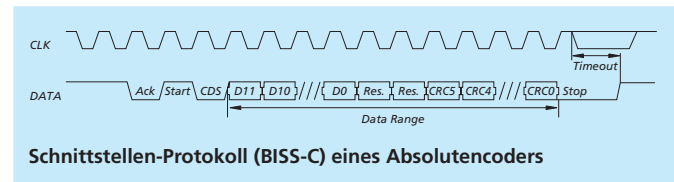
Ein Absolutencoder bestimmt im Gegensatz zum Inkrementalencoder keine relativen, sondern absolute Positionen. Nach Einschalten des Absolutencoders steht zu jeder Position der Motorwelle ein absoluter Rückgabewert zur Verfügung. Es wird unterschieden zwischen Singleturn und Multiturn Encodern. Bei den FAULHABER Absolutencodern handelt es sich um Singleturn Encoder.

Bei einem Singleturn Encoder entspricht jede Position der Motorwelle einem spezifischen Rückgabewert. Nach einer vollen Umdrehung der Motorwelle wiederholen sich die Signale. Der Singleturn Encoder liefert damit keine absoluten Informationen über die Anzahl der zurückgelegten Umdrehungen. Eine Positionierung über eine Umdrehung hinweg ist mit dem Singleturn Encoder trotzdem möglich. Vergleichbar mit dem Inkrementalencoder wird dazu die Anzahl der Umdrehungen über einen Zähler über die Motorsteuerung vor bzw. zurück gezählt. Ein Referenzieren ist daher nach einer Stromunterbrechung bei Verfahrestrecken über eine Motorumdrehung hinweg notwendig. Bei Verfahrestrecken innerhalb einer Motorumdrehung ist ein Referenzieren nicht notwendig.

Multiturn Encoder erfassen im Gegensatz zu Singleturn Encodern auch die Anzahl der zurückgelegten Umdrehungen über einen zusätzlichen Sensor und ein elektronisches Speicherelement oder über ein Getriebe. Damit liefern Multiturn Encoder einen absoluten Rückgabewert über mehrere Umdrehungen der Motorwelle hinweg, innerhalb einer definierten maximalen Anzahl an Umdrehungen, die durch das Speicherelement oder Getriebe erfasst werden können. Ein Referenzieren ist generell nicht notwendig, sofern die maximale Anzahl an Umdrehungen nicht überschritten wird.

Auch die analogen Hallensensoren, die als Option direkt in den FAULHABER bürstenlosen DC-Motoren verbaut sind, liefern absolute Rückgabewerte innerhalb einer Umdrehung der Motorwelle in Kombination mit den Motoren mit 2-Pol Technologie und absolute Rückgabewerte innerhalb einer halben Umdrehung der Motorwelle in Kombination mit den Motoren mit 4-Pol Technologie. Bei Verwendung der analogen Hallensensoren ist daher bei der Positionierung innerhalb einer bzw. einer halben Umdrehung der Motorwelle eine Referenzfahrt nicht notwendig.

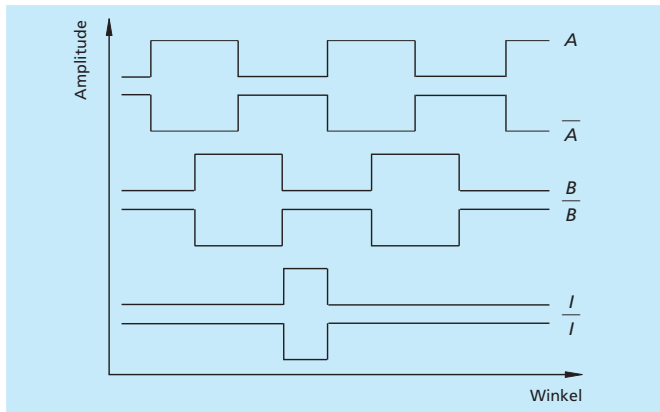
Die Auflösung eines Absolutencoders ist über die Schrittanzahl pro Umdrehung definiert und wird in Bits angegeben. Absolutencoder generieren einen seriellen Code aus mehreren Bits. Die FAULHABER Absolutencoder unterstützen eine SSI Schnittstelle mit BISS-C Protokoll. BISS-C erlaubt eine Kommunikation mit Taktschwindigkeiten von bis zu 2 MHz. Dabei wird synchron zu einem von der Steuerung vorgegebenen Takt (CLK) der absolute Positionswert (DATA) übertragen.



#### Line Driver

Einige der FAULHABER Inkrementalencoder verfügen über einen Line Driver. Der Line Driver erzeugt für alle Kanäle A, B und I ein zusätzliches differentielles Signal  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  und  $\bar{I}$ . Elektromagnetische Störungen können so bei der Signalübertragung eliminiert werden. Besonders wenn die Encodersignale über lange Distanzen von 5 m und mehr übertragen werden müssen und für Positionsregelung, empfiehlt sich daher der Einsatz eines Line Drivers.

Auf Seiten der Steuerung müssen diese differentiellen Signale mit einem Empfängerbaustein wieder zusammengeführt werden. Die Line Driver von FAULHABER sind TIA-422 kompatibel. TIA-422, auch als EIA-422 oder RS-422 bezeichnet, ist ein Schnittstellen-Standard für eine leistungsgebundene differentielle serielle Datenübertragung.



#### CMOS und TTL

Die FAULHABER Encoder sind üblicherweise kompatibel zum CMOS und TTL-Standard. Das bedeutet, dass der niedrige Signalpegel typischerweise bei 0 V und der hohe Signalpegel typischerweise bei 5 V liegt. Im Zweifelsfall sind gegebenenfalls die Pegelfenster der verwendeten Steuerungen zu beachten.

#### Integrierte Lösungen

FAULHABER besticht durch verschiedene Sensoren und Encoder, die direkt in den Motor integriert sind. Durch die Integration der Lösungen in den Motor sind diese besonders leicht, kompakt und wirtschaftlich.

Für die bürstenlosen DC-Motoren sind das zum einen die integrierten digitalen und analogen Hallsensoren und die Encoder IEM3-1024 und AESM-4096. Die Außenmaße der Motoren bleiben durch diese Lösungen unverändert.

Für die DC-Kleinstmotoren der Baureihe FAULHABER SR stehen folgende integrierte Encoder zur Verfügung, die die Motoren lediglich um 1,4 – 1,7 mm verlängern: IE2-16, IE2-400, IE2-1024, IEH2-4096 und IEH3-4096.

In Kombination mit den DC-Flachmotoren der Baureihe FAULHABER SR-Flat gibt es integrierte Encoder, die die Motoren lediglich um 2,3 mm verlängern: IE2-8 und IE2-16.

#### Encoder

magnetischer Encoder, Digitalausgänge,  
2 Kanal, 16 - 4096 Impulse

#### Serie IEH2-4096

		- 16
Impulse pro Umdrehung	$N$	16
Frequenzbereich, bis <sup>1)</sup>	$f$	5
Ausgangssignal, rechteckig		2
Betriebsspannung	$U_{DD}$	4,5 - 5
Nennstromaufnahme, Mittelwert <sup>2)</sup>		
Ausgangsstrom, max. <sup>3)</sup>		

#### Erläuterungen zu den Datenblättern

##### Impulse pro Umdrehung ( $N$ )

Gibt an, wie viele Impulse pro Kanal bei jeder Motorwellenumdrehung an den Inkrementalencoderausgängen erzeugt werden. Durch den Phasenversatz der Encoderkanäle  $A$  und  $B$  stehen pro Impuls vier Flanken zur Verfügung. Die Auflösung der Inkrementalencoder beträgt damit ein Vierfaches ihrer Impulszahl. Wenn der Encoder z. B. 1.024 Impulse pro Umdrehung hat, ergibt sich eine Auflösung von 4.096 Flanken pro Umdrehung.

##### Schritte pro Umdrehung

Die Angabe „Schritte pro Umdrehung“ gibt die Anzahl der Positionswerte pro Motorwellenumdrehung an. Diese Angabe wird in der Regel bei Absolutencodern verwendet und entspricht der Auflösung bzw. Flankenanzahl bei Inkrementalencodern.

##### Auflösung

Anzahl der binären Bits des Ausgangssignals. Die Schritte pro Umdrehung eines Absolut- bzw. Inkrementalencoders entsprechen der Auflösung  $2^{\text{Anzahl Bits}}$ .

##### Frequenzbereich, bis ( $f$ )

Maximal zulässige Encoderausgangsfrequenz. Das ist die maximale Frequenz, in der die Encoder-Elektronik zwischen dem niedrigen und dem hohen Signalpegel hin- und herschalten kann. Aus dieser Angabe und der Impulszahl ( $N$ ) ergibt sich die für den Encoder maximal zulässige Betriebsdrehzahl ( $n$ ). Wenn dieser Frequenzbereich und die daraus resultierende Drehzahl überschritten werden, kann es zur Übertragung inkorrektur Daten oder zum frühzeitigen Ausfall des Encoders kommen. Bei sehr hochdrehenden Anwendungen muss gegebenenfalls eine entsprechend niedrige Impulszahl gewählt werden.

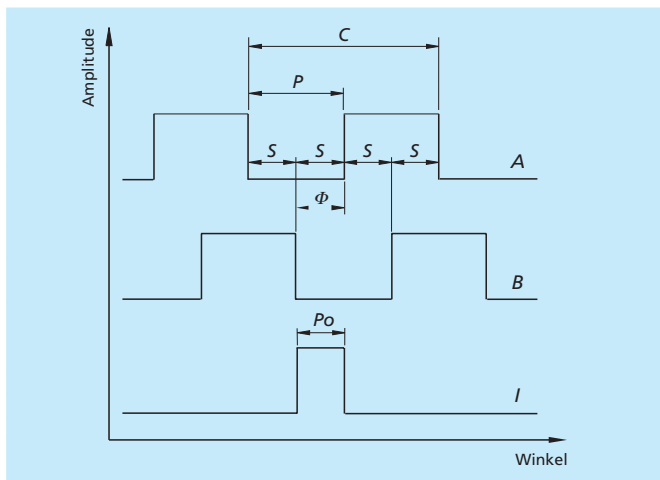
$$n = \frac{60 \cdot f}{N}$$

# Encoder

## Technische Informationen

### Ausgangssignal

Bei Inkrementalencodern werden Rechtecksignale ausgegeben. Zwei Kanal Encoder haben 2 Encoder Kanäle A und B. Drei Kanal Encoder haben zusätzlich noch einen Indexkanal.



Bei Absolutencodern wird ein digitales Wort ausgegeben. FAULHABER Encoder nutzen eine SSI Schnittstelle mit BISS-C Protokoll. SSI ist eine Schnittstelle für Absolutwertgeber, mit welcher über serielle Datenübertragung eine absolute Positionsinformation zur Verfügung gestellt wird.

### Betriebsspannung ( $U_{DD}$ )

Gibt den Spannungsbereich an, innerhalb dem die Versorgungsspannung der Encodersensorik liegen darf. Um eine Beschädigung des Encoders zu vermeiden, muss dieser Bereich in jedem Fall eingehalten werden.

### Stromaufnahme ( $I_{DD}$ )

Gibt den Strombedarf der Encodersensorik bei der angegebenen Betriebsspannung an. Üblicherweise sind typische und teilweise maximale Werte angegeben.

### Ausgangsstrom, max. ( $I_{OUT}$ )

Gibt den maximal zulässigen Laststrom an den Encoderausgängen an. Dieser Wert sollte gegebenenfalls mit der verwendeten Steuerung abgeglichen werden.

### Pulsbreite ( $P$ )

Breite des Ausgangsimpulses (in °e) der Encoderkanäle A und B. Sie beträgt idealerweise 180 °e.

### Index Pulsbreite ( $P_0$ )

Die Index Pulsbreite gibt die Breite des Indeximpulses (in °e) an und beträgt im Idealfall 90 °e.

Der Index Pulsbreitenfehler ( $\Delta P_0$ ) ist die Abweichung vom Idealwert 90 °e.

Zulässige Abweichung  $\Delta P_0$ :

$$\Delta P_0 = \left| 90^\circ - \frac{P_0}{P} * 180^\circ \right|$$

### Signal-Phasenverschiebung, Kanal A zu B ( $\Phi$ )

Die Phasenverschiebung (in °e) zwischen den Ausgangssignalen A und B wird als Signal-Phasenverschiebung bezeichnet und beträgt im Idealfall 90 °e.

Der Phasenfehler ( $\Delta\Phi$ ) ist die Abweichung zweier aufeinanderfolgenden Flanken an den Ausgängen A und B vom Idealwert 90 °e.

Zulässige Abweichung  $\Delta\Phi$ :

$$\Delta\Phi = \left| 90^\circ - \frac{\Phi}{P} * 180^\circ \right|$$

### Mess-Schritt ( $S$ )

Abstand zweier benachbarten Flanken (in °e) zwischen den beiden Ausgängen A und B. Es gibt vier Mess-Schritte ( $S$ ) pro Signalperiode. Idealerweise beträgt ein Mess-Schritt 90 °e.

### Signalperiode ( $C$ )

Dauer einer gesamten Periode (in °e) auf Kanal A bzw. auf Kanal B. Üblicherweise beträgt eine Signalperiode 360 °e.

### Signal-Anstiegs-/Abfallzeit, max. ( $tr/tf$ )

Maximale Zeit des Wechsels vom niedrigen zum hohen Signalpegel oder umgekehrt. Diese beschreibt die Flankensteilheit der Encodersignale.  $C_{LOAD}$  gibt die maximal zulässige Belastung der Signalleitung an, bei der die Flankensteilheit noch erreicht wird.

### Clock Frequenz, max. ( $CLK$ )

Maximal zulässige Taktfrequenz zum Auslesen des BISS-C Protokolls.

### Eingang Low / High Pegel ( $CLK$ )

Der Pegel des CLK-Eingangssignals muss im angegebenen Wertebereich liegen, um eine sichere Signalerkennung zu gewährleisten.

### Set up Zeit nach Power on, max.

Maximale Zeitdauer bis zur Verfügbarkeit der Ausgangssignale ab Anlegen der Versorgungsspannung.

### Timeout

Bezeichnet die Zeit, nach welcher die Kommunikation durch den Encoder beendet wird, nachdem der Master keinen Takt mehr sendet.

**Trägheitsmoment des Gebermagneten/der Taktscheibe ( $J$ )**

Gibt an, um welchen Betrag das Rotorträgheitsmoment des verwendeten Motors durch den Gebermagnet bzw. die Taktscheibe erhöht wird.

**Betriebstemperaturbereich**

Bezeichnet die minimal und maximal zulässige Betriebstemperatur des Encoders.

**Positionsgenauigkeit**

Gibt den mittleren Positionsfehler des Encoders in Grad mechanisch ( $^{\circ}m$ ) an. Dieser beschreibt, wie stark die Istposition von der Sollposition des Encoders abweichen kann.

**Wiederholgenauigkeit**

Gibt den mittleren Wiederholfehler des Encoders in Grad mechanisch ( $^{\circ}m$ ) an. Dieser beschreibt die mittlere Abweichung von mehreren Positionswerten des Encoders bei mehrfacher Positionierung auf die gleiche Position. Wiederholgenauigkeit zeigt, wie genau eine bestimmte Position nach wiederholtem Anfahren erneut erreicht werden kann.

**Hysterese**

Gibt den toten Winkel während eines Drehrichtungswechsels an, in dem keine Information bezüglich der Position ausgegeben wird.

**Mindestflankenabstand**

Der minimale Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Flanken der Kanäle A und B. Für eine zuverlässige Auswertung des Rechtecksignals ist eine Steuerung erforderlich, welche in der Lage ist, diesen Mindestflankenabstand zu erkennen. Sofern keine Angabe zum Mindestflankenabstand vorliegt, kann dieser Wert auch näherungsweise ermittelt werden.

$$T_{min} = \frac{1}{f \cdot 4} \cdot \left(1 - \frac{\Delta\Phi}{90^{\circ}}\right)$$

**Masse**

Die typische Masse des Encoders inklusive Gehäuse und Adapterflansch mit Standardkabel ohne Stecker.

# Encoder

## Technische Informationen

### Auswahl der geeigneten Sensorik

Dieses Kapitel beschreibt, wie eine geeignete Sensorik für FAULHABER Motoren ausgewählt wird. Welche Sensorik eingesetzt werden kann, hängt zunächst von der gewählten Motortechnologie ab. Es ist zu unterscheiden in:

- DC-Motoren
- Bürstenlose DC-Motoren
- Schrittmotoren
- Lineare DC-Servomotoren

Je nach Motortechnologie ist die Sensorik nicht nur für eine Drehzahl- oder Positionsregelung, sondern auch für die Kommutierung der Motoren erforderlich.

	Kommutierung	Drehzahl- regelung	Positions- regelung
<b>DC-Motoren</b>			
<b>Sensorik</b>		■ Encoder	■ Encoder
<b>Ohne Sensorik</b>	■ Mechanisch	■ Gegen-EMK	
<b>Bürstenlose DC-Motoren</b>			
<b>Sensorik</b>	Blockkommutierung: ■ Integrierte digitale Hallsensoren  Sinuskommutierung: ■ Integrierte analoge Hallsensoren ■ Encoder	■ Integrierte digitale Hallsensoren ■ Integrierte analoge Hallsensoren ■ Encoder	■ Integrierte analoge Hallsensoren ■ Encoder
<b>Ohne Sensorik</b>	Blockkommutierung: ■ Gegen-EMK	■ Gegen-EMK	
<b>Schrittmotoren</b>			
<b>Sensorik</b>		■ Encoder	■ Encoder
<b>Ohne Sensorik</b>	■ Schrittbetrieb	■ Schrittbetrieb	■ Schrittbetrieb
<b>Lineare DC-Servomotoren</b>			
<b>Sensorik</b>	■ Integrierte analoge Hallsensoren		■ Integrierte analoge Hallsensoren

### DC-Motoren

#### Kommutierung

Die Kommutierung von DC-Motoren mit Edelmetall- oder Graphitbürsten erfolgt mechanisch und bedarf daher weder einer Sensorik noch einer Motorsteuerung.

#### Drehzahl- und Positionsregelung

Bei manchen Anwendungen werden die DC-Motoren sensorlos und ohne Steuerung betrieben. Dabei wird eine spezifische Spannung an die Motoren angelegt, die bei konstanter Last eine spezifische Drehzahl erzeugt.

Um die Drehzahl regeln zu können, wird eine Steuerung notwendig. Eine einfache Drehzahlregelung ist über die Messung der rückwirkenden Generatorspannung (EMK) möglich. Für eine genaue Drehzahlregelung ist ein Encoder notwendig. Für eine Positionsregelung ist ein Encoder zwingend erforderlich.

Für die DC-Motoren steht eine große Auswahl an Inkrementalencodern zur Verfügung.

### Bürstenlose DC-Motoren

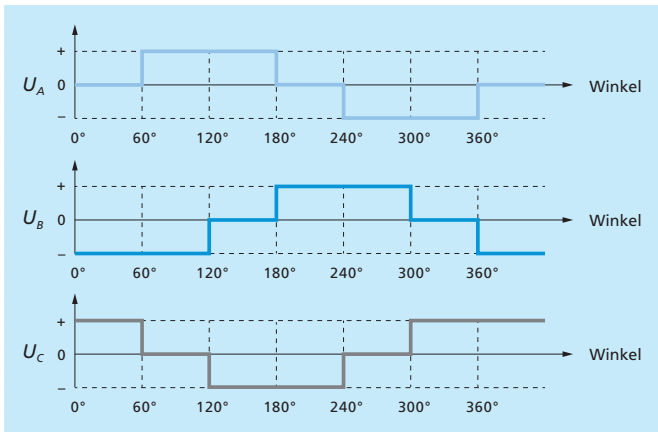
#### Kommutierung

Die bürstenlosen DC-Motoren werden elektronisch kommutiert. Für ihren Betrieb ist daher immer eine Steuerung notwendig.

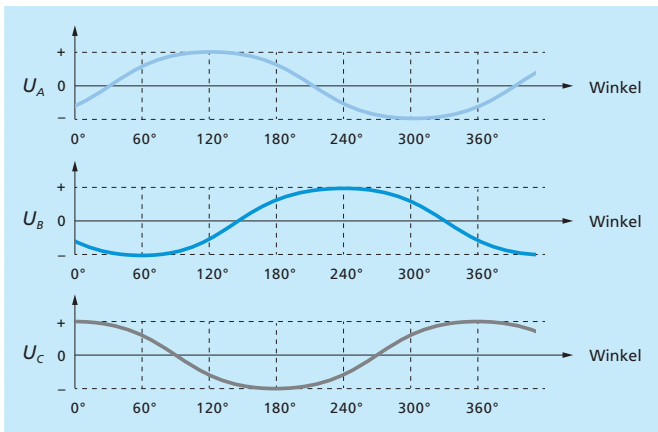
Der Großteil der FAULHABER bürstenlosen DC-Motoren ist mit drei digitalen integrierten Hallsensoren ausgestattet, die die Position der Motorwelle bestimmen und ein Kommutierungssignal liefern.

Die Ausnahme bilden Motoren für einfache Drehzahlanwendungen, die mit Hilfe der rückwirkenden Generatorspannung (EMK) kommutiert werden. Hierbei wertet die Steuerung den Nulldurchgang der Gegen-EMK aus und kommutiert den Motor dann nach einer von der Drehzahl abhängigen Verzögerung. Der Nulldurchgang der Gegen-EMK kann bei Stillstand des Motors nicht ausgewertet und die Position des Rotors damit nicht erfasst werden. Deshalb ist es möglich, dass der Motor beim Starten zunächst eine Bewegung in die falsche Richtung ausführt.

Bei Wahl von digitalen Hallsensoren oder im Sensorlosbetrieb mit Gegen-EMK werden die bürstenlosen DC-Motoren blockkommutiert. Bei der Blockkommutierung sind die Spannungsverläufe der drei 120° versetzten Wicklungen blockförmig. Die Wicklungen werden alle 60° abrupt geschaltet. Die FAULHABER Speed Controller nutzen diese Kommutierungsform.



Ein höherer Gleichlauf mit einem geringeren Drehmomenttrippl wird durch Sinuskommutierung erreicht. Bei der Sinuskommutierung weisen die Phasenspannungen einen sinusförmigen Verlauf auf. Die FAULHABER Motion Controller nutzen standardmäßig diese Kommutierungsform. Für Sinuskommutierung werden analoge Hallsensoren oder Encoder benötigt.



### Drehzahl- und Positionsregelung

Für eine Drehzahlregelung kommen in der Regel digitale Hallsensoren zum Einsatz. Die rückwirkende Generatorspannung ist nur für eine einfache Drehzahlregelung bei höheren Drehzahlen geeignet. Analoge Hallsensoren oder ein Encoder werden dann notwendig, wenn das Antriebssystem bei geringen Drehzahlen betrieben wird oder ein sehr hoher Gleichlauf gefordert ist.

Zur Positionsregelung bedarf es Encodern oder integrierten analogen Hallsensoren. Fast alle FAULHABER bürstenlosen DC-Motoren werden mit integrierten analogen Hallsensoren als Option angeboten. Für einen Großteil der Anwendungen empfiehlt sich der Betrieb mit den analogen Hallsensoren. Encoder werden notwendig, wenn die Anwendung nach einer höheren Auflösung oder Genauigkeit verlangt oder wenn der Motor mit sehr geringen Drehzahlen betrieben wird.

Für die bürstenlosen DC-Motoren steht eine große Auswahl an Inkremental- und Absolutencodern zur Verfügung.

### Schrittmotoren

Die Ansteuerung von Schrittmotoren im Voll-, Halb- oder Mikroschrittbetrieb ermöglicht eine genaue Drehzahl- und Positionsregelung im offenen Regelkreis. In der Anwendung kann daher im Regelfall auf Sensorik verzichtet werden – ein entscheidender Kostenvorteil von Schrittmotoren. Jedoch ist in der Entwicklung oft ein geschlossener Regelkreis notwendig zur Verifizierung der Funktion. FAULHABER hat einen optischen Encoder für Schrittmotoren im Portfolio: PE22-120. Weitere Kombinationen von Schrittmotoren mit Encodern sind auf Anfrage möglich.

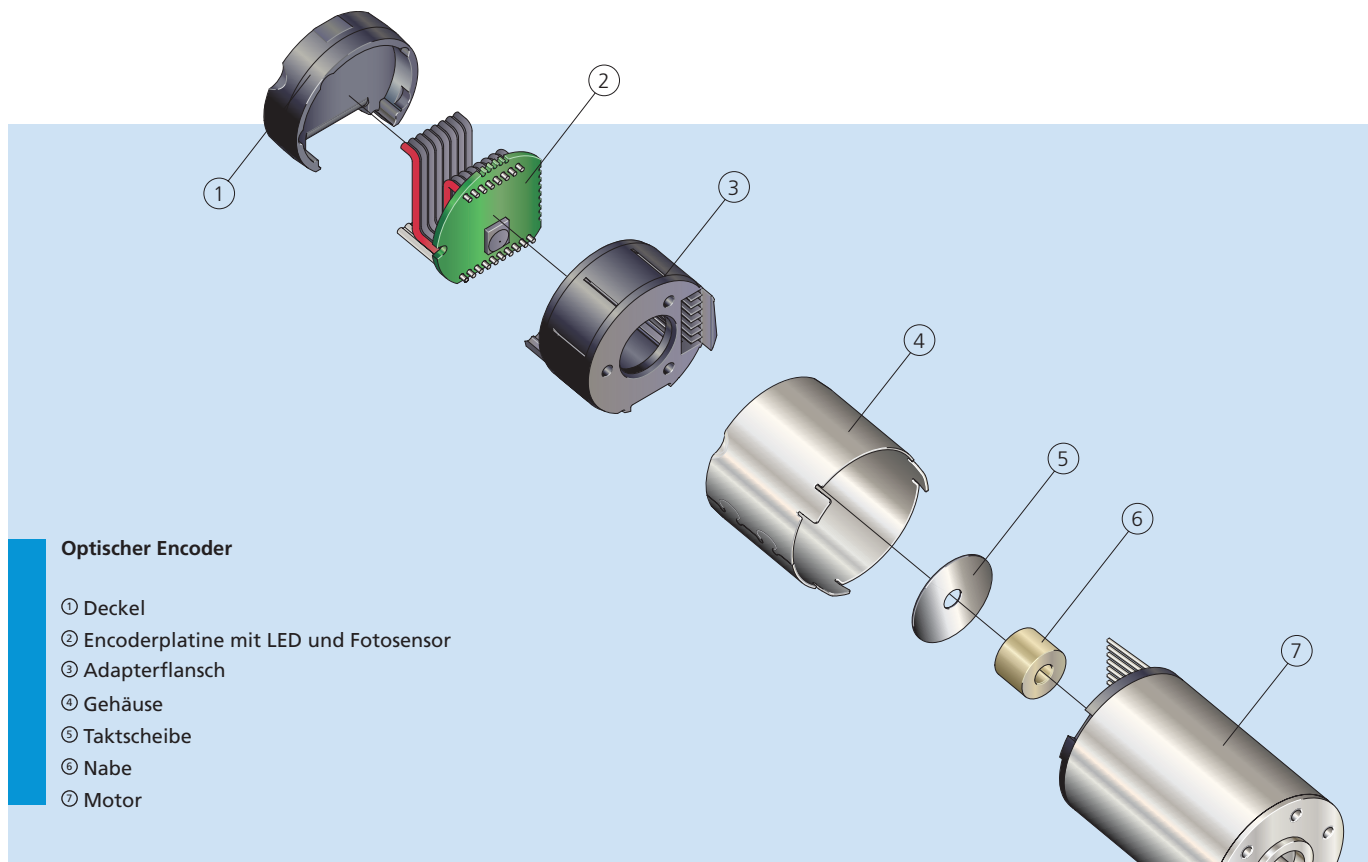
### Lineare DC-Servomotoren

Die linearen DC-Servomotoren sind mit analogen Hallsensoren ausgestattet. Durch die Integration der Sensoren in den Motor ist diese Lösung sehr kompakt, leicht und wirtschaftlich. Ein zusätzlicher Encoder wird damit nicht notwendig.



## Encoder

### Optische Encoder



### Funktion

Encoder der Serie IER3-10000 (L) bestehen aus einer an der Motorwelle befestigten hochauflösenden Taktscheibe, einer Leuchtquelle und einem Fotosensor mit Interpolator und Treiberstufen. Das Licht der Leuchtquelle wird von der Taktscheibe reflektiert bzw. absorbiert. Das reflektierte Licht wird von dem Fotosensor erfasst und das Signal zu einem hochauflösenden Encodersignal verarbeitet. Am Ausgang stehen dann zwei um 90 °e phasenverschobene Rechtecksignale sowie zur Anzeige einer Antriebswellenumdrehung ein Indexsignal zur Verfügung. Ein Line Driver ist außerdem optional verfügbar.

Die hochgenauen optischen Encoder eignen sich optimal zur Positionsregelung.

### Nutzen und Vorteile

- Sehr hohe Auflösung von bis zu 40.000 Flanken pro Umdrehung (entspricht 0,009° Winkelauflösung)
- Sehr hohe Positions- und Wiederholgenauigkeit und hohe Signalgüte
- Verschiedenste Auflösungen als Standard lieferbar
- Unempfindlich gegenüber magnetischen Interferenzen

### Produktkennzeichnung

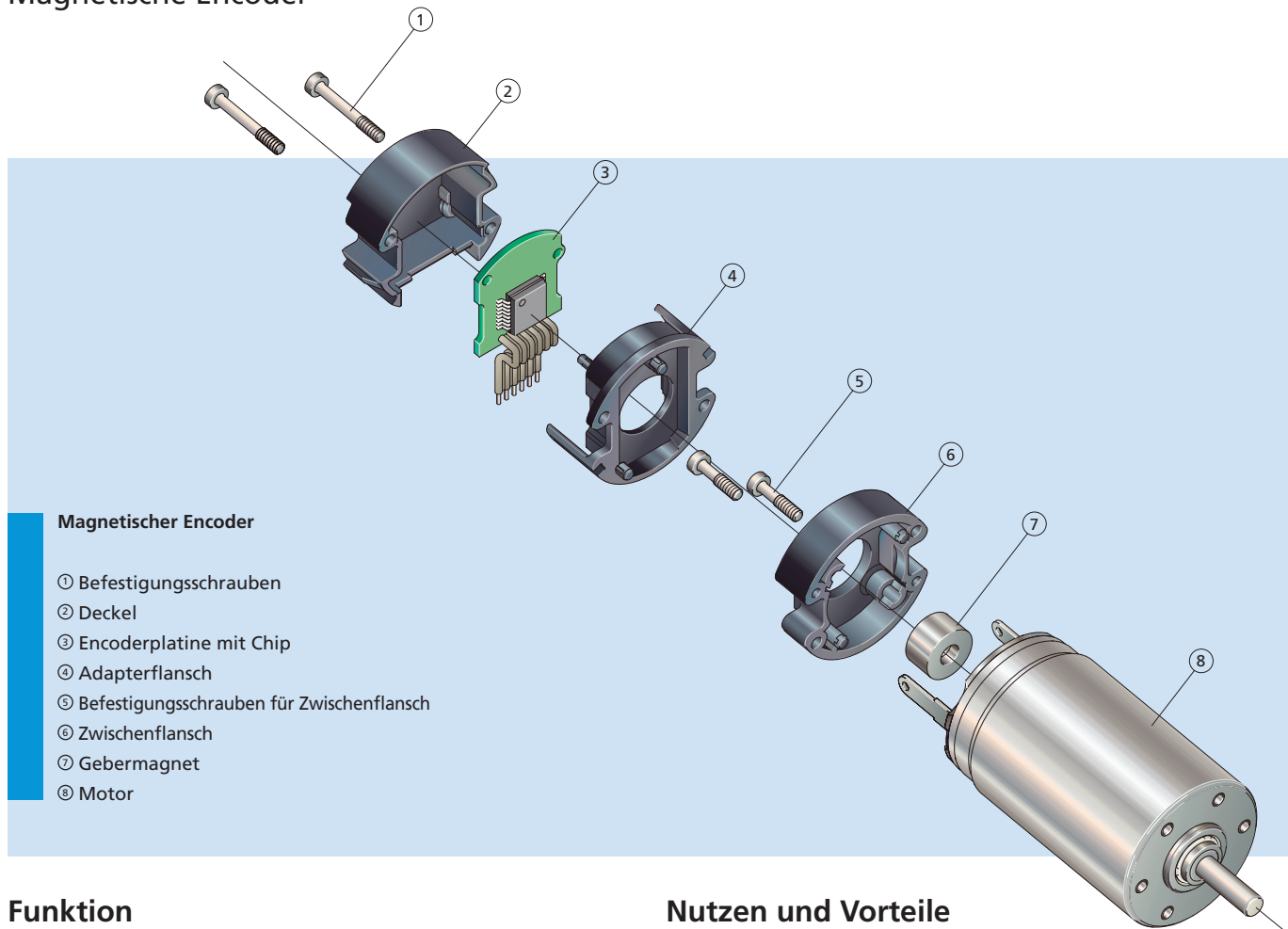


IER	Encoder Serie
3	Drei Kanal
6800	Impulszahl
L	mit integriertem Line Driver

**IER 3 - 6800 L**

## Encoder

### Magnetische Encoder



#### Magnetischer Encoder

- ① Befestigungsschrauben
- ② Deckel
- ③ Encoderplatine mit Chip
- ④ Adapterflansch
- ⑤ Befestigungsschrauben für Zwischenflansch
- ⑥ Zwischenflansch
- ⑦ Gebermagnet
- ⑧ Motor

### Funktion

Encoder der Serie IE3-1024 (L) bestehen aus einem an der Motorwelle befestigten diametral magnetisierten zweipoligen Gebermagneten. In axialer Richtung zum Gebermagnet ist ein spezieller Winkelsensor zur Erfassung der Antriebswellenposition angeordnet. Der Winkelsensor enthält alle notwendigen Funktionen wie Hallsensoren, Interpolator sowie Treiberstufen. Das von den Hallsensoren erfasste analoge Signal des Gebermagneten wird nach einer geeigneten Verstärkung dem Interpolator zugeführt. Der Interpolator erzeugt durch einen speziellen Verarbeitungsalgorithmus das hochauflösende Encodersignal.

An den Ausgängen stehen dann zwei um 90 °e phasenverschobene Rechtecksignale sowie zur Anzeige einer Antriebswellenumdrehung ein Indexsignal zur Verfügung.

### Nutzen und Vorteile

- Modulare Bauweise in kompaktem Design und robustem Gehäuse
- Verschiedene Auflösungen als Standard lieferbar
- Indexkanal zur Referenzierung einer Umdrehung der Antriebswelle
- Auch als Line Driver-Version verfügbar
- Standardisierte elektronische Encoderschnittstelle
- Flexible kundenspezifische Anpassungen der Auflösung, Drehrichtung, Indexbreite und Indexposition möglich

### Produktkennzeichnung

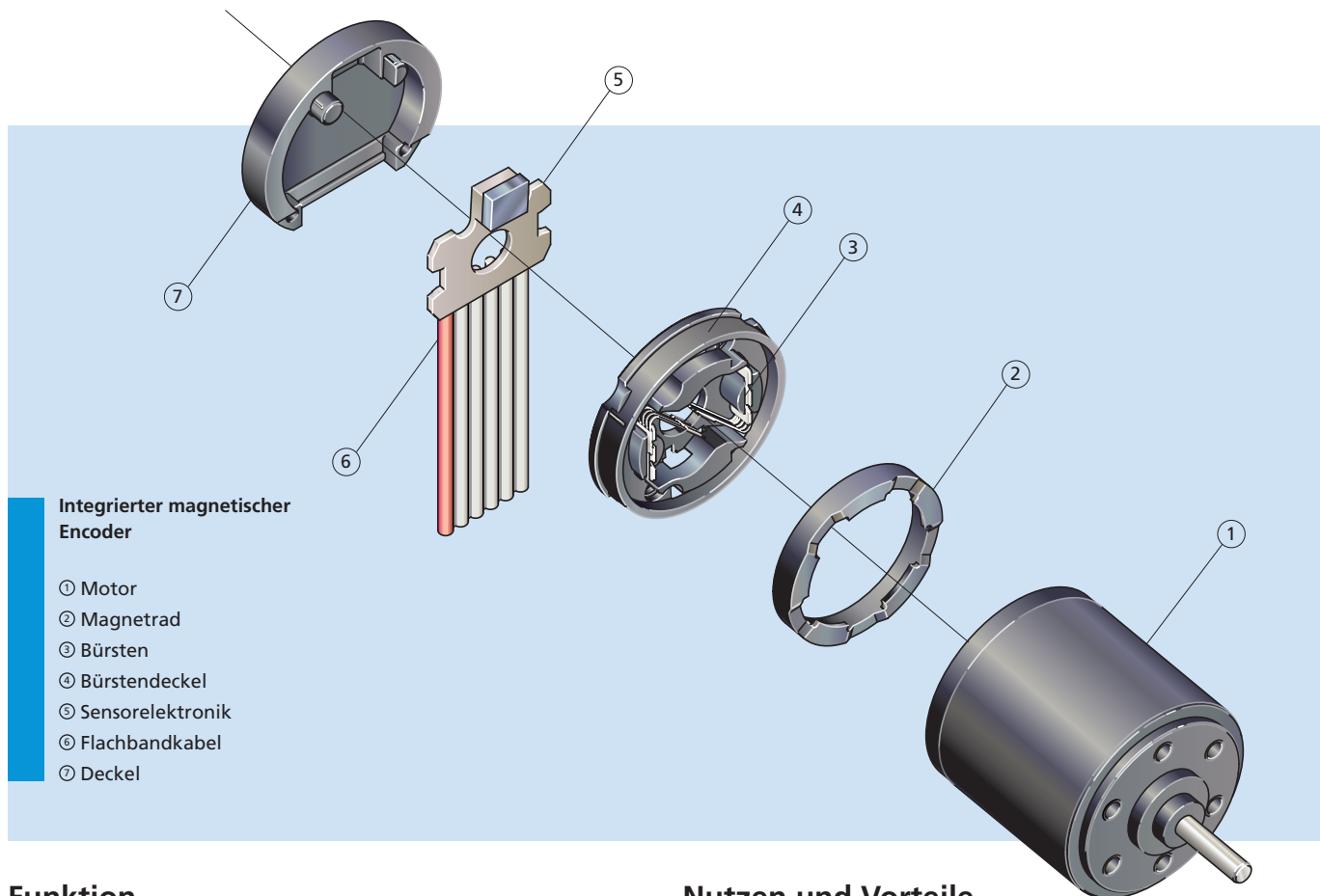


IE	Encoder Serie
3	Drei Kanal
1024	Impulszahl
L	mit integriertem Line Driver

IE3 - 1024 L

## Encoder

### Integrierte magnetische Encoder



### Funktion

Die Encoder der Serien IEH2-4096 und IEH3-4096 bestehen aus einem am Rotor befestigten mehrteiligen Magnetring und einem Winkelsensor. Der Winkelsensor enthält alle notwendigen Funktionen wie Hallsensoren, Interpolator sowie Treiberstufen. Die von den Hallsensoren erfassten analogen Signale des Gebermagneten werden nach einer geeigneten Verstärkung dem Interpolator zugeführt. Der Interpolator erzeugt durch einen speziellen Verarbeitungsalgorithmus das hochauflösende Encodersignal. An den Ausgängen stehen damit zwei um 90 °e phasenverschobene Rechtecksignale mit bis zu 4.096 Impulsen pro Umdrehung sowie wahlweise ein Indexsignal zur Verfügung. Der Encoder ist in den Motoren der Serie SR integriert und verlängert diese lediglich um 1,4 mm.

### Nutzen und Vorteile

- Extrem kompakt
- Hohe Auflösung von bis zu 16.384 Flanken pro Umdrehung (entspricht 0,022° Winkelauflösung)
- Keine Pull-up-Widerstände an den Ausgängen erforderlich, da keine Open-Collector-Ausgänge
- Symmetrische Schaltflanken, CMOS- und TTL-kompatibel
- Verschiedene Auflösungen, je nach Encodertyp, von 16 bis 4.096 Impulsen als Standard lieferbar
- Hohe Signalgüte

### Produktkennzeichnung

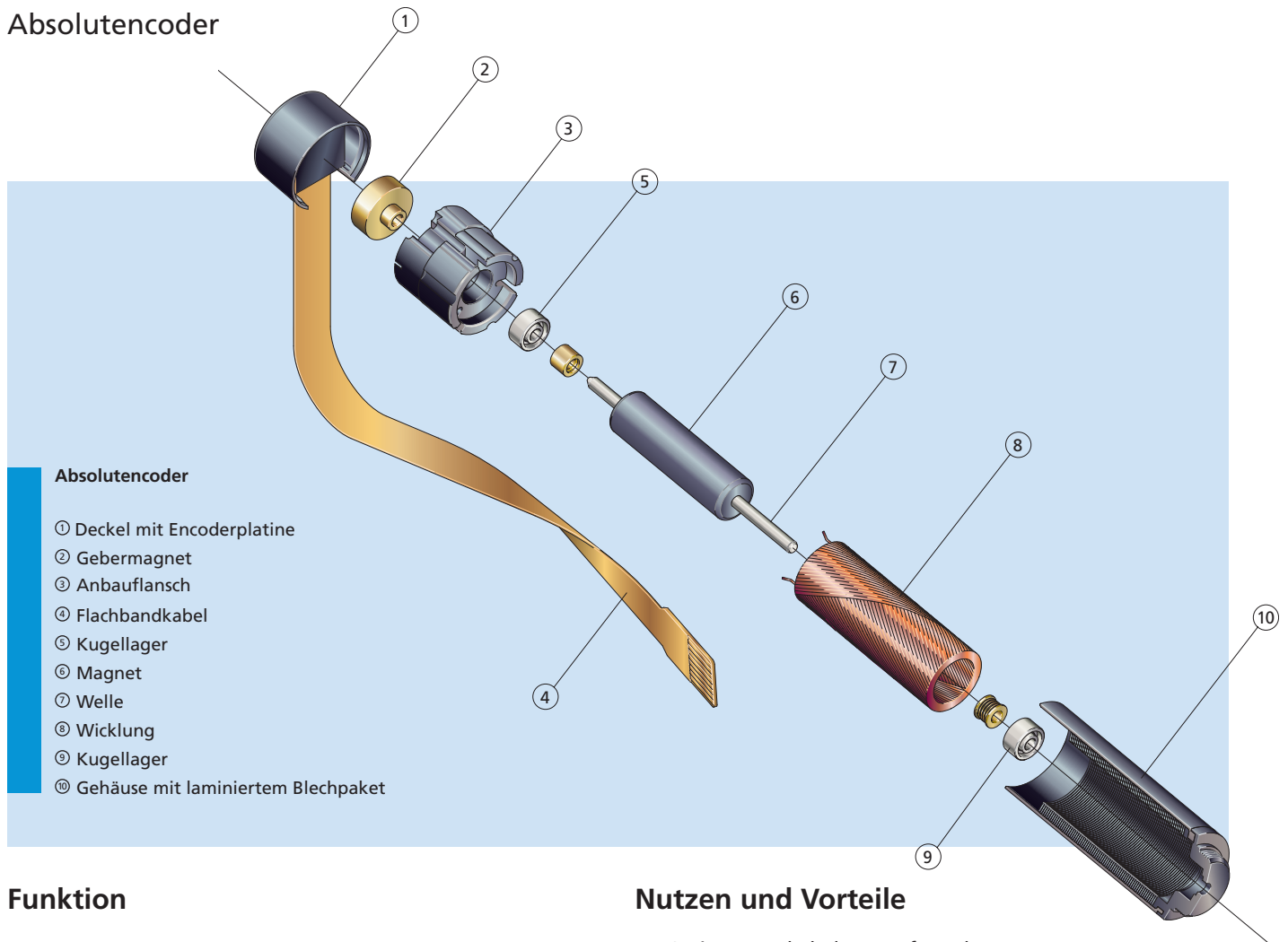


IEH Encoder Serie  
2 Zwei Kanal  
4096 Impulszahl

IEH2 - 4096

## Encoder

### Absolutencoder



### Funktion

Encoder der Serien AESM-4096 bestehen aus einem an der Motorwelle befestigten diametral magnetisierten zweipoligen Gebermagneten. In axialer Richtung zum Gebermagnet ist ein spezieller Winkelsensor zur Erfassung der Antriebswellenposition angeordnet. Der Winkelsensor enthält alle notwendigen Funktionen wie Hallsensoren, Interpolator sowie Treiberstufen. Das von den Hallsensoren erfasste analoge Signal des Gebermagneten wird nach einer geeigneten Verstärkung durch einen speziellen Algorithmus zu einem hochauflösenden Encodersignal verarbeitet. Am Ausgang stehen absolute Winkelinformationen mit einer Auflösung von 4.096 Schritten pro Umdrehung zur Verfügung. Diese können über eine SSI Schnittstelle mit BISS-C Protokoll abgefragt werden. Der Absolutencoder eignet sich optimal zur Kommutierung, Drehzahl- und Positionsregelung.

### Nutzen und Vorteile

- Geringer Verkabelungsaufwand
- Absolute Winkelinformation direkt nach dem Einschalten
- Kein Referenzieren notwendig
- Verbesserte Regeleigenschaften auch bei niedrigen Drehzahlen
- Flexible kundenspezifische Anpassungen von Auflösung und Drehrichtung möglich

### Produktkennzeichnung



AESM Encoder Serie

4096 Schritte pro Umdrehung

**AESM - 4096**

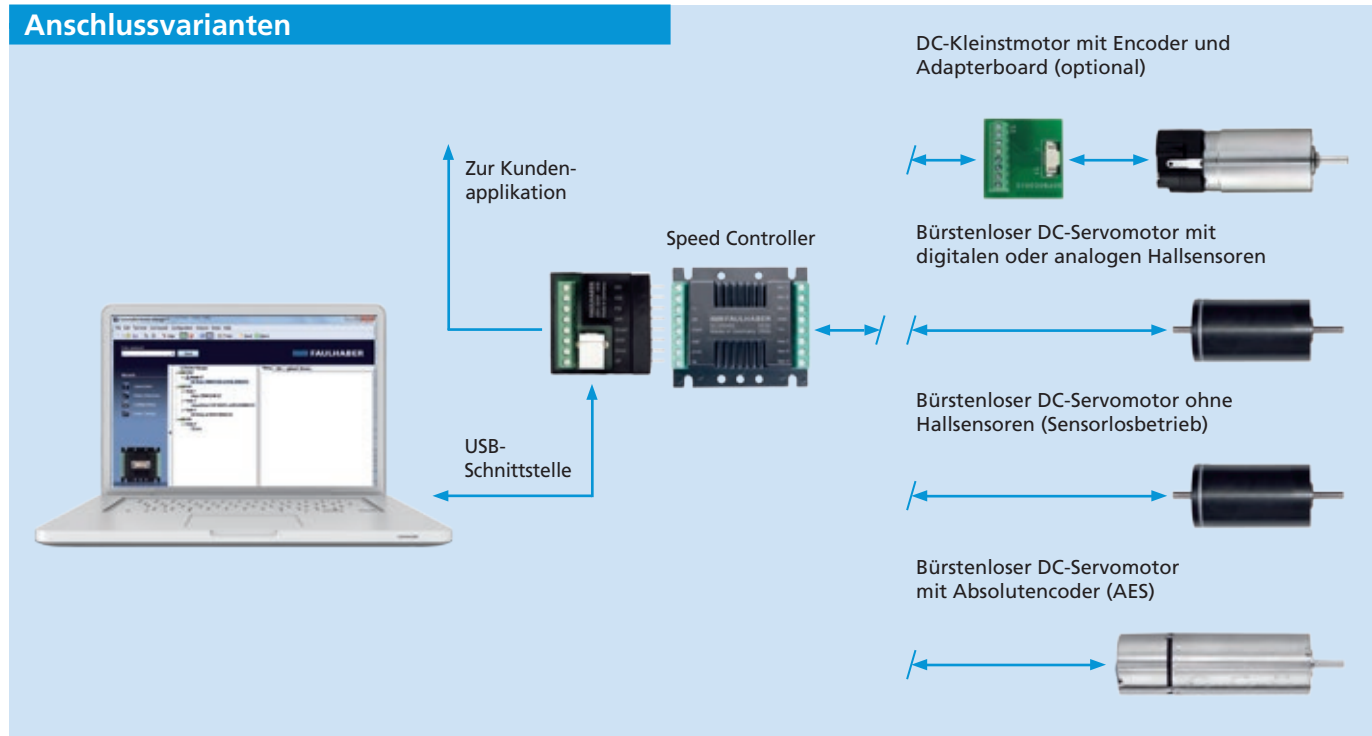
# Steuerungen



# Speed Controller

## Technische Informationen

### Anschlussvarianten



### Allgemeine Angaben

FAULHABER Speed Controller sind hochdynamische Drehzahlregler zur Ansteuerung von:

- DC-Motoren mit und ohne Inkrementalencoder
- BL-Motoren mit analogen oder digitalen Hallsensoren
- BL-Motoren mit AES Absolutgeber
- BL-Motoren mit digitalen Hallsensoren und Inkrementalencoder

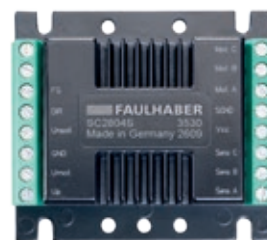
Je nach Baugröße und Auslieferungszustand können unterschiedliche Motor- und Geberkombinationen am Speed-Controller betrieben werden.

Controller	DC sensorlos	DC + Encoder	BL sensorlos	BL + D-Hall	BL + A-Hall	BL + AES
SC 1801	•	•	•	•	(2)	(2)
SC 2402/2804	•	•	•	• (1)	(2)	(2)
SC 5004/5008	-	•	-	• (1)	(2)	(2)

1) optional auch mit zusätzlichem Inkrementalcodereingang ausführbar  
2) optional verfügbar

Die unterschiedlichen Baugrößen und die flexiblen Anbindungsmöglichkeiten eröffnen ein breites Einsatzgebiet in Bereichen wie Labortechnik und Gerätebau, Automatisierungstechnik, Handling- und Werkzeugmaschinen oder Pumpen.

### Produktkennzeichnung



SC	Speed Controller
28	Max. Versorgungsspannung (28V)
04	Max. Dauerausgangsstrom (4A)
S	Gehäuse mit Schraubklemmleiste
3530	Betriebsart (Bürstenloser Motor mit digitalen Hallsensoren)

SC 28 04 S 3530



## Allgemeine Angaben

FAULHABER Speed Controller können über den FAULHABER Motion Manager an die Anwendung angepasst werden. Einstellbar sind die Art und Skalierung der Sollwertvorgabe, die Betriebsart und die Reglerparameter. Zur Konfiguration wird der USB Programmieradapter für Speed Controller verwendet.

Die Speed Controller können mit und ohne Gehäuse bezogen werden. Die Varianten mit Gehäuse werden über Schraubklemmen angeschlossen, die ungehäusten Platinenvarianten können direkt in eine Masterplatine eingesteckt werden.

## Schnittstellen – Diskrete I/O

- Analoger Eingang als Sollwerteingang zur Vorgabe der Drehzahl über PWM oder analogen Spannungswert
- Digitaler Eingang als Schalteingang zur Festlegung der Drehrichtung des Motors
- Digitaler Ausgang, wahlweise programmierbar als Frequenz- oder Fehlerausgang

## Hinweis

Gerätehandbücher zur Installation und Inbetriebnahme sowie die Software „FAULHABER Motion Manager“ sind auf Anfrage oder im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich. Nicht alle Speed Controller sind für sämtliche Betriebsarten geeignet. Detaillierte Angaben zu den einzelnen Betriebsarten sind in den jeweiligen Datenblättern sowie im Gerätehandbuch enthalten.

## Nutzen und Vorteile

- Kompakte Bauform
- Skalierbar in Strom und Spannung
- Einfache Verdrahtung
- Angepasste Ausführungen zum Anschluss unterschiedlicher Motoren
- Integrierte Strombegrenzung (Motorschutz)
- Reglereinstellung in Verbindung mit Motion Manager über Programmieradapter parametrierbar
- Breites unterstütztes Motorportfolio an DC-Kleinstmotoren und bürstenlosen DC-Servomotoren

## Speed Controller

### Beschreibung, Betriebsarten

#### Betriebsarten

Die Drehzahl wird über einen PI-Regler mit variablen Parametern geregelt.

Je nach Ausführung wird die Drehzahl über das angeschlossene Sensorsystem oder sensorlos aus dem Motorstrom ermittelt.

Die Sollwertvorgabe kann über einen Analogwert oder über ein PWM-Signal erfolgen. Die Drehrichtung wird über einen separaten Schalteingang umgeschaltet, das Drehzahl-signal kann über den Frequenz Ausgang ausgelesen werden.

Die Motoren sind optional als Spannungssteller oder im Fixdrehzahlmodus betreibbar.

#### **BL-Motoren mit digitalen oder analogen Hallsensoren**

In der Konfiguration BL-Motoren mit Hallsensoren werden die Motoren drehzahl geregelt betrieben, wobei die Signale der Hallsensoren zur Kommutierung und Bestimmung der Ist-Drehzahl herangezogen werden.

#### **BL-Motoren ohne Hallsensoren (Sensorlosbetrieb)**

In dieser Konfiguration werden keine Hallsensoren verwendet, stattdessen wird die Gegen-EMK des Motors zur Kommutierung und Drehzahlregelung herangezogen.

#### **BL-Motoren mit Absolutencoder**

Dieser Modus kann nur in Verbindung mit der entsprechenden Hardware gewählt werden. In dieser Konfiguration gibt der Encoder eine Absolutposition aus. Diese wird zur Kommutierung sowie zur Drehzahlregelung genutzt. Wegen der hohen Auflösung des Encoders sind in diesem Modus geringe Drehzahlen zu erreichen.

#### **BL-Motoren mit digitalen Hallsensoren und Brake/Enable Eingang**

In dieser Konfiguration werden die Motoren drehzahl geregelt betrieben. Durch die zusätzlichen Eingänge Brake sowie Enable wird eine einfachere Anbindung der Steuerung an z.B. SPS oder Sicherheitsschaltkreise ermöglicht.

#### **BL-Motoren mit digitalen Hallsensoren und Encoder**

In dieser Konfiguration geben die Hallsensoren die Informationen für die Kommutierung aus. Die Drehzahl wird auf das Signal des Inkrementalencoders geregelt. Deswegen sind bei einem hoch auflösenden Encoder auch sehr niedrige Drehzahlen zu erreichen.

#### **DC-Motoren mit Encoder**

In der Konfiguration DC-Motoren mit Encoder werden die Motoren drehzahl geregelt betrieben. Als Drehzahlwertgeber wird ein Inkrementalencoder benötigt.

#### **DC-Motoren ohne Encoder**

In der Konfiguration DC-Motoren sensorlos werden die Motoren drehzahl geregelt betrieben, wobei zur

Drehzahlwertfassung, je nach Lastfall, entweder die rückwirkende Generatorspannung (EMK) herangezogen wird oder eine IxR-Kompensation. Für diese Betriebsart ist eine Abstimmung auf den jeweiligen Motortyp notwendig.

Darüber hinaus können über die „**FAULHABER Motion Manager**“-Software weitere Parameter verändert werden:

- Reglerparameter
- Ausgangsstrombegrenzung
- Fixdrehzahl
- Encoderauflösung
- Drehzahl Sollwertvorgabe über analog oder PWM-Signal
- Maximale Drehzahl bzw. Drehzahlbereich

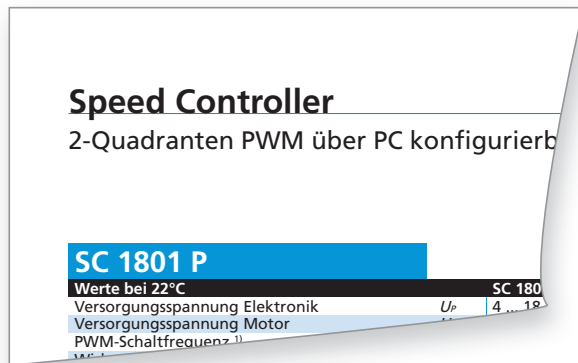
#### Schutzfunktionen

FAULHABER Speed Controller ermitteln die Temperatur der Motorwicklung aus dem Verlauf der Motorlast. Dynamisch steht dadurch ein gegenüber dem Dauerstrom typisch um den Faktor 2 größerer Spitzenstrom zur Verfügung, bei dauerhaft höherer Last wird der Strom auf den eingestellten Dauerstrom begrenzt.

Bei häufigem Reversierbetrieb mit großen angeschlossenen Massen, empfehlen wir die Verwendung eines Motion Controllers.

#### Sonderfunktionen

Für spezielle Anwendungen können ab Werk Sonderfunktionen wie Rampen, umschaltbare feste Drehzahlen oder komplexere Abläufe abhängig von den Zusatzeingängen implementiert werden. FAULHABER Speed Controller können so ideal an die Anforderungen der Anwendung angepasst werden.



## Speed Controller

2-Quadranten PWM über PC konfigurierbar

### SC 1801 P

## Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Datenblattwerte der Speed Controller werden bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

Speed Controller verfügen, bei gleichem Masseanschluss, generell über getrennte Versorgungseingänge für Motor und Elektronik, die bei Bedarf auch als gemeinsame Versorgung genutzt werden können.

### Versorgungsspannung Elektronik $U_p$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für die Steuerelektronik.

### Versorgungsspannung Motor $U_{mot}$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung des angeschlossenen Motors.

### PWM-Schaltfrequenz $f_{PWM}$ [kHz]

Die Pulsweitenmodulation beschreibt den Wechsel der elektrischen Spannung zwischen zwei Werten. Die an die SC angeschlossenen Motoren weisen eine niedrige elektrische Zeitkonstante auf. Um die PWM bedingten Verluste niedrig zu halten, ist eine hohe Schaltfrequenz notwendig.

### Wirkungsgrad Elektronik $\eta$ [%]

Verhältnis zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung der Steuerelektronik.

### Max. Dauerausgangsstrom $I_{cont}$ [A]

Beschreibt den Strom, den der Controller bei 22 °C Umgebungstemperatur ohne zusätzliche Kühlung dauerhaft an den angeschlossenen Motor liefern kann.

### Max. Spitzenausgangsstrom $I_{max.}$ [A]

Beschreibt den Strom, den der Controller bei S2-Betrieb (Kaltstart ohne zusätzliche Kühlung) bei Nennbedingungen unter konstanter Last für die im Datenblatt angegebene Zeit erreichen kann, ohne das thermische Limit zu überschreiten. Falls nicht abweichend definiert, gilt für den Wert des Spitzenstroms der Faktor zwei im Verhältnis zum Dauerstrom.

### Stromaufnahme der Elektronik $I_{el}$ [A]

Beschreibt die zusätzliche Stromaufnahme der Regelelektronik.

### Betriebstemperaturbereich [°C]

Gibt die minimale und maximale Betriebstemperatur unter Nennbedingungen wieder.

### Gehäusematerial

Gehäusematerialien und ggf. die Oberflächenbehandlung.

### Masse [g]

Die typische Masse des Standard Controllers, kann durch unterschiedliche Bestückung abweichen.

# Motion Controller

## Feature-Vergleich

### Allgemeine Angaben

FAULHABER Motion Controller sind hochdynamische Positioniersysteme, in gehäusten und ungehäusten Varianten verfügbar und steuern wahlweise DC-, LM- oder BL-Motoren an. Die Konfiguration der Motion Controller erfolgt dabei über den FAULHABER Motion Manager.

Über die CANopen- oder EtherCAT-Feldbusschnittstelle (nur MC V3.0) können die Antriebe im Netzwerk betrieben werden. In kleineren Aufbauten kann eine Vernetzung auch über die RS232-Schnittstelle erfolgen.

Die Motion Controller arbeiten im Netzwerk prinzipiell als Slave, eine Masterfunktionalität zur Ansteuerung weiterer Achsen ist nicht gegeben.

Alternativ können die Controller nach der Grundinbetriebnahme über den Motion Manager auch ohne Kommunikationsschnittstelle betrieben werden.

#### Generation V2.5

- Bewährte Technik für BL-, DC- und LM-Motoren
- Einfachste Konfiguration und Inbetriebnahme

- Vielfältige Konfigurationsmöglichkeiten
- Erfolgreich eingesetzt in Medizin- und Labortechnik, Gerätebau, Automatisierung, Medizintechnik und Luftfahrt
- Verfügbar auch in kleinsten Baugrößen

#### Generation V3.0

Eine neue Controllergeneration für Applikationen, die über den Feature- und Leistungsumfang der Controllerbaureihe V2.5 hinausgehen.

- Mehr Leistung, schnellere Regelung, neue Betriebsarten
- Ein Controller für alle Motortypen und Gebersysteme
- Flexible Verwendung der I/Os für Soll- und Istwerte
- Zusätzliche I/Os und Schnittstellen
- Ablaufprogramme programmierbar in BASIC für einfache lokale Automatisierung in allen Schnittstellentechnologien
- Erweiterte Diagnosefunktionen
- Einfache Inbetriebnahme über den Motion Manager ab Version 6.0

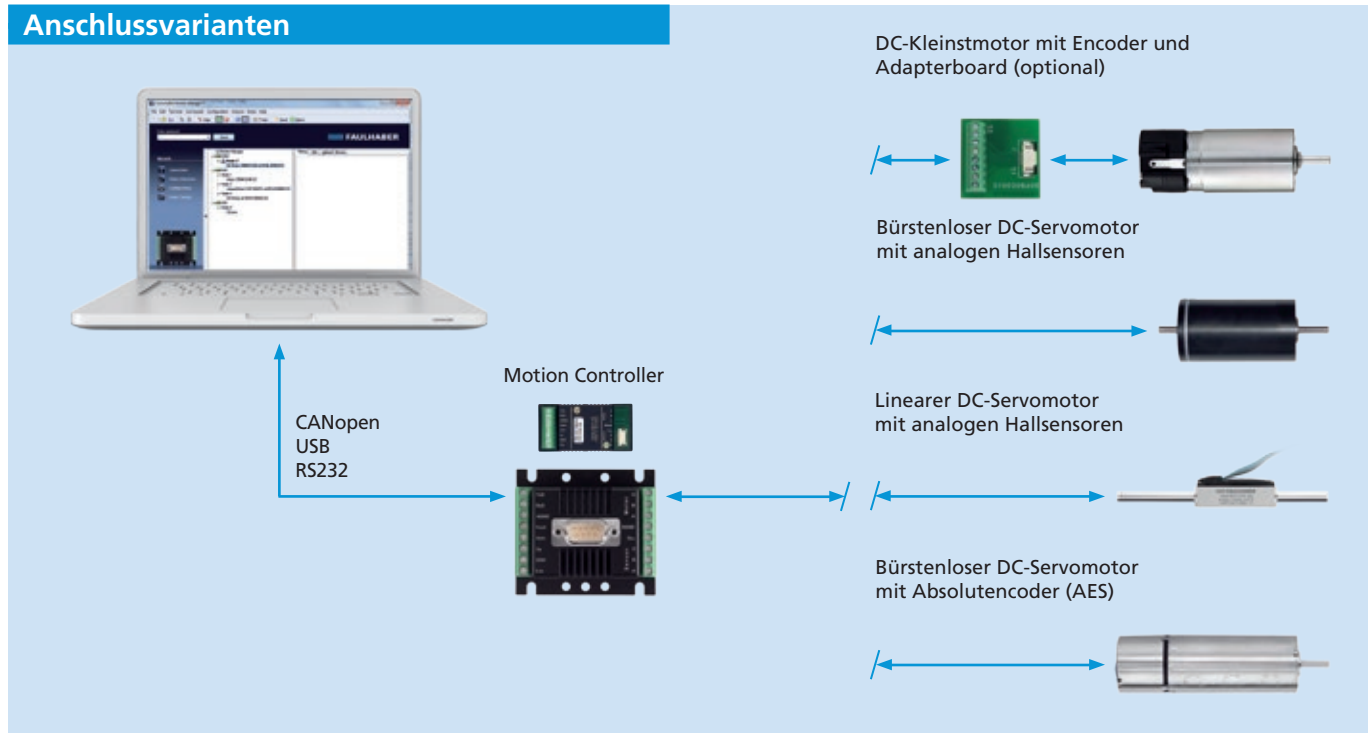
	Generation V2.5		Generation V3.0	
	MCxx 3002	MCxx 3003/06	MC 5004	MC 5005/10
<b>Spannungsbereiche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Motor: max. 30V</li> <li>■ Elektronik: max. 30V, optional getrennt</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Motor: max. 50V</li> <li>■ Elektronik: max. 50V, getrennt als Standard</li> </ul>	
<b>Dauerstrom</b>	2A	3 / 6A	4A	5 / 10A
<b>Spitzenstrom</b>	3A	10A	12A	15 / 30A
<b>Motortypen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ MCDC: DC + Encoder</li> <li>■ MCBL: BL + A-Hall</li> <li>■ MCLM: LM + A-Hall</li> <li>■ MCBL AES: BL + AES Encoder</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ DC-Motoren mit Pos.- / Geschw.-Sensor</li> <li>■ BL-Motoren mit Pos.- / Geschw.-Sensor</li> <li>■ LM-Motoren mit Pos.- / Geschw.-Sensor</li> </ul>	
<b>Geschwindigkeits- und Positionssensoren</b>	siehe Motortypen		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ DC-Motoren: Inkremental<sup>1)</sup>, AES Encoder<sup>1)</sup>, SSI Encoder<sup>1)</sup>, Analogwert (Poti/Tacho)</li> <li>■ BL-/LM-Motoren: D-Hall, D-Hall + Encoder<sup>1)</sup>, A-Hall, AES Encoder<sup>1)</sup>, SSI Encoder<sup>1)</sup>, Analogwert (Poti/Tacho)</li> </ul>	
<b>Ein-/Ausgänge</b>	MCDC: DigIn: max. 5 DigOut: max. 1 AnIn ±10V: 1	MCBL/MCLM: DigIn: max. 3 DigOut: max. 1 AnIn ±10V: 1	DigIn: 8 DigOut: 3 AnIn ±10V: 2	DigIn: 3 DigOut: 2 AnIn ±10V: 2
	Optional Anschluss eines 2. Referenzencoders (Gearing Mode). Je nach Beschaltung nicht alle I/O's verfügbar.		Optional Anschluss eines 2. Referenzencoders (Gearing Mode)	
<b>Kommunikation</b>	RS232 oder CANopen		USB, RS232 und/oder CANopen, EtherCAT	
<b>Regler</b>	Position, Geschwindigkeit, Strombegrenzung		Position, Geschwindigkeit, Strom / Moment	
<b>Betriebsarten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abhängig von der Schnittstellenvariante Positions-, Geschwindigkeits- und Stromregelung mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle oder analog (RS und CF)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Profile Position Mode (PP) und Profile Velocity Mode (PV) mit Berücksichtigung von Profilvergaben</li> <li>■ Cyclic Synchronous Position, Geschwindigkeit oder Moment (CSP, CSV bzw. CST)</li> <li>■ Analoge Vorgabe für Position, Geschwindigkeit, Moment oder Spannung (APC, AVC, ATC, Volt)</li> </ul>	
<b>Profilbetrieb</b>	Lineare Trapezprofile in allen Betriebsarten		Linear oder Sin <sup>2</sup> Geschwindigkeit im PP und PV Mode	
<b>Autonome Abläufe</b>	Verfügbar in den Versionen mit RS232 Schnittstelle		Bis zu 8 Ablaufprogramme in allen Versionen mit optionalem Kennwortschutz	

<sup>1)</sup> mit und ohne Linedriver

# Motion Controller

## Technische Informationen

### Anschlussvarianten



### Funktion

FAULHABER Motion Controller der Generation V2.5 sind hochdynamische Positioniersysteme zur Ansteuerung von unterschiedlichen Motoren und Gebersystemen:

- MCDC 300x: DC-Motoren mit Inkrementalencoder
- MCBL 300x: BL-Motoren mit analogen Hallsignalen
- MCLM 300x: LM-Motoren mit analogen Hallsignalen
- MCBL 300x AES: BL-Motoren mit Absolutgeber

Neben dem Einsatz als Servoantrieb mit geregelter Position kann auch die Geschwindigkeit geregelt werden. Über eine integrierte Stromregelung wird das Drehmoment begrenzt und die Elektronik bzw. der angeschlossene Motor vor Überlast geschützt.

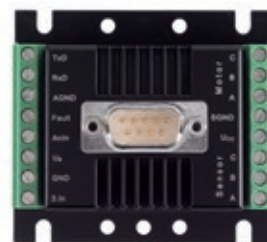
Motion Controller der Generation V2.5 sind in diversen Baugrößen, Leistungsklassen und mit RS232 oder mit CAN Schnittstelle verfügbar und können dadurch auch in Netzwerke eingebunden werden. Neben dem Betrieb am PC können die Systeme auch an allen üblichen Industriesteuerungen betrieben werden.

Die Motion Controller können mit oder ohne Gehäuse bezogen werden. Die Varianten mit Gehäuse werden über Schraubklemmen angeschlossen, die ungehäuseten Platinenvarianten können direkt in eine Masterplatine eingesteckt werden.

### Nutzen und Vorteile

- Kompakte Bauform
- Wahlweise ansteuerbar über RS232 oder CAN Schnittstelle
- Geringer Verdrahtungsaufwand
- Parametrierbar mit Software „FAULHABER Motion Manager“ und USB-Schnittstelle
- Umfangreiches Zubehör
- Einfachste Inbetriebnahme

### Produktkennzeichnung



MC	Motion Controller
BL	für Bürstenlose DC-Motoren
30	Max. Versorgungsspannung (30 V)
06	Max. Dauer Ausgangsstrom (6 A)
S	Gehäuse mit Schraubklemmleiste
CO	CAN Schnittstelle

MC BL 30 06 S CO

# Motion Controller

## Konfiguration, Vernetzung, Schnittstellen

### Betriebsarten

#### Positionierbetrieb

Der Antrieb fährt die vorgegebene Zielposition an und hält dabei die angegebenen Grenzen für Geschwindigkeit und Position ein. Die Dynamik der Regelung kann an unterschiedlichste Lasten angepasst werden. Endschalter können direkt ausgewertet werden. Die Position kann über End- oder einen Referenzschalter initialisiert werden.

#### Drehzahlregelung

Der Antrieb regelt die vorgegebene Zielgeschwindigkeit über einen PI-Drehzahlregler ohne bleibende Abweichung aus.

#### Stromregelung

Schützt den Antrieb, in dem der Motorstrom auf den eingestellten Spitzenstrom begrenzt wird. Über integrierte thermische Modelle wird der Strom im Bedarfsfall auf den Dauerstrom begrenzt.

#### Bewegungsprofile

Beschleunigungs- und Bremsrampe sowie die Maximalgeschwindigkeit können im Geschwindigkeits- und im Positionierbetrieb vorgegeben werden.

#### Autonomer Betrieb

In der Version RS können frei programmierte Abläufe im Motion Controller gespeichert werden. Der Betrieb ist dann auch ohne RS232 Schnittstelle möglich.

#### Schutzfunktionen

- Schutz gegen ESD
- Überlastschutz für die Elektronik und den Motor
- Selbstschutz vor Übertemperatur
- Überspannungsschutz im Generatorbetrieb

#### Betriebsarten (Version RS und CF)

- Positionsregelung
  - mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle
  - mit analogem Sollwert
  - Gearing Mode
  - Schrittmotorbetrieb
- Geschwindigkeitsregelung
  - mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle
  - mit analogem Sollwert
- Drehmomentenregelung
  - mit Sollwertvorgabe über die Schnittstelle
  - mit analogem Sollwert
- Betrieb als Servoverstärker im Spannungssteller-Modus

#### Betriebsarten (Version CO und CF)

- Profile Position Mode (PP)
- Profile Velocity Mode (PV)
- Homing Mode

### Optionen

Eine getrennte Versorgung von Motor und Ansteuer-elektronik ist optional möglich (wichtig für sicherheitsrelevante Anwendungen). Hierbei entfällt der 3. Eingang. Je nach Steuerung sind zusätzliche Programmieradapter und Anschlusshilfen verfügbar. Auf Anfrage ist eine spezielle Vorkonfiguration der Modi und Parameter möglich.

### Schnittstellen – Diskrete I/O

#### Sollwerteingang

Je nach Betriebsart können Sollwerte über das Kommando Interface, über einen analogen Spannungswert, über ein PWM Signal oder über ein Quadratsignal vorgegeben werden.

#### Fehlerausgang (Open Collector)

Werkseitig als Fehlerausgang konfiguriert. Verwendbar auch als Digitaleingang, freier Schaltausgang, zur Drehzahlkontrolle oder Signalisierung einer erreichten Position.

#### Weitere Digitaleingänge

Zur Auswertung von Referenzschaltern.

### Schnittstellen – Positionsgeber

Je nach Ausführung wird eine der aufgeführten Schnittstellen zum Positions- und Drehzahlgeber unterstützt.

#### Analoge Hallsignale

Drei um 120° versetzte analoge Hallsignale bei bürstenlosen DC-Motoren und linearen DC-Servomotoren.

#### Inkrementalencoder

Bei DC-Kleinstmotoren und als Zusatzgeber bei bürstenlosen DC-Motoren.

#### Absolutencoder

Serielle SSI Schnittstelle mit BISS Protokoll, passend zu bürstenlosen DC-Servomotoren mit AES Encoder.



## Vernetzung

FAULHABER Motion Controller der Generation V2.5 stehen in drei Vernetzungsvarianten zur Verfügung.

### RS – Systeme mit RS232 Schnittstelle

Ideal für den Gerätebau und für alle Anwendungen, in denen der Controller auch ohne übergeordnete Steuerung eingesetzt werden soll. Die Bedienung erfolgt über einfache Kommandos. Über den Net-Mode können auch mehrere RS Controller an einer RS232 Schnittstelle betrieben werden.

### CF – CANopen mit FAULHABER CAN

Kombiniert die Kommunikation über das CANopen Protokoll mit den aus der RS Version bekannten Betriebsarten. Die Belegung der PDOs ist fest vorgegeben, die FAULHABER Kommandos werden über eines der PDOs exklusiv versandt.

Ideal für den Einsatz im Gerätebau, wenn mehrere Motion Controller an einem PC betrieben werden.

### CO – CANopen nach CiA 402

Die ideale Variante für den Betrieb eines FAULHABER Motion Controllers an einer SPS – direkt über das CANopen Interface oder über ein Gateway an z. B. Profibus/ProfiNET oder EtherCAT.

## Schnittstellen – Busanbindung

### Version mit RS232

Zur Ankopplung an einen PC mit einer Übertragungsrate von bis zu 115 kbaud. Über die RS232 Schnittstelle können auch mehrere Antriebe vernetzt an einer Steuerung betrieben werden. Auf Seiten des Steuerrechners sind dazu keine besonderen Vorkehrungen nötig. Die Schnittstelle bietet überdies die Möglichkeit, online Betriebsdaten und Werte abzufragen.

Für die Programmierung und Bedienung steht ein umfangreicher ASCII-Befehlssatz zur Verfügung. Dieser kann vom PC mit Hilfe der Software „FAULHABER Motion Manager“ oder über jeden anderen Steuerrechner vorgegeben werden.

Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, komplexe Abläufe aus diesen Befehlen zu erstellen und im Antrieb abzulegen. Einmal als Drehzahl- oder Positionsregler über den Analogeingang, als Schrittmotor oder elektronisches Getriebe programmiert, kann der Antrieb unabhängig von der RS232 Schnittstelle autonom betrieben werden.

### Versionen mit CAN CF oder CO

Für die optimale Integration in unterschiedlichste Anwendungen stehen zwei Controllervarianten mit CANopen Schnittstelle zur Verfügung. CANopen eignet sich dabei ideal für die Vernetzung von Kleinstantrieben, da die Schnittstelle auch in kleine Elektronik integriert werden kann. Über die Baugröße und die effizienten Kommunikationsverfahren stellen sie ein ideales Bindeglied bis in die Industrieautomatisierung dar.

### Version CF: CANopen mit FAULHABER Kanal

Die Version CF unterstützt neben den Standardbetriebsarten nach CiA 402 auch einen speziellen FAULHABER Mode. Über PDO2 steht damit eine Bedienung analog zur RS232 Version zur Verfügung. Darüber werden auch erweiterte Betriebsarten wie der Betrieb mit analoger Sollwertvorgabe oder der Stepper- oder Gearing-Mode unterstützt.

Die CF Version eignet sich insofern besonders für Anwender, die die RS232 Version bereits kennen und die Vorteile von CAN bei der Vernetzung nutzen wollen.

### Version CO: CANopen

Die Version CO stellt die Standardbetriebsarten nach CiA 402 zur Verfügung. Alle Parameter sind direkt im Objektverzeichnis abgelegt. Die Konfiguration kann daher sowohl über den FAULHABER Motion Manager als auch über Konfigurationstools aus der Automatisierungswelt erfolgen.

Die Version CO eignet sich besonders für Anwender, die schon unterschiedliche CANopen Geräte einsetzen oder die Motion Controller an einer SPS betreiben wollen. Über das dynamische PDO Mapping kann eine sehr effiziente Vernetzung am CAN erreicht werden.

## Motion Controller

### Konfiguration, Vernetzung, Schnittstellen

#### Vergleich CF / CO

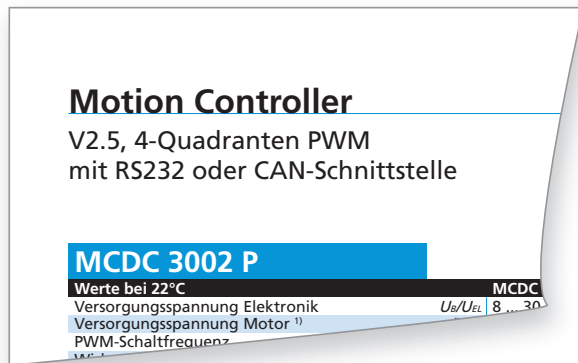
	CF	CO
NMT mit Node Guarding	•	•
Baudrate	Max. 1 Mbit, LSS	Max. 1 Mbit, LSS
EMCY Objekt	•	•
SYNCH Objekt	•	•
Server SDO	1 x	1 x
PDOs	3 x Rx 3 x Tx mit je statischem Mapping	4 x Rx 4 x Tx mit je dynamischem Mapping
PDO ID	fest	einstellbar
Konfiguration	Motion Manager	Motion Manager ab V5
Trace	PDO3 (fest)	Jedes PDO
Standard Betriebsarten - Profile Position Mode - Profile Velocity Mode - Homing	•	•
Erw. Betriebsarten	FAULHABER Kanal	-

Beide Varianten unterstützen das CANopen-Kommunikationsprofil nach CiA 301 V4.02. Die Einstellung von Übertragungsrate und Knoten-Nr. erfolgt über das Netzwerk gemäß des LSS-Protokolls nach CiA 305 V1.11.

Wir empfehlen dazu die Verwendung des FAULHABER Motion Managers in seiner jeweils neusten Version.

#### Hinweis

Gerätehandbücher zur Installation und Inbetriebnahme, Kommunikations- und Funktionshandbücher sowie die Software „FAULHABER Motion Manager“ sind auf Anfrage oder im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich.



## Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Datenblattwerte der Motion Controller der Generation V2.5 werden bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet. Die Motion Controller verfügen in der Standardausführung über keine getrennten Versorgungseingänge für Motor und Elektronik, können aber optional (über 3. Eingang) damit ausgestattet werden.

### Versorgungsspannung Elektronik $U_B / U_{EL}$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für die Steuerelektronik.

### Versorgungsspannung Motor $-- / U_B$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung des angeschlossenen Motors.

### PWM-Schaltfrequenz $f_{PWM}$ [kHz]

Die Pulsweitenmodulation beschreibt den Wechsel der elektrischen Spannung zwischen zwei Werten. Die an die MC angeschlossenen Motoren weisen eine niedrige elektrische Zeitkonstante auf. Um die PWM bedingten Verluste niedrig zu halten, ist eine hohe Schaltfrequenz notwendig.

### Wirkungsgrad Elektronik $\eta$ [%]

Verhältnis zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung der Steuerelektronik.

### Max. Dauerausgangsstrom $I_{cont}$ [A]

Beschreibt den Strom, den der Controller bei 22 °C Umgebungstemperatur ohne zusätzliche Kühlung dauerhaft an den angeschlossenen Motor liefern kann.

### Max. Spitzenausgangsstrom $I_{max}$ [A]

Beschreibt den Strom, den der Controller bei S2-Betrieb (Kaltstart ohne zusätzliche Kühlung) bei Nennbedingungen unter konstanter Last für die im Datenblatt angegebene Zeit erreichen kann, ohne das thermische Limit zu überschreiten. Je nach Baugröße und Ausführung gilt für das Verhältnis des Spitzenstroms zum Dauerstrom eine Erhöhung des Wertes um bis zu Faktor drei.

### Stromaufnahme der Elektronik $I_{el}$ [A]

Beschreibt die zusätzliche Stromaufnahme der Regelelektronik.

### Betriebstemperaturbereich [°C]

Gibt die minimale und maximale Betriebstemperatur unter Nennbedingungen wieder.

### Gehäusematerial

Gehäusematerialien und ggf. die Oberflächenbehandlung.

### Masse [g]

Die typische Masse des Standard Controllers kann durch unterschiedliche Bestückung innerhalb der einzelnen Schnittstellenvarianten voneinander abweichen.

## Motion Controller

### Technische Informationen



### Funktion

FAULHABER Motion Controller der Generation V3.0 sind hoch dynamische, optimal abgestimmte Positioniersteuerungen zur Kombination mit DC-Kleinstmotoren sowie BL- und LM- DC-Servomotoren aus dem FAULHABER Motorprogramm. Der Motortyp kann bei der Inbetriebnahme über den FAULHABER Motion Manager ab Version 6.0 konfiguriert werden.

Neben dem Einsatz als Servoantrieb mit geregelter Position können auch die Geschwindigkeit oder der Strom geregelt werden. Die Istwerte für Geschwindigkeit und Position können dabei über eine Vielzahl von unterstützten Gebersystemen ermittelt werden. End- und Referenzschalter können direkt angeschlossen werden.

Die Sollwerte für die Regelung können über die Kommunikationsschnittstelle, über die analogen bzw. einen PWM-Eingang vorgegeben werden oder aus intern hinterlegten Ablaufprogrammen stammen.

Als Kommunikationsschnittstellen werden je nach Gerät USB und RS232, CANopen und optional EtherCAT unterstützt. Dabei stehen alle Funktionen des Antriebs uneingeschränkt über alle Schnittstellen zur Verfügung.

FAULHABER Motion Controller der Generation V3.0 sind in drei Baugrößen und drei Leistungsklassen verfügbar:

- **MC 5004** – mit einem Dauerstrom bis zu 4A, kann direkt in ein Motherboard eingesteckt werden und bietet die meisten I/Os
- **MC 5005** – mit einem Dauerstrom bis zu 5A als idealer Partner für die meisten Motoren aus dem FAULHABER Programm
- **MC 5010** – mit einem Dauerstrom bis zu 10A auch für Anwendungen mit einem höheren Leistungsbedarf. Insbesondere geeignet zur Kombination mit den hoch dynamischen BL-Motoren.

Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig: Von der Laborautomation über den industriellen Gerätebau, die Automatisierungstechnik und Robotik bis hin zur Luftfahrt.

Der Anschluss an die Motoren erfolgt über vorkonfigurierte Stecker oder Verlängerungsleitungen, die für alle unterstützten Motoren als Option bzw. als Zubehör verfügbar sind.

### Nutzen und Vorteile

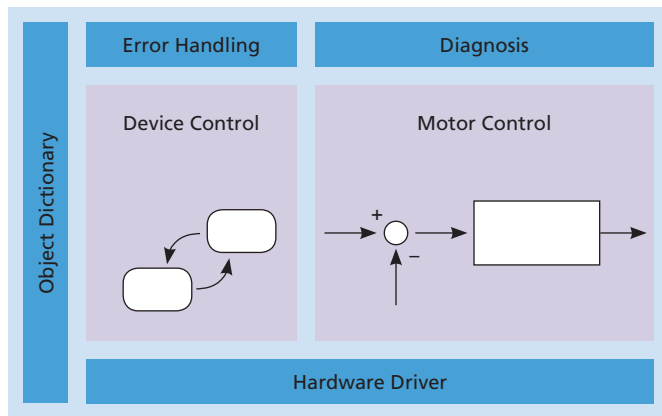
- Ein Controller für alle Motortypen und Gebertypen
- Sehr dynamische Regelung
- Ideal angepasst an FAULHABER DC-, BL- und LM-Motoren
- Vielfältige Soll- und Istwertschnittstellen
- Stand-Alone Betrieb in allen Varianten möglich
- Anschluss über einfaches Steckerkonzept
- Schnelle Rückmeldung durch Zustands-LEDs
- Inbetriebnahme mit dem kostenlosen FAULHABER Motion Manager ab V6.0
- Umfangreiches Montagezubehör erhältlich

### Produktkennzeichnung



MC	Motion Controller
50	Max. Versorgungsspannung (50 V)
05	Max. Dauerausgangsstrom (5 A)
S	Gehäuse mit Steckanschlüssen
RS	RS232 Schnittstelle

MC 50 05 S RS



## Betriebsarten

### Motorregelung

Über die Reglerkaskade können Strom, Geschwindigkeit und Position des Antriebs geregelt werden. Durch die optionalen Vorsteuerpfade können auch schnellste Bewegungen sicher reproduzierbar geregelt werden. Einstellbare Filter erlauben die Anpassung an unterschiedlichste Geber und Lasten.

### Bewegungsprofile

Beschleunigungs- und Bremsrampe sowie die Maximalgeschwindigkeit können im Geschwindigkeits- und im Positionierbetrieb in den Betriebsarten Profile Position Mode (PP) und Profile Velocity Mode (PV) vorgegeben werden.

### Autonomer Betrieb

Bis zu 8 in BASIC erstellte Ablaufprogramme können direkt auf dem Controller gespeichert und ausgeführt werden. Eines davon kann aus der Autostart-Anwendung konfiguriert werden. Ein Zugriffsschutz kann aktiviert werden.

### Schutz- und Diagnosefunktionen

FAULHABER Motion Controller der Generation V3.0 schützen Motor und Elektronik durch thermische Modelle vor Überlast. Die Versorgungsspannung wird überwacht und kann auch im rückspeisenden Betrieb begrenzt werden. Damit werden externe Geräte vor Überspannungen aus dem dynamischen Betrieb geschützt.

### Profile Position Mode (PP) / Profile Velocity Mode (PV)

Für Anwendungen, in denen dem Regler lediglich das Ziel der Bewegung vorgegeben wird. Die Beschleunigungs- und Bremsrampe sowie eine eventuelle Maximalgeschwindigkeit werden über den integrierten Profilgenerator berücksichtigt. Profilbasierte Bewegungen eignen sich daher zur Kombination mit Standard-Vernetzungen wie RS232 oder CANopen.

### Cyclic Synchronous Position (CSP) / Cyclic Synchronous Velocity (CSV) / Cyclic Synchronous Torque (CST)

Für Anwendungen, in denen eine übergeordnete Steuerung die Bahnplanung auch für mehrere Achsen synchronisiert übernimmt. Die Sollwerte für Position, Geschwindigkeit und Strom werden laufend aktualisiert. Übliche Aktualisierungsraten liegen im Bereich weniger Millisekunden. Cyclic Modes eignen sich daher primär zur Kombination mit EtherCAT. Auch CANopen kann verwendet werden.

### Analog Position Control (APC) / Analog Velocity Control (AVC) / Analog Torque Control (ATC)

Für Anwendungen, in denen die Sollwerte der Regelung analog oder z.B. über einen direkt angeschlossenen Referenzencoder vorgegeben werden. Diese Betriebsarten eignen sich daher insbesondere für den Stand-Alone Betrieb ohne übergeordneten Master.

### Spannungssteller (Voltmode)

Im Spannungssteller ist lediglich ein Strombegrenzungsregler im Einsatz. Alle Regelschleifen werden von einem übergeordneten System geschlossen. Die Sollwertvorgabe kann über das Kommunikationssystem oder über einen analogen Eingang erfolgen.

### Schnittstellen – Diskrete I/O

Drei bis acht digitale Eingänge zum Anschluss von End- und Referenzschaltern oder zum Anschluss eines Referenzencoders. Die Logikpegel sind umschaltbar.

Zwei analoge Eingänge ( $\pm 10V$ ), die frei verwendbar als Soll- oder Istwert zur Verfügung stehen.

Zwei bis drei digitale Ausgänge, die frei verwendbar als Fehlerausgang, zur direkten Ansteuerung einer Haltebremse oder als flexibler Diagnoseausgang zur Verfügung stehen.

### Schnittstellen – Positionsgeber

FAULHABER Motion Controller der Generation V3.0 unterstützen alle an Kleinstmotoren übliche Gebersysteme für Position und Geschwindigkeit wie analoge oder digitale Hallsignale, Inkrementalgeber mit und ohne Linedriver oder protokollbasierte AES oder SSI Encoder.

## Optionen

Alle Controller können ab Werk optional mit einer EtherCAT Schnittstelle ausgestattet werden.

Für hoch dynamische Anwendungen kann der Einsatz eines Brems-Choppers zum Abbau von rückgespeicherter Energie sinnvoll sein.

# Motion Controller

## Technische Informationen

### Vernetzung

#### RS – Systeme mit RS232 Schnittstelle

Ideal für den Gerätebau und für alle Anwendungen, in denen der Motion Controller an einem Embedded Steuergerät betrieben werden soll. Über den Net-Mode können auch mehrere RS Controller an einer RS232 Schnittstelle betrieben werden. Die Übertragungsrate kann zwischen 9600 Baud und 115 kBaud liegen.

#### CO – CANopen nach CiA 402

Die ideale Variante für den Betrieb eines FAULHABER Motion Controllers an einer SPS – direkt über das CANopen Interface oder über ein Gateway an z. B. Profibus/ProfiNET oder auch an EtherCAT. Dynamisches PDO Mapping sowie Node-Guarding oder Heartbeat werden unterstützt. Übliche Aktualisierungsraten für Soll- und Istwerte liegen hier ab 10 ms.

#### ET – EtherCAT

Motion Controller mit direkter EtherCAT Schnittstelle. Die Controller werden über CoE über das CiA 402 Servodrive Profile angesprochen. Ideal in Kombination mit einer leistungsfähigen Industriesteuerung, die auch die Bahnplanung und Interpolation der Bewegung für mehrere Achsen übernimmt. Aktualisierungsraten für Soll- und Istwerte ab 0,5 ms werden unterstützt.

### Schnittstellen – Busanbindung

#### Konfiguration

Alle Motion Controller der Generation V3.0 verfügen über eine USB-Schnittstelle. Diese ist primär als Konfigurationsschnittstelle vorgesehen. Über USB zu RS232 Wandler oder USB zu CAN Wandler können die Antriebe alternativ ebenso uneingeschränkt konfiguriert werden. Alle beschriebenen Betriebsarten und Funktionen stehen unabhängig von der verwendeten Kommunikationsschnittstelle zur Verfügung.

Die Schnittstellen können auch parallel verwendet werden, so kann ein Antrieb über die CANopen oder EtherCAT Schnittstelle in ein industrielles Netzwerk eingebunden sein, während über die USB-Schnittstelle über die Trace-Funktion eine Diagnose ausgewertet wird.

### Hinweis

Gerätehandbücher zur Installation und Inbetriebnahme, Kommunikations- und Funktionshandbücher sowie die Software „FAULHABER Motion Manager“ sind auf Anfrage oder im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich.

### Allgemeine Angaben

#### Systembeschreibung

Die Produkte der Baureihen MC 5004, MC 5005 und MC 5010 sind gehäuste und ungehäuste Varianten der FAULHABER Motion Controller und steuern wahlweise DC-, LM- oder BL-Motoren an. Die Konfiguration der Motion Controller erfolgt dabei über den FAULHABER Motion Manager.

Über die CANopen- oder EtherCAT-Feldbusschnittstelle können die Antriebe im Netzwerk betrieben werden. In kleineren Aufbauten kann eine Vernetzung auch über die RS232-Schnittstelle erfolgen.

Der Motion Controller arbeitet im Netzwerk prinzipiell als Slave, eine Masterfunktionalität zur Ansteuerung weiterer Achsen ist nicht gegeben.

Alternativ können die Controller nach der Grundinbetriebnahme über den Motion Manager auch ohne Kommunikationsschnittstelle betrieben werden.

Die Controller der Baureihe MC 5004 können über die 50-Pin-Steckerleiste auf ein Motherboard aufgesteckt werden. Hierfür bietet FAULHABER ein Motherboard zum Anschluss von bis zu vier Controllern an.

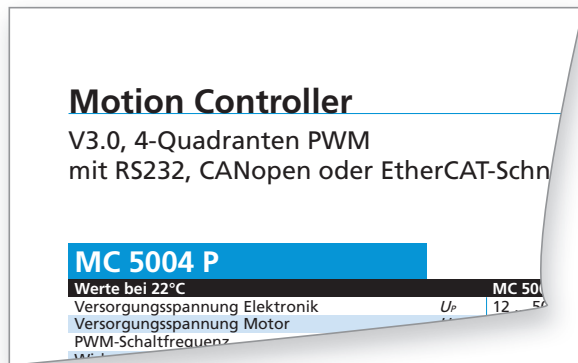
Die Controller der Baureihen MC 5005 und MC 5010 werden über die Montagebohrungen auf einer ebenen Grundplatte befestigt. Mit optionalem Zubehör ist auch die Montage an einer Hutschiene möglich.

#### Modifikationen und Zubehör

FAULHABER ist auf die Anpassung seiner Standardprodukte für kundenspezifische Anwendungen spezialisiert. Folgende Standardoptionen und Zubehörteile sind für FAULHABER Motion Controller MC V3.0 verfügbar:

- Anschlussleitungen für Versorgungs- und Motorseite
- Adaptersets für Encoder
- Steckersets
- Motherboard MC 5004
- Programmieradapter
- Starterkits
- Kundenspezifische Sonderparametrierung und Firmware





## Motion Controller

V3.0, 4-Quadranten PWM  
mit RS232, CANopen oder EtherCAT-Schnittstelle

### MC 5004 P

## Erläuterungen zu den Datenblättern

Die folgenden Datenblattwerte der Motion Controller werden bei einer Umgebungstemperatur von 22 °C gemessen bzw. berechnet.

Motion Controller der Generation V3.0 verfügen, bei gleichem Masseanschluss, generell über getrennte Versorgungseingänge für Motor und Elektronik, die bei Bedarf auch als gemeinsame Versorgung genutzt werden können.

### Versorgungsspannung Elektronik $U_p$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung für die Steuerelektronik.

### Versorgungsspannung Motor $U_{mot}$ [V DC]

Beschreibt den Bereich der zulässigen Versorgungsspannung der an die MC angeschlossenen Motoren.

### PWM-Schaltfrequenz $f_{PWM}$ [kHz]

Die Pulsweitenmodulation beschreibt den Wechsel der elektrischen Spannung zwischen zwei Werten. Glockenankermotoren weisen eine niedrige elektrische Zeitkonstante auf. Um die PWM bedingten Verluste niedrig zu halten, ist eine hohe Schaltfrequenz notwendig. In der Generation V3.0 liegt diese fest bei 100 kHz. Durch die Art der Pulsmustererzeugung (center aligned) ist die am Motor wirksame Schaltfrequenz doppelt so hoch.

### Wirkungsgrad Elektronik $\eta$ [%]

Verhältnis zwischen aufgenommener und abgegebener Leistung der Steuerelektronik.

### Max. Dauerausgangsstrom $I_{cont}$ [A]

Beschreibt den Strom, den der Controller bei 22 °C Umgebungstemperatur ohne zusätzliche Kühlung dauerhaft an den angeschlossenen Motor liefern kann.

### Max. Spitzenausgangsstrom $I_{max}$ [A]

Beschreibt den Strom, den der Controller bei S2-Betrieb (Kaltstart ohne zusätzliche Kühlung) bei Nennbedingungen unter konstanter Last für die im Datenblatt angegebene Zeit erreichen kann, ohne das thermische Limit zu überschreiten. Falls nicht abweichend definiert, gilt für den Wert des Spitzenstroms der Faktor drei im Verhältnis zum Dauerstrom.

### Stromaufnahme der Elektronik $I_{el}$ [A]

Beschreibt die zusätzliche Stromaufnahme der Regelelektronik.

### Betriebstemperaturbereich [°C]

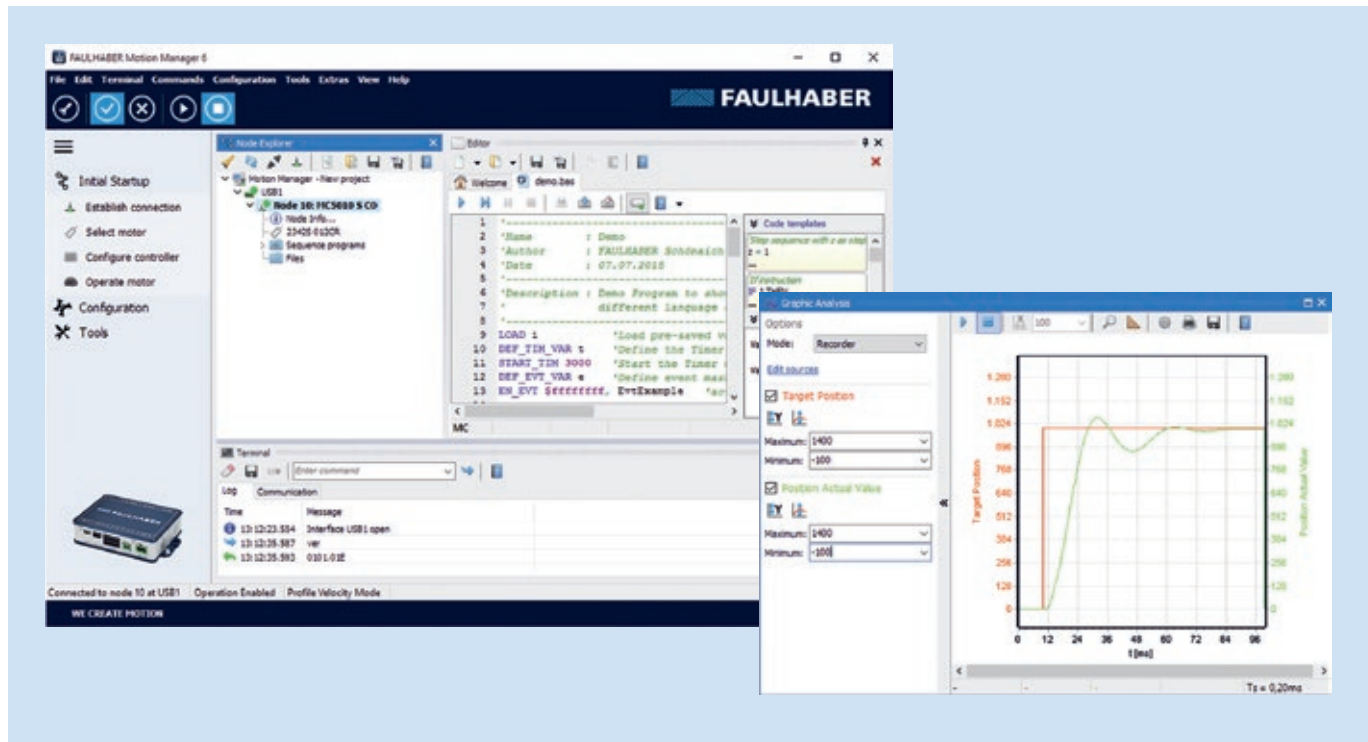
Gibt die minimale und maximale Betriebstemperatur unter Nennbedingungen wieder.

### Masse [g]

Die typische Masse des Standard Controllers kann durch unterschiedliche Bestückung innerhalb der einzelnen Schnittstellenvarianten voneinander abweichen.

# Motion Controller

## Software



### FAULHABER Motion Manager

Zur Inbetriebnahme und Konfiguration von Antriebssystemen mit Motion- und Speed Controllern steht die leistungsstarke Software „FAULHABER Motion Manager“ zur Verfügung.

Vom Motion Manager generell unterstützt werden die Schnittstellen RS232, USB und CANopen. Je nach angeschlossenem Gerät kann jedoch der Einsatz eines Schnittstellenadapters erforderlich werden, z.B. bei Parametrierung eines Motion Control Systems über USB.

Die grafische Benutzeroberfläche ermöglicht eine einheitliche und intuitive Vorgehensweise, unabhängig von der Gerätefamilie und der verwendeten Schnittstelle.

#### Folgende Eigenschaften zeichnen die Software aus:

- Inbetriebnahme-Unterstützung durch Assistenten
- Zugriff auf angeschlossene Geräte über Node-Explorer
- Konfiguration von Antriebsfunktionen und Reglerparametern über komfortable, auf die jeweilige Gerätefamilie abgestimmte Dialoge
- Kontextsensitive Online-Hilfe
- Nur bei Motion Controllern:
  - Grafische Analyse-Werkzeuge für Antriebsverhalten und Reglereinstellung
  - Makro-Funktion zur Ausführung von Befehlssequenzen
  - Entwicklungsumgebung für Ablaufprogramme und Visual Basic Script Programme

#### Neuerungen im Motion Manager 6:

- Komplett überarbeitete Benutzeroberfläche mit Fenster-Docking-Funktion
- Node-Explorer mit integrierter Projektverwaltung
- Unterstützung für Motion Controller der Familie MC V3.0
  - Reglerkonfiguration mit Streckenidentifikation
  - Erweiterte grafische Analysemöglichkeiten
  - Weitere Werkzeuge für Bedienung und Regler-Tuning

Unterstützte Schnittstellen	Motion Controller Motion Control Systems	Speed Controller Speed Control Systems
RS232	•	•
USB	•	•
CANopen	•	

Der „FAULHABER Motion Manager“ für Microsoft Windows kann unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) kostenlos heruntergeladen werden.

### Inbetriebnahme und Konfiguration

Mit dem FAULHABER Motion Manager kann komfortabel auf Einstellungen und Parameter der angeschlossenen Steuerung zugegriffen werden.

Die Inbetriebnahme einer Steuerung wird durch Assistenten unterstützt. An den ausgewählten Schnittstellen erkannte Antriebseinheiten werden im Geräte-Explorer angezeigt.

Die aktuellen Schnittstellen- und Anzeigeeinstellungen können in Projektdateien gespeichert werden.

Ablaufprogramme zur Speicherung und Ausführung auf den Geräten können erstellt, bearbeitet, übertragen und ausgeführt werden. Möglichkeiten zur Fehlererkennung und Überwachung des Programmablaufs stehen ebenfalls zur Verfügung.

Die Bedienung einer Steuerung und die Ausführung von Fahraufträgen erfolgen über:

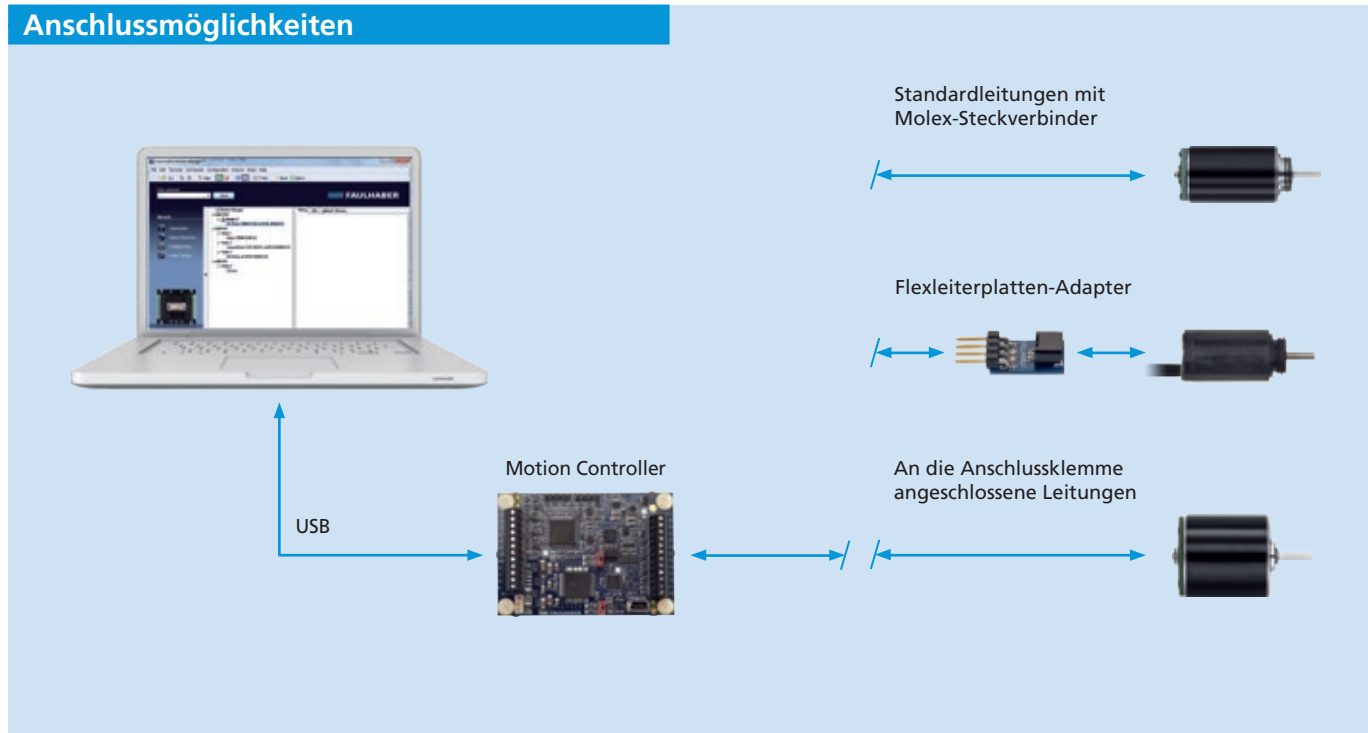
- Grafische Bedienelemente
- Befehlseingaben
- Makro-Funktionen
- Programmierung von Abläufen über Visual Basic Script (VBScript)

Über eine grafische Analysefunktion können Steuerungsparameter wie Soll- und Istwerte im Logger oder Recorder Mode aufgezeichnet werden. Zur Einstellung und Optimierung von Reglerparametern stehen weitere Werkzeuge zur Verfügung.

# Motion Controller für Schrittmotoren

## Technische Informationen

### Anschlussmöglichkeiten



### Merkmale

FAULHABER-Motion Controller für Schrittmotoren sind sehr dynamische Positionierungssysteme, die speziell auf die Anforderungen von Anwendungen mit Mikro-Schrittmotoren abgestimmt sind.

Diese Controller können nicht nur alle Schrittmotoren von FAULHABER ansteuern, sondern auch die Positionierung von drei Achsen verwalten (hierfür sind 2 weitere Boards erforderlich). Zu den zahlreichen Leistungsmerkmalen dieser Controller gehören Funktionen zur Referenzsuche und zum Encoder-Management.

Ebenfalls enthalten ist eine komplette integrierte Entwicklungsumgebung (IDE), in welcher der Anwender die gesamte Palette von Funktionalitäten über eine umfassende und bedienerfreundliche Oberfläche nutzen kann.

Die integrierten Systeme benötigen weniger Platz und machen die Installation durch ihren geringeren Verdrahtungsaufwand wesentlich einfacher.

### Vorteile

- Vollständig per Software programmierbar (grafische Benutzeroberfläche)
- USB-Schnittstelle
- 9V...36VDC / 50mA bis 1,1A
- Mikroschrittbetrieb bis 1/256
- 4 GPI und 7 GPO
- Als reine Schritt-/Richtungssteuerung einsetzbar
- Referenzeingang (für Homing-Funktionen)
- Kompatibel mit LabView
- Leiterplattengröße: 68mm x 47,5mm

### Produktkennzeichnung



MC	Motion Controller
ST	Schrittmotor
36	Max. Betriebsspannung (36V)
01	Max. Dauerausgangsstrom (1A)

MC ST 36 01

# Motion Controller für Schrittmotoren

## Technische Informationen

### Haupteigenschaften

#### Motion Controller

- Berechnung von Bewegungsprofilen in Echtzeit
- Unmittelbare Änderung von Motorparametern (z.B. Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung)
- Hochleistungs-Mikrocontroller für Steuerungen des Gesamtsystems und zum Handling von seriellen Kommunikationsprotokollen

#### Bipolare Schrittmotor-Steuerung

- Bis zu 256 Mikroschritte pro Vollschritt
- Hocheffizienter Betrieb, niedrige Verlustleistung
- Dynamische Stromregelung
- Integrierte Schutzfunktion

#### Software

- TMCL™: Stand-alone-Betrieb oder ferngesteuerter Betrieb
- PC-basierte Anwendungs-Entwicklungssoftware TMCL™ – Integrierte Entwicklungsumgebung (IDE) kostenlos erhältlich.

### Betriebsarten

#### Stand-alone-Modus

Ein Programm wird in den Speicher auf dem Controller-Board geladen und beim Einschalten des Systems gestartet. Die Software ist in der Lage, auf externe Impulse z.B. von digitalen Ein- und Ausgängen, Encodern, Sensoren usw. zu reagieren. Dem Programmierer steht neben der Standard-Prozessorbefehlsliste auch eine komplette Liste von Steuerfunktionen für die Motorpositionierung zur Verfügung.

#### Direktmodus

Mit IDE-„Direktmodus“-Funktionen kann der Anwender Befehle über die USB-Verbindung nacheinander an das Board senden. Statusinformationen und Positions- bzw. Geschwindigkeitswerte können vom Anwender in Echtzeit über die dafür vorgesehene grafische Bedienoberfläche (GUI) gelesen werden.

#### Remote-Software

Der Controller kann im Fernzugriff über eine USB-Verbindung von einer beliebigen vom Anwender entwickelten Software gesteuert werden. Es stehen Labview- und C++-Bibliotheken zur Verfügung, die mit dem Controller verwendet werden können.

### Spezialfunktionen

#### Geschwindigkeitsprofile

Motorbewegungen werden unter Verwendung von benutzerdefinierten Geschwindigkeitsprofilen bewerkstelligt. Letztere können unter Verwendung einer kompletten Parameter-Berechnungs-Oberfläche eingerichtet werden, die den Anwender dabei unterstützt, die am besten geeigneten Geschwindigkeitswerte zu finden.

#### StallGuard™

Die Stillstandserkennungsfunktion ermöglicht es dem Controller, auf eventuelle Schrittverluste zu reagieren, und kann außerdem zum Erkennen von harten Motoranschlägen verwendet werden.

#### CoolStep™

Der zum Motor fließende Strom wird bei Lastschwankungen automatisch angepasst. Diese Funktion ermöglicht das Verringern der Leistungsaufnahme des Gesamtsystems.

#### Homing

Die Referenzsuche kann vom Controller beim Starten automatisch ausgeführt werden. Der Anwender kann vorgeben, auf welche Weise dieser Vorgang ausgeführt werden soll (Richtung, Schaltnummer, Herkunftsort usw.).

### Schnittstellen

- USB-Geräteschnittstelle (On-Board Mini-USB-Steckverbinder)
- 6 Open-Drain-Ausgänge (mit 24V kompatibel)
- REF\_L-/ REF\_R-/ HOME-Schaltereingänge (mit 24V kompatibel, mit programmierbaren Pull-ups)
- 1 S/D-Eingang („Step-and-Direction“-Eingang) für den On-Board-Treiber (der On-Board Motion Controller kann deaktiviert werden)
- 2 „Step-and-Direction“-Ausgänge für zwei separate externe Treiber (zusätzlich zum On-Board-Treiber)
- 1 Encoder-Eingang für a/b/n-Inkremental-Encoder
- 3 Universal-Digitaleingänge (mit 24V kompatibel)
- 1 Analogeingang (0 ... 10V)

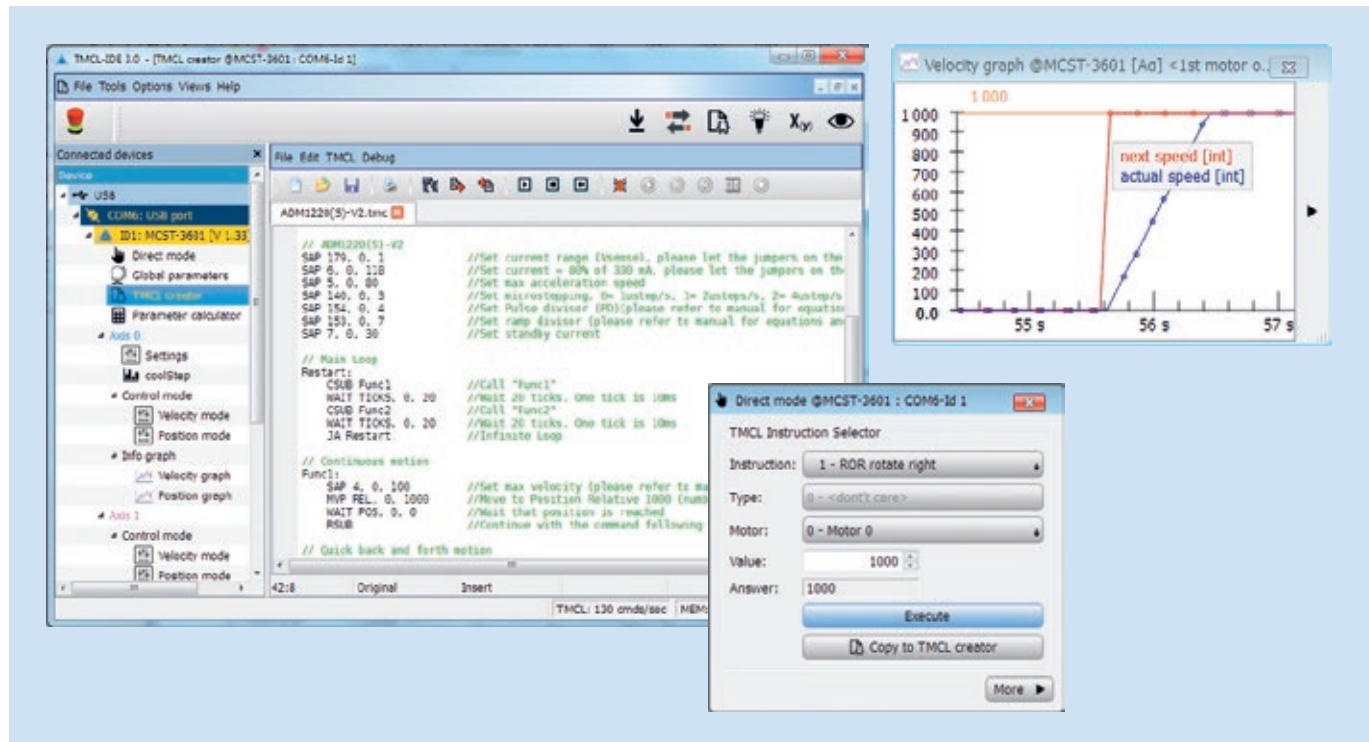
Bitte beachten: Da Anschluss-Pins mehrfach genutzt werden, sind nicht alle Funktionen gleichzeitig verfügbar.

### Bemerkungen

Gerätehandbücher für die Installation und Inbetriebnahme, Kommunikations- und Funktionshandbücher sowie die Software „TMCL™ – IDE“ sind auf Anfrage und im Internet unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) erhältlich.

# Motion Controller für Schrittmotoren

## Software



### TMCL™ – IDE

Die Hochleistungs-Softwarelösung „TMCL™ – IDE“ ermöglicht dem Anwender das Steuern und Konfigurieren des Schrittmotor-Controllers über die USB-Schnittstelle.

Die Software „TMCL™ – IDE“ und zahlreiche Programmbeispiele stehen zum kostenlosen Download unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) zur Verfügung.

### Inbetriebnahme und Konfiguration

Treiber und Bibliotheken werden zusammen mit der Software TMCL™-IDE automatisch installiert. Ein angeschlossener Controller wird von der Software sofort erkannt. Die grafische Bedienoberfläche kann zum Auslesen, Ändern und erneuten Laden von Konfigurationen verwendet werden. Einzelne Befehle oder komplette Parametersätze und Programmabläufe können eingegeben und zum Controller übertragen werden.

Der Betrieb von Antrieben wird von mehreren Assistenten ebenfalls unterstützt, die dem Anwender beim einfachen Einrichten aller Parameter helfen.

Schnellstart-, Hardware- und komplette Firmware-Benutzerhandbücher stehen dem Anwender unter [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com) ebenfalls zum kostenlosen Download zur Verfügung. Bitte schlagen Sie vor der erstmaligen Verwendung im Schnellstart-Handbuch nach.



## Mehr Informationen



[faulhaber.com](https://www.faulhaber.com)



[faulhaber.com/facebook](https://www.faulhaber.com/facebook)



[faulhaber.com/youtubeDE](https://www.faulhaber.com/youtubeDE)



[faulhaber.com/linkedin](https://www.faulhaber.com/linkedin)



[faulhaber.com/instagram](https://www.faulhaber.com/instagram)