

DC-Motoren

Technische Informationen



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.

DC-Kleinstmotoren

Technische Informationen

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 1331 ... SR

Werte bei 22°C und Nennspannung
Nennspannung

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 [Ω] $\pm 12\%$

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 η_{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 [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.

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.

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

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⁻¹/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⁻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⁻¹/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 τ_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 [gcm²]

Das Massenträgheitsmoment des Rotors.

Winkelbeschleunigung α_{max} [rad/s²]

Die Beschleunigung aus dem Stillstand ohne Last und bei Nennspannung.

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

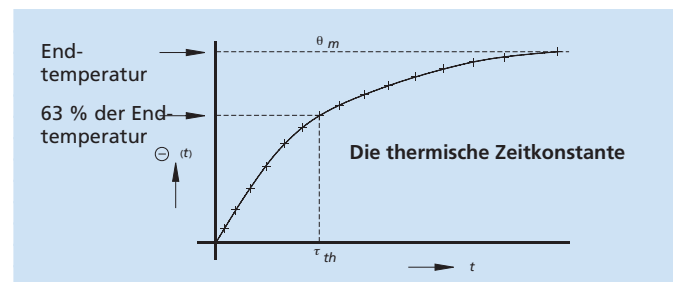
Wärmewiderstand $R_{th1}, R_{th2}, R_{th2p}, R_{th2m}$ [K/W]

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

R_{th2} entspricht dem Wärmewiderstand zwischen Gehäuse und Umgebung. R_{th2p} entspricht dem Wärmewiderstand von einem am Kunststoffflansch angeflanschten Motor zur Umgebung. R_{th2m} entspricht dem Wärmewiderstand von einem am Metallflansch angeflanschten Motor zur Umgebung. Die R_{th2} -Werte können reduziert werden, indem ein Wärmeaustausch zwischen Motor und Umgebung ermöglicht wird (z.B. durch eine Zwangsbelüftung).

Thermische Zeitkonstante $\tau_{w1}, \tau_{w2}, \tau_{w2p}, \tau_{w2m}$ [s]

Beschreibt die Zeit, die die Wicklung (τ_{w1}) und das Gehäuse (τ_{w2p}, τ_{w2m}) 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.

DC-Kleinstmotoren

Technische Informationen

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} [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 anwendungs-

nah mit dem R_{th2p} am Kunststoffflansch berechnet. 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]

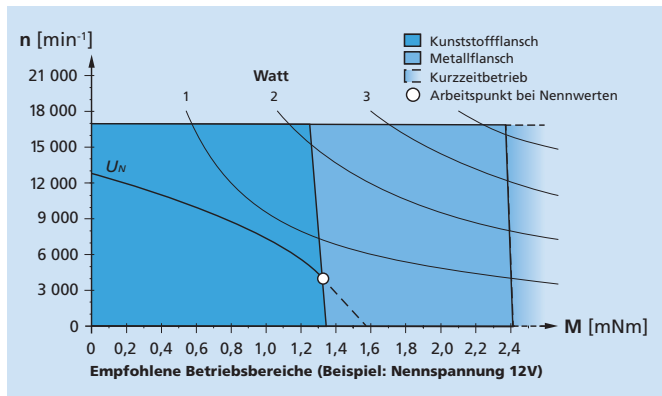
Der typische maximale Dauerstrom in eingeschwungenem Zustand, der aus dem Nenndrehmoment bei Dauerbetrieb resultiert. Dieser Wert beinhaltet eine geringere k_M (Drehmomentkonstante), da der Temperaturkoeffizient der Wicklung sowie die thermischen Eigenschaften des eingesetzten Magnetmaterials berücksichtigt 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 [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

Im Diagramm ist die empfohlene Drehzahl in Abhängigkeit vom verfügbaren Drehmoment an der Abtriebswelle bei einer Umgebungstemperatur von 22°C angegeben. Das Diagramm stellt den Motor unter verschiedenen Zuständen der thermischen Kopplung dar, d.h. montiert an einem Kunststoffflansch bzw. einem Metallflansch.

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 $R_{th2}, R_{th2,p}$ Wertes um 50% 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 $R_{th2}, R_{th2,p}$ 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	δ
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	min ⁻¹
Einschaltdauer	δ	= 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:

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

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

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

DC-Kleinstmotoren

Technische Informationen

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 ⁻¹
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 Anhaltmomentes 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

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

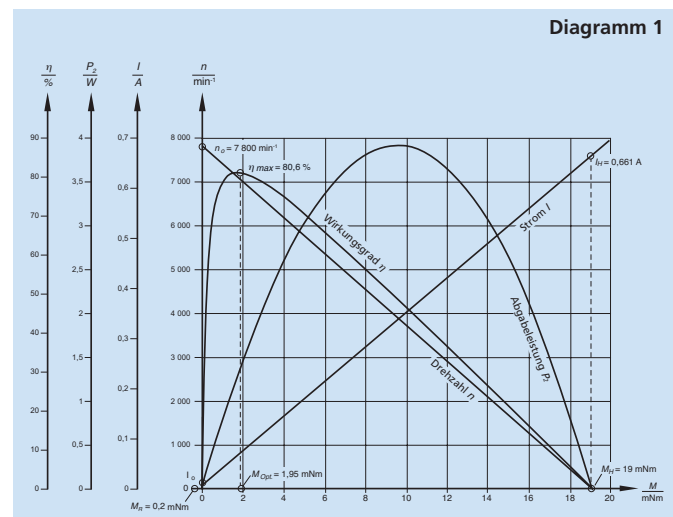
$$I_H = \frac{24 \text{ V}}{36,3 \, \Omega} = 0,661 \text{ A}$$

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 Ω
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. η_{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 η 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 ⁻¹
Nennmoment	M_N	=	3 mNm
Strom	I	=	0,11 A
Abgabeleistung	P_2	=	1,73 W
Wirkungsgrad	η	=	75,7 %

DC-Kleinstmotoren

Technische Informationen

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 ΔT zur Umgebungstemperatur, um die Motorwicklungstemperatur unter Last zu schätzen.

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

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

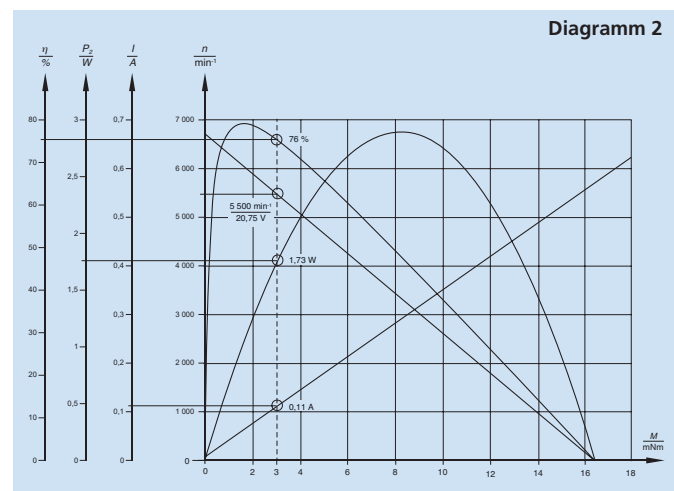
Diese Berechnung bestätigt, dass sich die Temperatur ausreichend innerhalb des spezifizierten Standard-Betriebstemperaturbereiches befindet, ebenso wie die maximale Wicklungstemperatur.

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

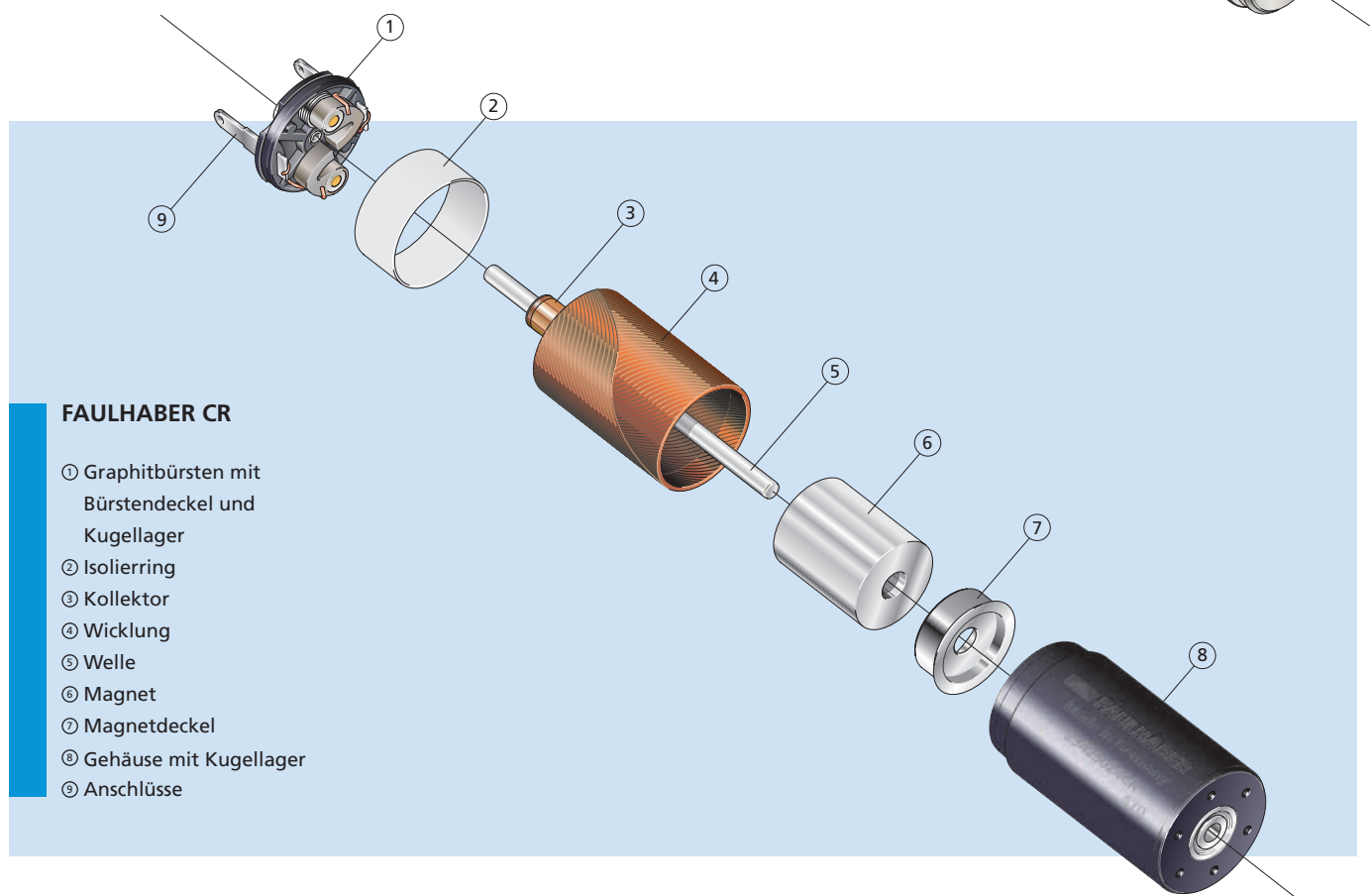
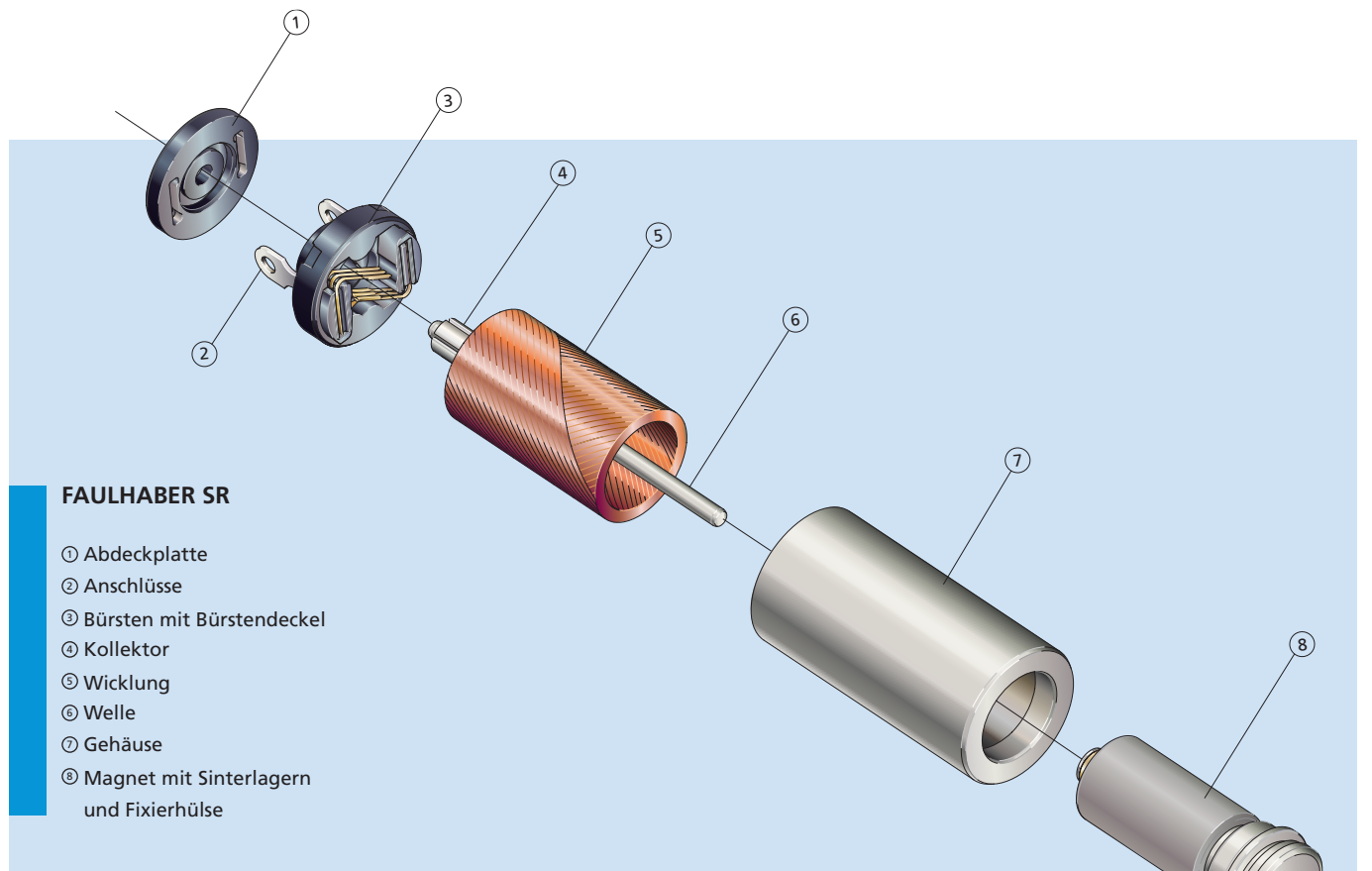
Die verschiedenen Parameter für ein bestimmtes Drehmoment können dem Diagramm 2 entnommen werden.

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



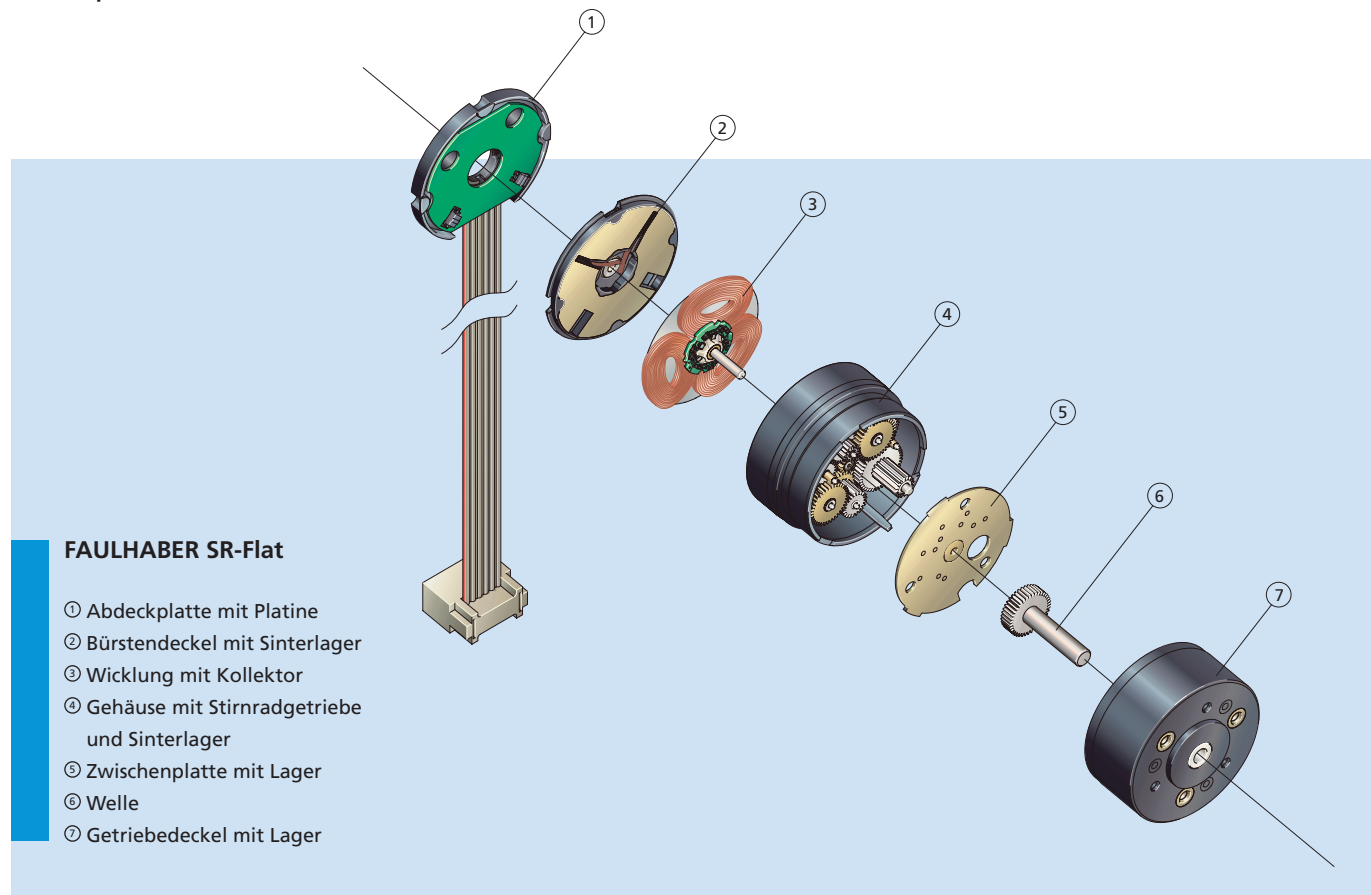
DC-Kleinstmotoren

Prinzipieller Aufbau



DC-Flachmotoren

Prinzipieller Aufbau



DC-Kleinstmotoren mit Edelmetallkommutierung

Herausragend in dieser Produktfamilie ist in erster Linie der Rotor, bestehend aus einer freitragenden, in Schrägwicklung hergestellten Kupferwicklung ohne Eisenkern. Das daraus resultierende geringe Gewicht gewährleistet ein minimales Trägheitsmoment. In Verbindung mit dem rastmomentfreien Lauf bestechen diese Motoren durch einzigartige Dynamik.

Kompaktheit, niedrige Stromaufnahme, ein präzises störungsarmes Kommutierungssignal sowie einfache Regelbarkeit prädestinieren diese Produktfamilie für den Einsatz in unterschiedlichsten Marktsegmenten wie z.B. motorisierte Handgeräte, Pumpen, Automatisierungstechnik, Optik oder Gerätebau.

Kombinierbar mit einer Vielzahl von Getrieben, Encodern und Ansteuerungen bietet FAULHABER die passende Systemlösung auch für anspruchsvollste Anforderungen.

Serien dieser Baureihe

0615 ... S	1219 ... G
1516 ... S	1624 ... S
2230 ... S	2233 ... S

Eckdaten

Motordurchmesser	6 ... 22 mm
Motorlänge	15 ... 33 mm
Nennspannung	1,5 ... 40 V
Drehzahl	bis 24.000 min ⁻¹
Dauerdrehmoment	bis 5,9 mNm
Dauerleistung	bis 8 W



22 30 T 012 S

Produktkennzeichnung

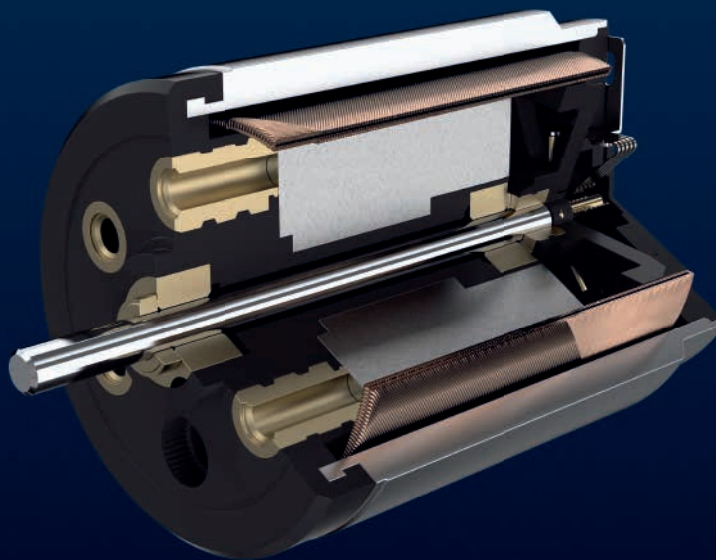
22	Motordurchmesser [mm]
30	Motorlänge [mm]
T	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
S	Produktfamilie

WE CREATE MOTION

FAULHABER S/G

Vorzüge dieser Baureihe im Überblick

- Hochleistungs-Magnete
- Weiter Betriebstemperaturbereich
- Ganzstahlgehäuse mit korrosionsbeständiger Beschichtung
- Kein Rastmoment, hohe Dynamik, präziser Gleichlauf
- Geringe Stromaufnahme – niedrige Anlaufspannung
- Extrem kompakte und leichte Bauform



DC-Kleinstmotoren mit Edelmetallkommutierung

Für exakte Positionieraufgaben bilden bei der Baureihe SR kompakte, edelmetallkommutierte DC-Kleinstmotoren, eine hochauflösende Encodertechnologie sowie ein umfangreiches Sortiment von hochpräzisen Planeten- und Stirnradgetrieben eine perfekt aufeinander abgestimmte Arbeitsgemeinschaft.

Diese Art des Kommutierungssystems besticht durch seine geringe Größe, den äußerst niedrigen Übergangswiderstand und das präzise, störungsarme Kommutierungssignal. Es eignet sich besonders für Anwendungen mit geringerer Strombelastung und dem Einsatz in batteriebetriebenen Applikationen.

Die lineare Charakteristik der Motoren sowie ein minimales Rotorträgheitsmoment gewährleisten eine einfache und gleichzeitig hochdynamische Regelung.

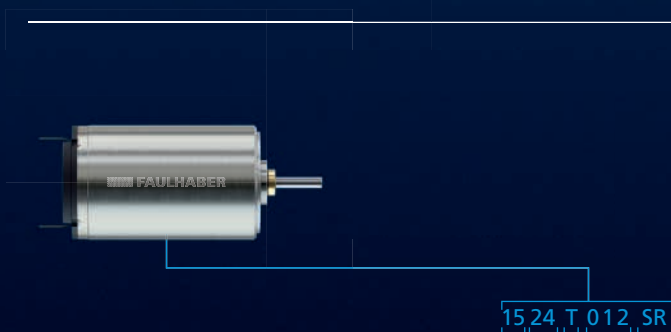
Kombinierbar mit einer Vielzahl von Getrieben, Encodern und Ansteuerungen bietet FAULHABER die passende Systemlösung auch für anspruchsvollste Anforderungen.

Serien dieser Baureihe

0816 ... SR	1016 ... SR
1024 ... SR	1224 ... SR
1319 ... SR	1331 ... SR
1516 ... SR	1524 ... SR
1717 ... SR	1724 ... SR
2224 ... SR	2232 ... SR

Eckdaten

Motordurchmesser	8 ... 22 mm
Motorlänge	16 ... 32 mm
Nennspannung	3 ... 36 V
Drehzahl	bis 17.000 min ⁻¹
Dauerdrehmoment	bis 10 mNm
Dauerleistung	bis 8,5 W



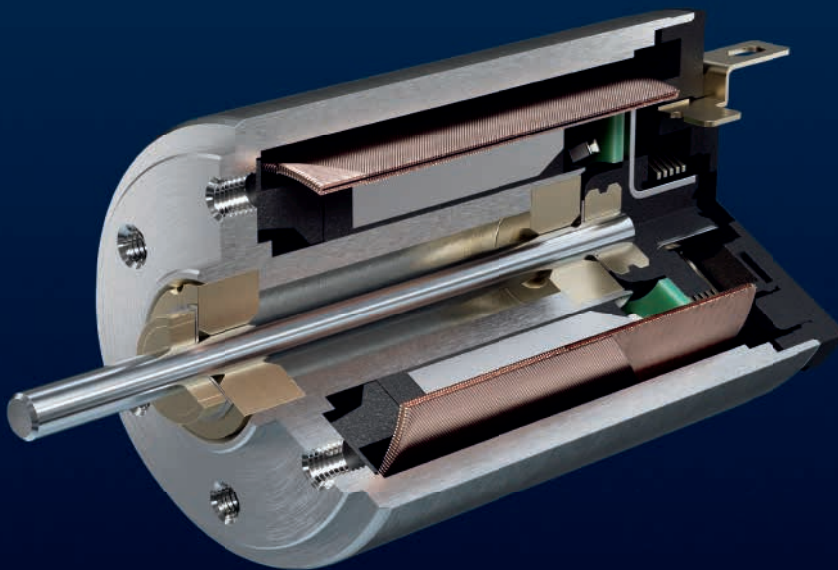
Produktkennzeichnung

15	Motordurchmesser [mm]
24	Motorlänge [mm]
T	Abtriebsart
012	Nennspannung [V]
SR	Produktfamilie

FAULHABER SR

Vorzüge dieser Baureihe im Überblick

- Hochleistungs-Selten-Erd-Magnete
- Weiter Betriebstemperaturbereich:
-30 °C bis +85 °C (optional bis +125 °C)
- Ganzstahlgehäuse mit
korrosionsbeständiger Beschichtung
- Kein Rastmoment, hohe Dynamik,
präziser Gleichlauf
- Geringe Stromaufnahme –
niedrige Anlaufspannung
- Extrem kompakte und leichte Bauform
mit integriertem Encoder



DC-Kleinstmotoren mit Graphitkommutierung

Die Baureihe CXR kombiniert Kraft, Robustheit und Kontrolle in kompakter Bauform. Dafür sorgen eine Graphitkommutierung, hochwertige Neodym-Magnete und die bewährte Wicklung des FAULHABER-Rotors.

Der leistungsstarke Neodym-Magnet verleiht den Motoren eine hohe Leistungsdichte mit einem Dauerdrehmomentbereich von 3,6 bis 40 mNm. Die überzeugenden Leistungsdaten und die kompakte Größe eröffnen ein großes Spektrum möglicher Anwendungen zu optimiertem Preis-/Leistungsverhältnis. Für die Auslegung auf Anwendungen mit präziser Drehzahlregelung oder Positionieraufgaben kann der Antrieb standardisiert durch den Anbau von hochauflösenden optischen oder magnetischen Encodern kombiniert werden. Ein breites und optimal abgestimmtes Getriebeprogramm steht zur Erweiterung der Anforderung zur Verfügung.

Serien dieser Baureihe

1336 ... CXR	1727 ... CXR
1741 ... CXR	2237 ... CXR
2642 ... CXR	2657 ... CXR

Eckdaten

Motordurchmesser	13 ... 26 mm
Motorlänge	27 ... 57 mm
Nennspannung	6 ... 48 V
Drehzahl	bis 10.000 min ⁻¹
Dauerdrehmoment	bis 40 mNm
Dauerleistung	bis 34 W



Produktkennzeichnung

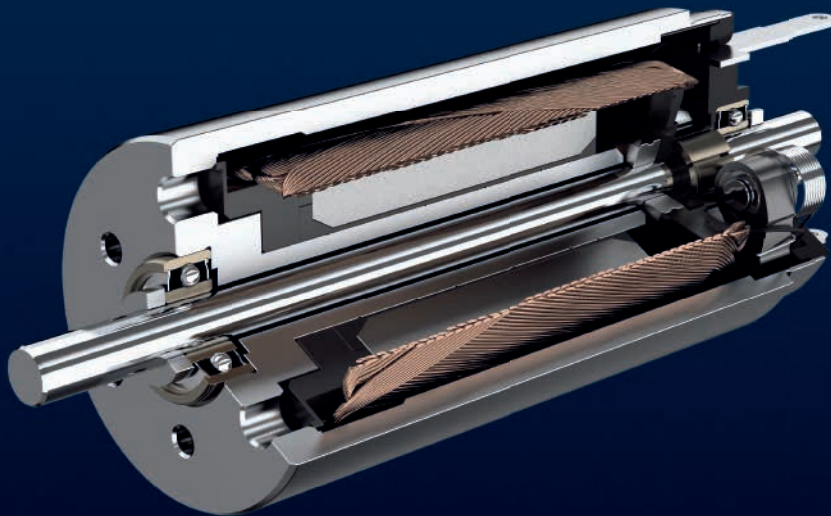
26	Motordurchmesser [mm]
57	Motorlänge [mm]
W	Abtriebsart
024	Nennspannung [V]
CXR	Produktfamilie

WE CREATE MOTION

FAULHABER CXR

Vorzüge dieser Baureihe im Überblick

- Hohe Dynamik dank minimalem Rotorträgheitsmoment
- Erschütterungsfestes Ganzstahlgehäuse mit korrosionsbeständiger Beschichtung
- Hochleistungs-Selten-Erd-Magnet
- Weiter Betriebstemperaturbereich: -30 °C bis 100 °C (optional -55 °C)
- Langlebige Graphitkommutierung
- Rastmomentfrei
- Sehr hohe Leistungsdichte



DC-Kleinstmotoren mit Graphitkommutierung

Für die enorme Power der Baureihe CR sorgen eine Graphitkommutierung mit großer Stabilität und geringem Verschleiß, sehr leistungsstarke Neodym-Magnete und ein besonders hoher Kupferanteil in der Wicklung des FAULHABER-Rotors. Der kraftvolle Leistungsbereich von 19 bis 224 mNm beeindruckt bei Hochleistungsapplikationen mit schnellen Start-/Stopp oder periodischen Überlastbedingungen. Dank der höchsten Leistungsdichte sowie der höchsten Dynamik mit minimalem Rotorträgheitsmoment, ist die CR-Familie die leistungsstärkste Produktfamilie des gesamten DC-FAULHABER Portfolios. Für die Auslegung auf Anwendungen mit präziser Drehzahlregelung oder Positionieraufgaben kann der Antrieb standardisiert durch den Anbau von hochauflösenden optischen oder magnetischen Encodern kombiniert werden. Ein breites und optimal abgestimmtes Getriebeprogramm steht zur Erweiterung der Anforderung zur Verfügung.

Serien dieser Baureihe

2342 ... CR	2642 ... CR
2657 ... CR	2668 ... CR
3242 ... CR	3257 ... CR
3272 ... CR	3863 ... CR
3890 ... CR	

Eckdaten

Motordurchmesser	23 ... 38 mm
Motorlänge	42 ... 90 mm
Nennspannung	6 ... 48 V
Drehzahl	bis 11.000 min ⁻¹
Dauerdrehmoment	bis 224 mNm
Dauerleistung	bis 160 W



3272 G 024 CR

Produktkennzeichnung

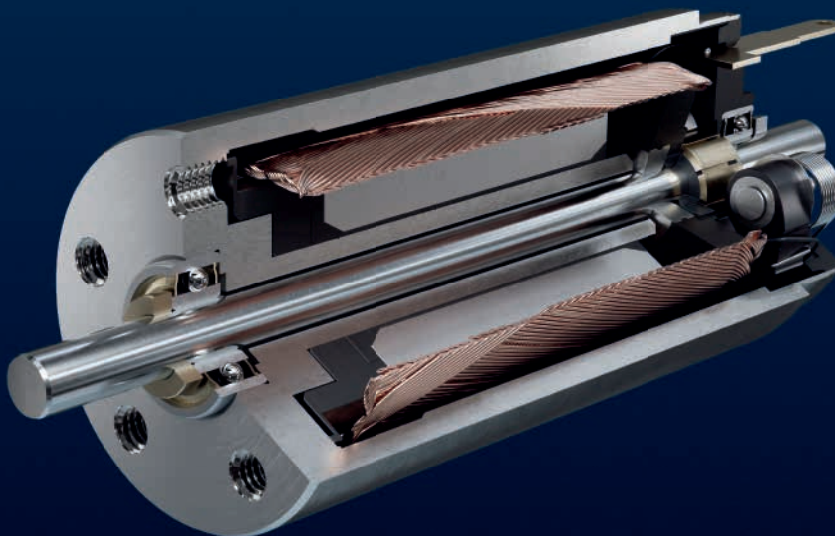
32	Motordurchmesser [mm]
72	Motorlänge [mm]
G	Abtriebsart
024	Nennspannung [V]
CR	Produktfamilie

WE CREATE MOTION

FAULHABER CR

Vorzüge dieser Baureihe im Überblick

- Höchste Dynamik dank minimalem Rotorträgheitsmoment
- Erschütterungsfestes Ganzstahlgehäuse mit korrosionsbeständiger Beschichtung
- Hochleistungs-Selten-Erd-Magnet
- Weiter Betriebstemperaturbereich: -30 °C bis 125 °C (optional -55 °C, Wicklung bis 155 °C)
- Langlebige Graphitkommutierung
- Rastmomentfrei
- Höchste Leistungsdichte



DC-Flachmotoren und DC-Getriebemotoren

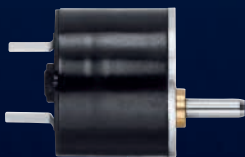
Edelmetallkommutierte DC-Kleinstmotoren mit einer einzigartig flachen Spulentechnologie mit drei flachen freitragenden Kupferwicklungen bilden bei der Baureihe SR-Flat die Basis für Antriebssysteme in Anwendungsbereichen mit sehr geringem Bauraum. Mit Hochleistungs-Selten-Erd-Magneten liefern die Motoren eine Dauerleistung von 0,8 W bis 4 W und haben dabei ein nur minimales Trägheitsmoment. Die Motoren sind mit integrierten Getrieben und optischen Encodern verfügbar – beides auf die Motoren abgestimmt in extrem flacher Bauform. In Verbindung mit integrierten Getrieben und Encodern steht damit ein sehr kompaktes Antriebssystem mit erhöhtem Abtriebsmoment zur Verfügung.

Serien dieser Baureihe

1506 ... SR	1506 ... SR IE2-8
1512 ... SR	1512 ... SR IE2-8
2607 ... SR	2607 ... SR IE2-16
2619 ... SR	2619 ... SR IE2-16

Eckdaten

Motordurchmesser	15 ... 26 mm
Motorlänge	6 ... 19 mm
Nennspannung	3 ... 24 V
Drehzahl	bis 16.000 min ⁻¹
Dauerdrehmoment	bis 100 mNm
Dauerleistung	bis 4 W



15 12 U 006 SR 324:1

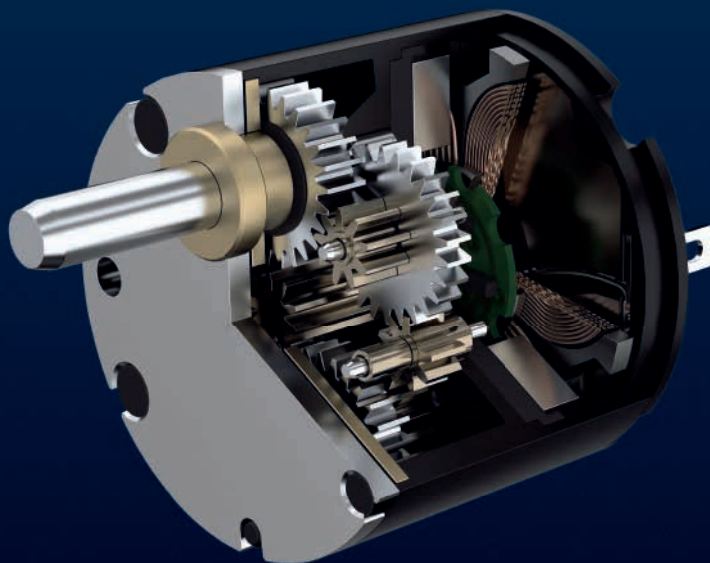
Produktkennzeichnung

15	Motordurchmesser [mm]
12	Motorlänge [mm]
U	Abtriebsart
006	Nennspannung [V]
SR	Produktfamilie
324:1	Getriebeuntersetzung

FAULHABER SR-Flat

Vorzüge dieser Baureihe im Überblick

- Extrem flache Bauweise.
Längenbereich von 6 mm bis 19 mm
- 4-Pol-Bauweise
- Minimales Trägheitsmoment
- Integrierte Stirnradgetriebe minimaler Länge mit hohen Untersetzungsverhältnissen lieferbar
- Verfügbar mit integrierten optischen Encodern



Mehr Informationen



[faulhaber.com](https://www.faulhaber.com)



[faulhaber.com/facebook](https://www.faulhaber.com/facebook)



[faulhaber.com/youtube](https://www.faulhaber.com/youtube)



[faulhaber.com/linkedin](https://www.faulhaber.com/linkedin)



[faulhaber.com/instagram](https://www.faulhaber.com/instagram)

Version:

18. Auflage, 2023

Copyright

by Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG
Faulhaberstraße 1 · 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