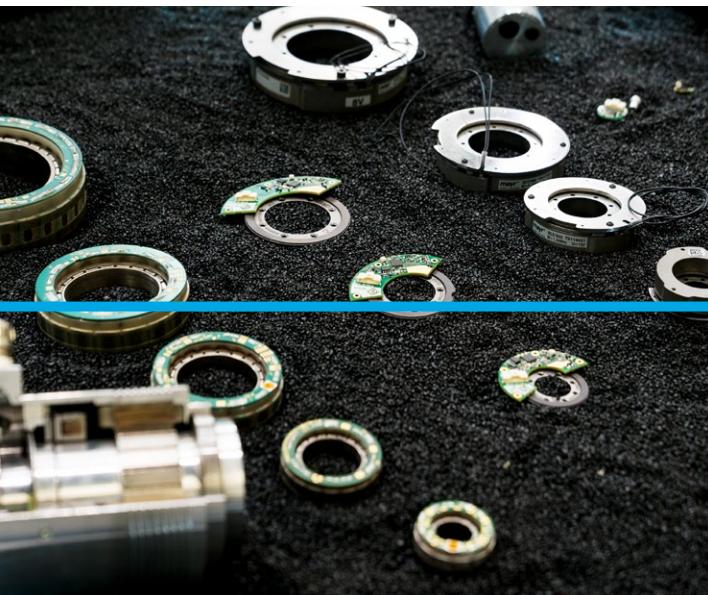




WHITEPAPER

Vom Frameless-Servomotor zum kompletten Antrieb

In fünf Schritten zur erfolgreichen Systemintegration



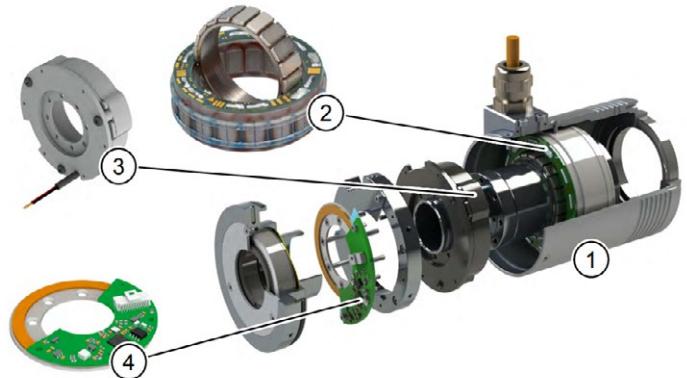
Inhalt

Servomotor	4
Sensorik	6
Getriebe	8
Motor-Controller	9
Integration des Gesamtsystems	10

Erfolgreiche Systemintegration durch durchdachte Komponentenauswahl

Frameless-Servomotoren bieten entscheidende Vorteile gegenüber Standard-Servomotoren mit Gehäuse: Sie ermöglichen eine platzsparendere Integration, reduzieren das Gesamtgewicht und eliminieren überflüssige Bauteile wie zusätzliche Gehäuse und Aufnahmestrukturen.

Eine durchdachte Systemintegration führt zu einer effizienten, leichten und leistungsstarken Antriebslösung. Doch um Motor, Steuerung und mechanische Komponenten optimal auszulegen, gilt es bereits in der Planungsphase wesentliche Parameter klar zu definieren. Die gewünschte Applikation entscheidet letztendlich über die Komponentenauswahl und deren Zusammensetzung. Dieses Whitepaper zeigt Ihnen, wie Sie anhand dieser zentralen Parameter die richtigen Komponenten des Antriebs auswählen, eine effiziente Systemintegration gewährleisten und Ihre Anwendung leistungsstark, zuverlässig und wirtschaftlich gestalten.



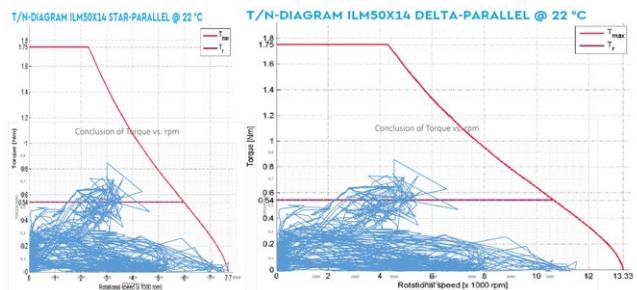
Systemkomponenten eines Antriebs mit Hohlwellenmotor

- 1 Hohlwellenmotor mit integrierter Sicherheitsbremse
- 2 ILM Servo-Kit
- 3 Sicherheitsbremse
- 4 Absoluter Positionssensor

Zentrale Fragen vor der Auswahl der Antriebskomponenten:

- ✓ Welche **Leistung** muss der Antrieb bereitstellen? (Drehmoment, Drehzahl)
- ✓ Welche **Eingangsgrößen** stehen zur Verfügung? (Betriebsspannung, Stromstärke, Steuerungsschnittstellen)
- ✓ Welche **weiteren Anforderungen** müssen erfüllt sein? (Gewicht, Größe, Massenträgheit)
- ✓ Welche **Anforderungen stellt die Applikation?** (Genauigkeit, Geschwindigkeit, Sicherheit, Bremsen)

Aus den tatsächlichen Betriebsbedingungen der Applikation ergibt sich ein Lastprofil, das der Antrieb erfüllen muss. Es beschreibt, wie sich Drehmoment und Drehzahl über die Zeit verändern, welche Spitzenbelastungen auftreten und welche thermischen Anforderungen es zu berücksichtigen gilt.



Ein beispielhaftes Lastprofil eines Antriebs für Exoskelette

Die verschiedenen Komponenten des Antriebs

1

Servomotor

Die Wahl des richtigen Servomotors ist entscheidend für die Entwicklung anspruchsvoller Antriebssysteme. Das trifft dann zu, wenn der Antrieb eine zentrale Rolle in der

Anwendung spielt und es für die Funktion des Produkts essenziell ist, dass dieser besonders leistungsstark, aber gleichzeitig kompakt, leicht und effizient ist.

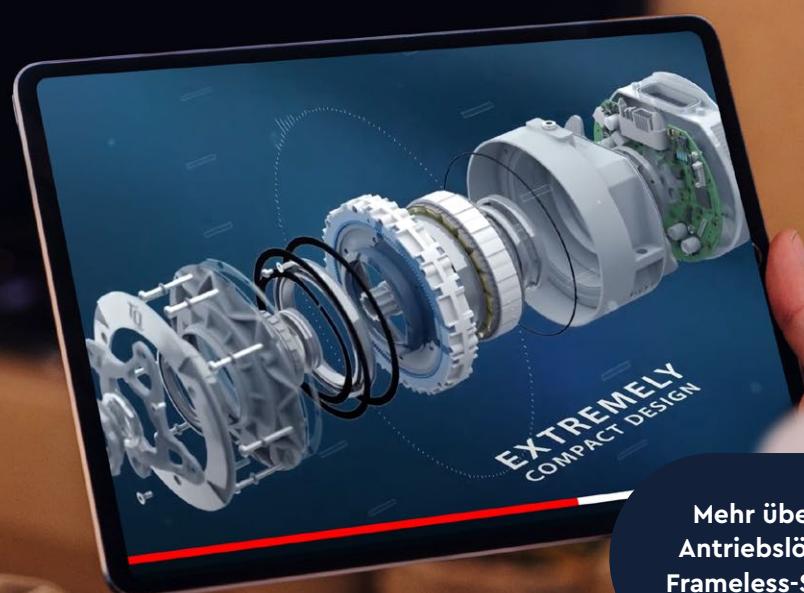


Wann lohnt sich ein Frameless-Servomotor?

Wenn der Antrieb eine zentrale Rolle im Gesamtsystem spielt.

Die Vorteile:

- ✓ **Mehr Freiheit im Design** – keine Einschränkungen durch Standard-Komponenten, die bei Weiterentwicklungen einschränken
- ✓ **Maßgeschneiderte Lösung** – flexibel anpassbare Leistung auf die Anwendung zugeschnitten
- ✓ **Nachhaltige Kostenoptimierung** – langfristig wirtschaftlicher über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg



Mehr über die Vorteile einer Antriebslösung auf Basis eines **Frameless-Servomotors** erfahren Sie in diesem Video.

Technische Hauptkriterien für die Motorauswahl



Leistung (Power Output)

Bestimmt, wie viel Energie der Motor pro Zeiteinheit umsetzt (in Watt). Je nach Anwendung variiert der Leistungsbedarf: Ein kleiner Greifarm benötigt deutlich weniger Leistung als ein autonomes Fahrzeugantriebssystem.



Drehmoment (Torque)

Gibt an, welche Kraft der Motor auf eine Drehbewegung ausübt (in Newtonmeter – Nm). Ein entscheidender Faktor für Anwendungen, bei denen Lasten bewegt oder gehalten werden müssen, z. B. in humanoiden Roboter-Gelenken.



Baugröße & Gewicht

Der Motor muss platzsparend in die Gesamtkonstruktion integriert werden. Besonders in mobilen Robotern und Drohnen ist das Gewicht entscheidend für die Effizienz.

Weitere entscheidende Auswahlkriterien



Thermisches Management

Wie effizient der Motor Wärme ableitet, ist entscheidend bei Dauerbelastung und hohem Leistungsbedarf. Dank ihres hohen Kupferfüllfaktors minimieren die TQ-Motoren den elektrischen Widerstand und reduzieren Ohmsche Verluste auf ein Minimum – für maximale Effizienz und geringere Wärmeentwicklung.



Mehr zur Thermik bei Elektromotoren erfahren Sie in diesem Video.



Dynamik & Geschwindigkeit

Hohe Drehzahl und Beschleunigung sind essenziell für schnelle Bewegungen – insbesondere, wenn sich diese abrupt ändern müssen. Entscheidend für Anwendungen, die höchste Präzision und Reaktionsfähigkeit erfordern.



Kosten-Nutzen-Verhältnis

Neben der Leistung spielen auch Produktionskosten, Lebensdauer und Wartungsaufwand eine entscheidende Rolle. Frameless-Servomotoren bieten hier klare Vorteile: Durch den Verzicht auf zusätzliche Bauteile im System sind sie wartungsärmer und robuster sowie langfristig kosteneffizienter als herkömmliche Servomotoren.



Perfekte Abstimmung für maximale Effizienz

Die Motorauswahl ist kein isolierter Schritt – sie muss harmonisch mit Gehäuse, Elektronik, Controller und Anwendung zusammenpassen. Speziell in der Robotik ist eine präzise abgestimmte Antriebslösung entscheidend, um Energieeffizienz, Leistung und Lebensdauer zu optimieren.

Für eine zuverlässige und effiziente Steuerung von Antriebseinheiten sind verschiedene Sensoren erforderlich.

Temperatur-Sensoren – Überwachung der Motortemperatur

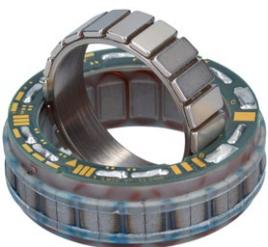
Temperatur-Sensoren überwachen die Wicklungs-temperatur, um sicherzustellen, dass der Motor jederzeit im optimalen Lastbereich arbeitet. Zusätzliche Sensoren im System ermöglichen eine präzisere Analyse der Lastgrenzen und lassen sich für die dynamische Anpassung der Motorregelung nutzen.



ILM-E: Temperatur- und Hall-Sensoren standardmäßig integriert

Hall-Sensoren – Rotor-Positionsbestimmung

Hall-Sensoren bestimmen die Rotorposition anhand des Magnetfelds und sind essenziell für die Kommutierung von Servomotoren (für die Umschaltung des Stromflusses in den Wicklungen), um ein konstantes Drehmoment und eine kontinuierliche Drehbewegung zu gewährleisten. Ohne Hall-Sensoren sind sensorlose Techniken wie die Elektromotorische-Kraft-(EMK)-Rückkopplung erforderlich, die bei niedrigen Drehzahlen jedoch ungenauer sind.



ILM: Optionale Sensor-Integration möglich



Sensoren in der Antriebstechnik

- ✓ Temperatur-Sensoren
- ✓ Hall-Sensoren
- ✓ Encoder
- ✓ Drehzahl-Sensoren
- ✓ Drehmoment-Sensoren

Encoder – inkremental oder absolut?

Ein Encoder ist ein Sensor, der die Position, Drehzahl und Drehrichtung einer rotierenden oder linearen Bewegung misst und in ein elektrisches Signal umwandelt.

Inkremental-Encoder

Inkremental-Encoder messen Positionsänderungen des Motors in kleinen Schritten (Inkrementen). Sobald eine Bewegung erfolgt, erzeugen sie Puls-Signale, die gezählt werden, um die Bewegung oder Geschwindigkeit zu bestimmen. Herausforderung: Nach dem ersten Einschalten ist die absolute Motor-Position nicht bekannt. Daher gilt es, zunächst eine Referenzfahrt durchzuführen, um die Ausgangsposition festzulegen.

Absolut-Encoder

Ein Absolut-Encoder erfasst jederzeit die exakte Position, selbst nach einem Stromausfall. Jede Position wird durch ein eindeutiges Code-Muster (z. B. Binär- oder Gray-Code) definiert. Dadurch ist keine Referenzfahrt erforderlich, da die aktuelle Position direkt nach dem Einschalten verfügbar ist.

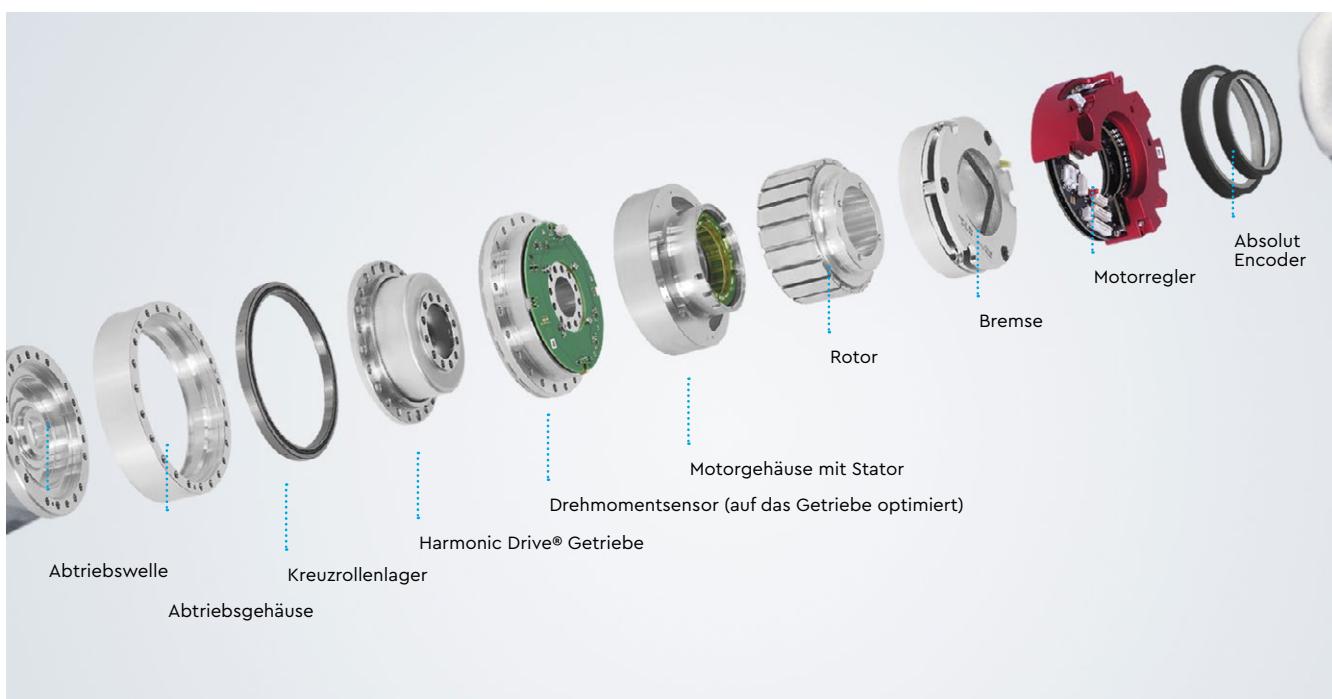
	Inkremental-Encoder	Absolut-Encoder
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Einfacher Aufbau Günstig in der Anschaffung 	<ul style="list-style-type: none"> Liefert sofort absolute Positionsdaten Keine Referenzfahrt nötig Höhere Sicherheit und Zuverlässigkeit bei kritischen Anwendungen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Position geht nach einem Stromausfall verloren Benötigt eine Referenzfahrt zur Initialisierung 	<ul style="list-style-type: none"> Teurer Komplexerer Aufbau
Anwendungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> Förderbänder CNC-Maschinen Drucker 	<ul style="list-style-type: none"> Robotik Medizinische Geräte Satelliten- und Raumfahrttechnik

Typische Szenarien je nach Anforderung:

Standard-Anwendung (1 Encoder pro Achse): Ein Encoder wird direkt am Motor (z. B. am Rotor) angebracht. Er misst die Position des Motors, was für viele Anwendungen wie einfache Industrie-Roboter ausreichend ist.

Erweiterte Anwendung (2 Encoder pro Achse): Ein Encoder ist am Motor für die Regelung der Antriebsbewegung verbaut, ein zusätzlicher Encoder am Gelenk, für eine genauere Positionsrückmeldung direkt an der mechanischen Achse. Dieser Aufbau ist häufig bei hochpräzisen Robotern zu finden, z. B. bei kollaborativen Robotern (Cobots) oder in der Medizintechnik.

In hochentwickelten Robotern (wie in der Humanoid-Robotik oder Raumfahrt) werden Encoder und Drehmoment-Sensoren kombiniert, um eine präzise und kraftadaptive Steuerung zu ermöglichen. Ein Beispiel dafür ist der Komplettantrieb für robotische Lösungen von Sensodrive.



Aufbau eines Komplettantriebs von Sensodrive. Bildquelle: Sensodrive

Bei der Zusammensetzung des Antriebssystems steht vor allem eine entscheidende Frage im Raum: Braucht meine Anwendung überhaupt ein Getriebe?

Diese Entscheidung hängt von mehreren Faktoren ab:

- **Drehmomentbedarf:** Reicht das vom Motor direkt erzeugte Drehmoment aus oder wird eine Übersetzung benötigt?
- **Dynamik:** Soll die Achse schnell reagieren und präzise Bewegungen ausführen?

• **Präzision:** Wie genau muss die Positionierung sein?

• **Platzbedarf:** Ist genug Bauraum vorhanden, um ein größeres Getriebe oder einen stärkeren Motor einzubauen?

• **Gewicht:** Ist ein leichter Antrieb entscheidend, z. B. für mobile Robotersysteme?

Antriebskonzepte in der Robotik im Vergleich

	Direktantrieb (ohne Getriebe)	Quasi-Direktantrieb (mit Getriebe, niedrige Übersetzung)	Hochübersetzungs-Getriebeantrieb (mit Getriebe, hohe Übersetzung)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale Präzision • Schnellste Reaktionszeiten • Kein Getriebespiel oder Verschleiß 	<ul style="list-style-type: none"> • Gutes Verhältnis zwischen Kraft und Dynamik • Kompakter Aufbau • Geringes Getriebespiel 	<ul style="list-style-type: none"> • Extrem hohes Drehmoment • Kompakte Lösung für hohe Lasten • Präzise Positionierung bei langsam Bewegungen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenztes Drehmoment • Größerer Motor und mehr Bauraum nötig 	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzte Erhöhung des Drehmoments • Leichter Verschleiß bei hohen Belastungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingeschränkte Dynamik • Möglicher Verschleiß durch Dauerbelastung • Höhere Trägheit
Einsatzbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Medizintechnik • Halbleiterproduktion • Hochpräzise Messgeräte 	<ul style="list-style-type: none"> • humanoide Roboter • Exoskelette • Leichtbau-Roboter 	<ul style="list-style-type: none"> • Schwerlast-Roboter • Produktionsanlagen • Raumfahrt

Direktantriebe oder Getriebelösungen – Wann ist welche Technologie sinnvoll?

Direktantrieb – Maximale Präzision & Dynamik

Direktantriebe kommen ohne Getriebe aus und übertragen die Kraft direkt. Sie sind ideal, wenn höchste Präzision, minimale Reibung und maximale Dynamik gefordert sind. Besonders sinnvoll sind sie immer dann, wenn das erforderliche Drehmoment direkt erreichbar ist und kein zusätzliches Spiel entstehen darf.

Hochübersetzungs-Getriebeantrieb

(High-Ratio Gear Drive) – Maximales Drehmoment

Für Anwendungen, die ein hohes Drehmoment bei niedrigen Geschwindigkeiten erfordern, ist eine hohe Getriebeübersetzung sinnvoll. Hier steht die Kraftübertragung im Fokus, Dynamik und Effizienz müssen optimal aufeinander abgestimmt werden.

Quasi-Direktantrieb – Minimale Übersetzung für mehr Kraft

Ein leicht untersetztes Getriebe überbrückt kleinere Unterschiede bei Drehzahl oder Drehmoment, ohne die Dynamik und Präzision wesentlich zu beeinträchtigen. Beispiel: Der E-Bike-Antrieb TQ-HPR50, der mit niedriger Übersetzung arbeitet, wenn der Motor etwas mehr Drehmoment benötigt.



TQ-HPR50: Der E-Bike-Antrieb hat ein Getriebe mit niedriger Übersetzung.

Ein **Motor-Controller** steuert Spannung, Strom, Drehzahl und Drehrichtung eines Servomotors. Die Wahl des Controllers ist entscheidend für die **Leistung und Präzision** eines Robotersystems – insbesondere in der **Humanoid-Robotik** oder bei hochdynamischen Anwendungen.

Kriterien für die Auswahl eines Motor-Controllers:

Leistungsanforderungen

Maximale Spannung und Stromstärke passend zur Motor-Spezifikation.

Regelungsmöglichkeiten

- **Drehzahlregelung:** Präzise Geschwindigkeit (z. B. Förderbänder).
- **Positionsregelung:** Exakte Bewegungen (z. B. Roboter-Achsen).
- **Drehmomentregelung:** Sensible Kraftsteuerung (z. B. Cobots, Greifer).

Schnittstellen

- **Kommunikation:** CAN, EtherCAT, RS485 – je nach Systemarchitektur.
- **Encoder-Schnittstellen:** Inkremental oder absolut, je nach Präzision.
- **Sensor-Integration:** Anbindung externer Sensoren wie Drehmoment-Sensoren.

Echtzeitfähigkeit & Reaktionszeit

Wichtige Voraussetzung für flüssige Bewegungen, besonders bei humanoiden Robotern.

Sicherheitsfunktionen

In der funktionalen Sicherheit von Motor-Controllern sind verschiedene Sicherheitsfunktionen definiert, die den sicheren Betrieb von Maschinen und Anlagen gewährleisten. Hier ein paar Beispiele:

- **STO (Safe Torque Off):** Diese Funktion unterbricht die Energiezufuhr zum Motor, wodurch dieser kein Drehmoment mehr erzeugen kann. Sie verhindert unerwartetes Anlaufen des Motors.
- **SS1 (Safe Stop 1):** Hierbei wird der Antrieb geregelt zum Stillstand gebracht, bevor die STO-Funktion aktiviert wird. Dies entspricht der Stoppkategorie 1 und stellt sicher, dass der Motor kontrolliert anhält, bevor das Drehmoment abgeschaltet wird.
- **SP (Safe Position):** Stellt sichere Positionsdaten des Antriebs über einen sicheren Bus zur Verfügung, die von einer Sicherheitssteuerung genutzt werden können, um beispielsweise Endlagen zu überwachen oder positionsabhängige Sicherheitsfunktionen zu aktivieren.

Programmierbarkeit & Anpassungsfähigkeit

Individuelle Regel-Algorithmen, Kompatibilität mit dem flexiblen Open-Source-Framework **Robot Operating System (ROS)** für die Entwicklung von Roboter-Software.

Praxisbeispiel: Humanoider Roboterarm



- ✓ **Kombinierte Positions- & Drehmomentregelung** für präzise, adaptive Bewegungen.
- ✓ **EtherCAT-Schnittstelle** für Echtzeitsteuerung.
- ✓ **Drehmoment-Sensoren** zur sensiblen Kraftkontrolle bei Greifbewegungen.

Ein leistungsfähiger Motor-Controller ist der Schlüssel für **präzise, effiziente und sichere Robotersysteme**.

5 Integration des Gesamtsystems

Die Wahl der richtigen Komponenten reicht nicht aus – Motor, Sensoren, Getriebe und Controller müssen optimal zusammenspielen. Eine effiziente Integration ist entscheidend für Leistung, Zuverlässigkeit und Lebensdauer des gesamten Systems.

Mechanische & elektrische Integration

- **Mechanische Passform:** Die Motor-Getriebeeinheit muss sich bestmöglich in die Gesamtstruktur des Systems einfügen.
- **Ausrichtung & Montage:** Präzise Verbindung von Motor, Getriebe und Sensoren sorgt für eine effiziente Kraftübertragung und minimiert Vibrationen und Geräuschentwicklung.
- **Elektrische Anbindung:** Der Motor-Controller muss mit der Spannungsversorgung sowie den Encodern, mSensoren und Sicherheitsfunktionen kompatibel sein. Für Mehrachs-Anwendungen ist eine durchgängige Strom- und Signalverbindung entscheidend – eine große Hohlwelle im Motor erleichtert die saubere Kabelführung und Integration erheblich.



Software & Steuerung

- **Kommunikation & Schnittstellen:** CAN, EtherCAT, RS485 für nahtlose Integration.
- **Signalübertragung & Feedback:** Encoder und Drehmoment-Sensoren sorgen für präzise Regelung und Überwachung.
- **Echtzeitfähigkeit:** Besonders in der humanoiden Robotik sind geringe Latenzen entscheidend für flüssige Bewegungen.
- **Monitoring & Wartung:** Betriebsdaten erfassen, Fehler erkennen, vorausschauende Wartung ermöglichen.

Thermisches Management

- **Wärmeableitung:** Kühlkörper, Lüfter oder Gehäuse-Design zur Vermeidung von Überhitzung.
- **Gleichmäßige Wärmeverteilung:** Schutz empfindlicher Bauteile durch gezielte Ableitung.
- **Materialwahl & Isolierung:** Reduzierung thermischer Belastungen für maximale Lebensdauer.

Synchronisation & Systemabstimmung

- **Perfekte Abstimmung von Motor, Getriebe und Sensoren:** zur Vermeidung von Torsionsschwingungen und ungleichmäßigen Bewegungen.
- **Feedback-Loop:** Sensoren und Motoren kommunizieren kontinuierlich, um maximale Effizienz und Präzision zu gewährleisten.

Das Ziel: Höchste Leistung, Präzision und Effizienz – mit einem zuverlässigen, langlebigen und optimal abgestimmten Antriebssystem.

Fertige Joints & hochintegrierte Achsen

Neben maßgeschneiderten Systemintegrationen gibt es fertige Joints von Anbietern wie Sensodrive, Synaptonicon, Sumitomo oder Robotis sowie applikationsspezifische Aktuatoren – beispielsweise von Servoneering.

Applikationsspezifisches Design

Für spezifische Anwendungen macht es Sinn, hochintegrierte Achsen individuell zu entwickeln. Motor, Getriebe, Encoder und Sensoren sind dann exakt auf die Anforderungen zugeschnitten, um maximale Leistung und Präzision zu gewährleisten. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Kunde und ist insbesondere in der Industrierobotik, Medizintechnik, Automatisierung und Fahrzeugtechnik verbreitet, wo Standardlösungen oft nicht ausreichen.

Stand-Alone-Produkte für vielseitige Anwendungen

Immer häufiger werden hochintegrierte Achsen auch als direkt einsetzbare Standardprodukte entwickelt, die sich ohne aufwendige Anpassungen in verschiedene Systeme für unterschiedliche Anwendungen in der Industrie integrieren lassen. Diese bieten eine hohe Kompatibilität, was sie ideal für Unternehmen macht, die schnelle und kosteneffiziente Lösungen benötigen.

Vorteile von Stand-Alone, hochintegrierten Achsen

- **Schnellere Markteinführung:** Sofort einsatzbereit, ohne lange Entwicklungszeiten.
- **Kosteneffizienz:** Keine teuren Individualanpassungen erforderlich.
- **Modularität:** Vielfältige Varianten für unterschiedliche Anwendungen.
- **Hohe Leistung & Effizienz:** Vergleichbar mit maßgeschneiderten Lösungen.

Hochintegrierte Achsen sind sowohl als spezifische Sonderlösungen als auch als sofort einsetzbare Stand-Alone-Produkte erhältlich. Dies ermöglicht Unternehmen eine leistungsstarke, wirtschaftliche und zeitsparende Antriebslösung, die sich einfach in bestehende Systeme integrieren lässt.

Fazit

Erfolgreiche Integration durch klare Anforderungen

Eine optimale Systemintegration erfordert nicht nur mechanische Passgenauigkeit, zuverlässige elektrische Anbindung, effizientes thermisches Management und eine präzise Synchronisation aller Komponenten – sie beginnt bereits bei der klaren Definition der Anforderungen.

Der Schlüssel zum Erfolg: Bereits in der Planungsphase müssen Performance, Baugröße, Kosten und die Bedeutung der Antriebseinheit für die Gesamtapplikation genau analysiert werden. Besonders in Bereichen wie Robotik, Messtechnik oder für Positionierungssysteme, wo der Antrieb eine Kernfunktion übernimmt, sind die richtige Auswahl und Integration entscheidend für die Effizienz und Leistungsfähigkeit des Endprodukts.



Über den Autor

Robert Vogel ist Head of Sales & Business Development im Bereich TQ-RoboDrive in Inning am Ammersee. Der ausgebildete Wirtschaftsingenieur verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in den Branchen Automatisierung und Robotik. Gerne können Sie Ihnen auch jederzeit direkt mit Ihrem Anliegen kontaktieren.

Warum TQ der beste Partner für Ihr Projekt ist

- ✓ **30+ Jahre Erfahrung** in Elektronik und Antriebstechnik
- ✓ **360° Services** von Entwicklung bis Serienfertigung
- ✓ **300+ Experten** für maßgeschneiderte Lösungen
- ✓ **Umfassender Support**
- ✓ **Eigenes Testcenter** für einen schnellen Markteintritt



Produktion der Frameless-Motoren von TQ-RoboDrive in Inning am Ammersee

Die Frameless-Motoren von TQ-RoboDrive zeichnen sich durch marktführende Drehmomentdichte, minimale Baugröße und geringes Gewicht aus. Dank der integrierten Hohlwelle lassen sie sich besonders einfach in komplexe Systeme einbinden – und eröffnen Konstrukteuren maximale Freiheit bei der Entwicklung der nächsten Generation innovativer Roboter, Maschinen oder Medizintechnik-Anwendungen.

Mit TQ-RoboDrive setzen Sie auf einen Partner, der technologische Exzellenz, tiefes Branchenwissen und maßgeschneiderte Unterstützung vereint – damit aus einem Motor der perfekte Antrieb für Ihr Projekt wird.



Ihr Kontakt zu TQ

Möchten Sie erfahren, wie Sie in fünf Schritten zur erfolgreichen Systemintegration kommen.

- ✉ robert.vogel@tq-group.com
- 📞 +49 176 10930915
- 🌐 tq-robodrive.com