

think**MOTION**

**Portescap**

# Motorauswahl für medizinische Pumpen

---

von Dr. Norbert Veignat und Claude-Alain Brandt

ANTRIEBSLÖSUNGEN, DIE DAS LEBEN VORANBRINGEN.™



# Motorauswahl für medizinische Pumpen:

Technischer Fortschritt verbessert Tragbarkeit, Effizienz und Zuverlässigkeit

**D**ie Erfindung von kleinen, tragbaren Infusionspumpen eröffnet ein neues Kapitel in der medizinischen Versorgung. Patienten können sehr sorgsam bemessene und zeitgesteuert dosierte Medikamente erhalten, ohne dass sie ihren Arzt aufsuchen müssen - dadurch können viele Einschränkungen im Leben entfallen. Ambulante Pumpen sind z.B. zur Gabe von Insulin, Nahrungsergänzungstoffen und Krebsheilmitteln entwickelt worden.

Solche medizinischen Geräte müssen sehr störunanfällig sein - jede Art von Fehlern ist inakzeptabel - deshalb wird während der Entwicklungsphase immer das gesamte System berücksichtigt: für die Pumpe selbst, den Motor, das Getriebe, die Rückmeldung, usw. ist Miniaturisierung entscheidend für den Anwendungskomfort solcher tragbarer Geräte. Pumpengeräusche dürfen den Patienten nicht stören, gleich ob bei der Erholung oder im sozialen Umfeld. Aus diesem Grund brauchen batteriebetriebene Pumpen einen sehr effizienten und leisen Motor. Bei der Wahl eines Gleichstrommotortyps gibt es viele Vor- und Nachteile, abhängig von der gewählten Technologie, wie z.B. Bürsten-DC, Bürstenlos-DC oder Schrittmotortechnologien.

In diesem Artikel verwenden wir als Beispiel eine kleine Injektionspumpe. Ein typisches Design [Abb. 1] besteht aus einem Kolben, der durch eine Schraube geführt wird, welche wiederum von einem Mikromotor bewegt wird.

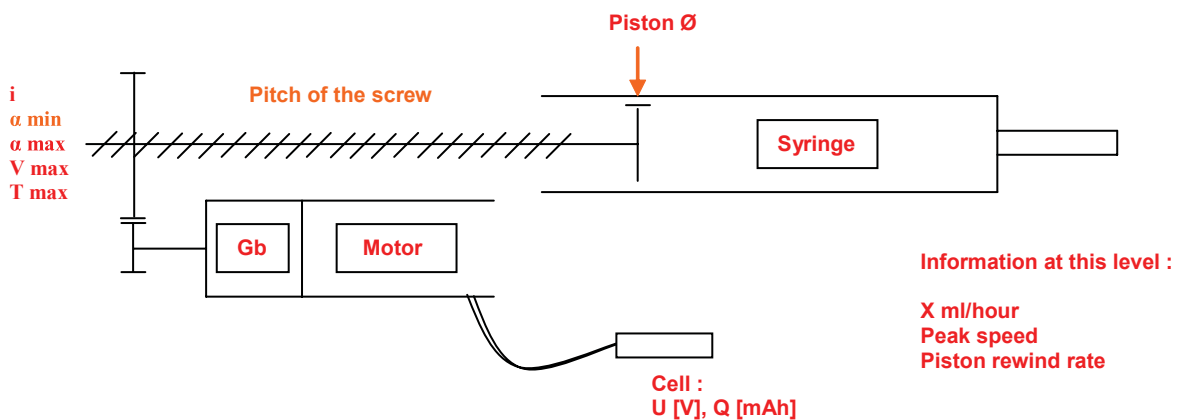


Abbildung 1 - Typisches Design einer Injektionspumpe



## Gleichstrommotoren - Pro und Kontra

Mikromotoren, die in medizinischen Pumpen verwendet werden, müssen sehr speziellen Anforderungen gerecht werden. Zur Auswahl eines Elektromotors kann der entwerfende Ingenieur zwischen drei verschiedenen Technologien wählen; jedoch unabhängig von der getroffenen Wahl bleibt die Hauptfunktion des Motors, die Umwandlung der elektrischen Energie in mechanische Energie. Ziele des Motors sind:

- Erbringung des erforderlichen Drehmoments
- Bewegung um eine bestimmte Gradzahl in einer bestimmten Zeit
- Sehr geringe Laufgeräusche
- Möglichst klein zu sein
- Sehr effizient zu sein

Entwicklungsingenieure haben heutzutage die Wahl zwischen drei Haupttechnologien:

- sog. kernlose Bürsten-Gleichstrommotoren, montiert mit Getriebe und Encoder
- bürstenlose Motoren mit einem Getriebe und je nach Bedarf auch mit Encoder
- Schrittmotoren mit Direktantrieb oder einem Getriebe, je nach Bedarf auch mit Encoder

Der Entwickler trifft die Wahl hauptsächlich gemäß seiner Erfahrung und seinem Applikations-Hintergrund, da diese Pumpentechnologien alle dasselbe Ziel erreichen können. Jede dieser Technologien hat gewisse Vor- und Nachteile, die in der nachstehenden Tabelle [Abb. 2] und im Abschnitt Motortechnologie beschrieben werden:

	Gleichstrommotoren mit Bürsten	Bürstenlose Gleichstrommotoren	Schrittmotoren
Vorteile / Merkmale	Höchste Effizienz	Offene Schlaufe bei niedriger Geschwindigkeit. Geschlossene Schlaufe bei hoher Geschwindigkeit	Einfache Elektronik, da die Steuerung meistens über eine offene Schlaufe erfolgt. Ein Schritt, eine basale Inkrementierung
	Einfach anwendbar	Langlebig	Langlebig
	Benötigt ein Getriebe + Encoder	Benötigt ein Getriebe + Sensoren	Benötigt ein Getriebe + Sensoren
Nachteile	Benötigt einen Encoder	Niedrige Effizienz	Komplexe Elektronik zur Handhabung von offenen und geschlossenen Schlaufen
	Schließen der Positionsschlaufe	Prinzipiell größerer Durchmesser als bei Bürsten-Motoren	
	Verschleiß der mechanischen Kommutierung		

Abbildung 2 – Gleichstrom-Motor Technologien im Vergleich



## Der Bürsten-Gleichstrommotor

Bürstenmotoren werden in zwei Kategorien aufgeteilt - mit Eisenkern oder sogenannte kernlose (auch eisenlose genannt) Typen [Abb. 3]. Letzterer wird meistens für batteriebetriebene tragbare Pumpenanwendungen gewählt, da hier kein Eisenverlust entsteht. Bei einem kernlosen GS-Motor entsteht der größte Verlust in der Kupferwicklung. Dieser Verlust ist proportional zum Spulenwiderstand (Kupfervolumen) und zum Quadrat des im Motor fließenden Stromes. Der Strom im Motor steht wiederum mit dem Motordrehmoment im Verhältnis.

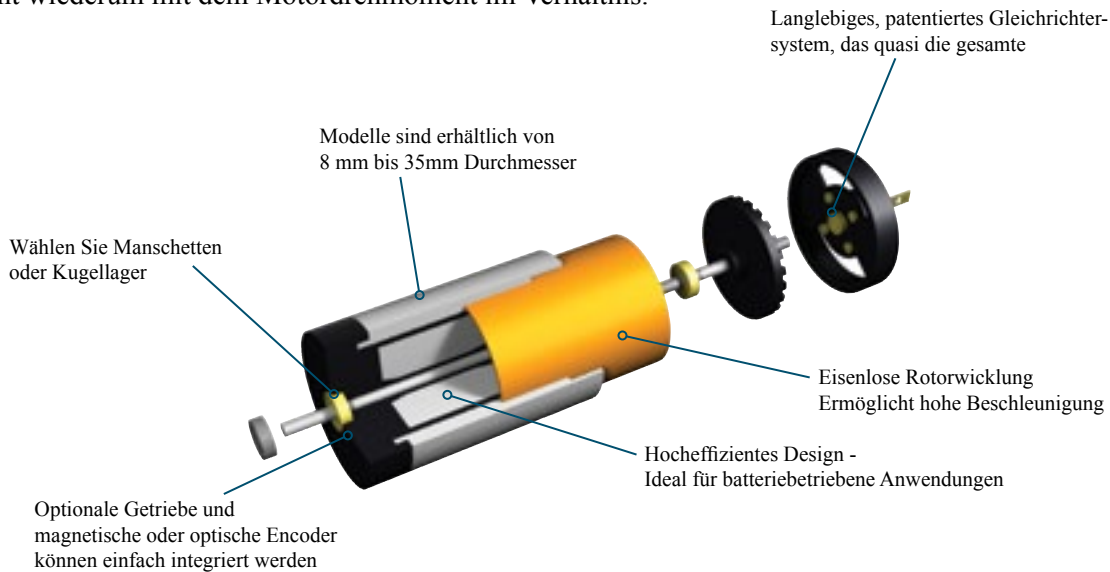


Abbildung 3- Aufbau eines eisenlosen GS-Motors und Eigenschaften

Die Systemeffizienz muss für Batterieanwendungen optimiert werden. Die Edelmetall-Kommutierung ermöglicht eine Motoreffizienz von bis zu 90 %. Meistens ist der  $R/k^2$  Wert, der die Wärmeverluste in der Wicklung darstellt, eine exzellente Kennzahl zum Vergleich von Motoren. Bei einer bestimmten Motorgröße ist dieser Wert mehr oder weniger konstant - die Anpassung der Wicklung an die Batterie verändert den Wert nicht wesentlich. Wenn man jedoch die Wahl hat, sollte man zu einem Motor greifen, der die niedrigste  $R/k^2$ -Rate aufweist. Dieser ist effizienter. Obwohl der Motordurchmesser prinzipiell vom Kunden und der Anwendung abhängig ist, wird, je größer der Motor ist, bei gleichem Drehmoment der Energieverlust desto kleiner sein.

Die mechanische Leistung ergibt sich aus Drehmoment multipliziert mit Geschwindigkeit. Allgemein ist der beste Weg zur höheren Effizienz eines Motors, wenn man die erforderliche Leistung bei großer Motorgeschwindigkeit erzielt. Für die gleiche mechanische Leistung wird ein um so niedrigeres Drehmoment benötigt (mit niedrigeren Verlusten Verlust) je höher die Geschwindigkeit ist. Die neue Magnettechnologie hilft modernen eisenlosen GS-Motoren in diesem Zusammenhang beim Erreichen von höheren Drehmomenten als je zuvor. [Abb 4]

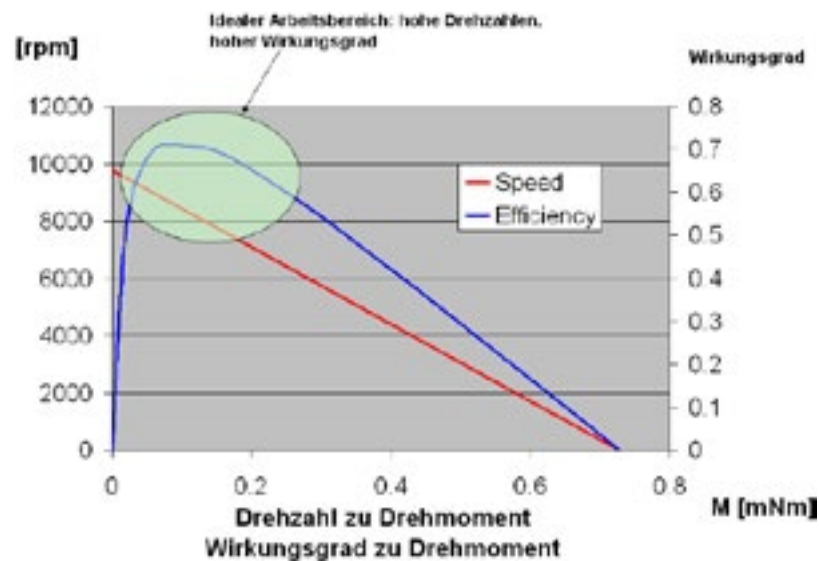


Abbildung 4- Beispiel für Geschwindigkeit und Effizienz im Verhältnis zum Drehmoment bei einem 8mm GS Motor,  $U=3V$



Eisenlose Motoren haben eine niedrige Induktivität, und auch die Kommutierung geschieht auf kleinster Kontaktfläche und niedrigem Druck, wodurch der elektrische Widerstand sowie die Reibung niedrig sind.

Merke: Eisenlose GS-Motoren mit Edelmetall-Bürsten haben bei höherer Geschwindigkeit eine höhere Effizienz. Bei vorgegebener Rahmengröße des Motors ist das Drehmoment im Verhältnis zur Geschwindigkeit und zur Effizienz etwa gleich, unabhängig von der Spulenimpedanz. Größere Motoren haben niedrigere Eisenverluste als kleine Motoren mit der gleichen Drehmomentabgabe.

### Bürstenlose GS Motoren (BLDC)

Die Lebensdauer eines Bürsten-GS-Motors hängt von den Lagern und Bürsten ab. Durch Einführung des bürstenlosen Motors konnte diese Abhängigkeit reduziert werden, was bei bestimmten Anwendungen ein wesentlicher Vorteil ist. Bei einem BLDC Motor sind feste Spulen eingebaut, und der Magnet ist Teil des Rotors. Die Umwandlung in den Spulen geschieht elektronisch. Meistens ist der Stator ein feststehendes externes Rohr, in dem das Magnetfeld geschlossen wird, und es entsteht Eisenverlust, wenn der Magnet rotiert. In solchen Anwendungen, bei denen die Trägheit keine kritische Rolle spielt, können das Rohr und der Magnet zusammen rotieren und somit Verluste eliminieren. [Abb 5]

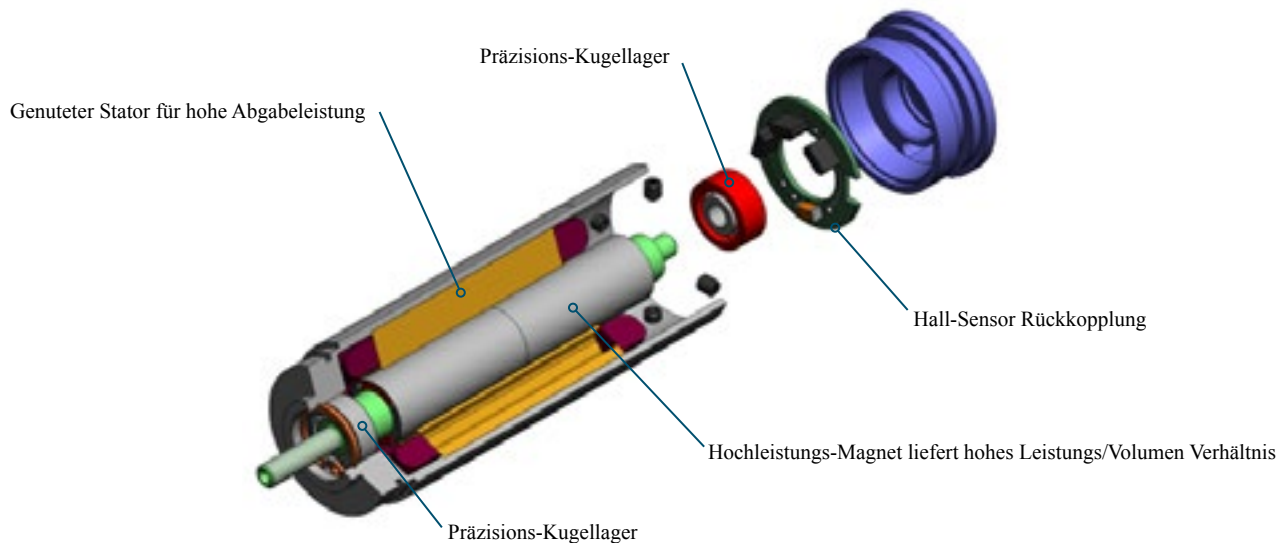


Abbildung 5- Bürstenlose Motor Typen und Eigenschaften

Wie auch beim Motor mit Bürsten, gibt es bei BLDC Motoren ebenfalls zwei Kategorien, mit oder ohne Nuten. nutenlose Ausführungen haben den Vorteil, dass praktisch kein Rast-Reibmoment und weniger Eisenverluste auftreten als bei genuteten Ausführungen. Genutete Motoren werden meistens unter schweren Bedingungen verwendet, z.B. wenn das Produkt im Autoklaven (Hochdrucksterilisator) sterilisiert werden muss. Neue hochenergetische Magnete haben dazu geführt, dass nutenlose Typen bei der Herstellung von kleinen Motoren bevorzugt werden.

Ein Nachteil des traditionellen BLDC Motors gegenüber eisenlosen Bürsten-DC-Motoren liegt in der niedrigeren Effizienz aufgrund von Eisenverlusten sowie in niedrigerem Drehmoment bei gleicher Baugröße. Um diese Verluste zu kompensieren, sollte der BLDC Motor bei höherer Geschwindigkeit verwendet werden, und dieser Parameter ist bei der Wahl des Getriebes zu berücksichtigen.



Der Antrieb und die Steuerung des BLDC sind kritische Punkte bzgl. der Effizienz des Systems. Es gibt verschiedene Antriebsmöglichkeiten für einen BLDC Motor:

- Der Motor kann wie ein Schrittmotor mit einer offenen Schlaufe angetrieben werden, wobei der Strom in der Phase nicht mit der wahren Rotorposition, sondern der theoretischen Rotorposition gekoppelt ist.
- Sensorloser Motorbetrieb durch Nutzung der Gegenspannung der einzelnen Phasen als Information zum Kommutieren zwischen den Phasen. Diese Technik hat den Vorteil, dass kein Positionsfeedback erforderlich ist, hat aber den Nachteil, dass das System nur funktioniert, wenn sich der Rotor bewegt. Diese Funktion ist bei niedriger Geschwindigkeit in der Regel nicht zu empfehlen.
- Der Motor kann wie ein Servomotor angetrieben werden, indem man einen Positionssensor zur Umwandlung der Phasen verwendet.

Bei kleinen medizinischen Pumpen kann man prinzipiell bei niedriger Geschwindigkeit wie für einen Schrittmotor ansteuern und bei hoher Geschwindigkeit mit Positionssensoren (Hall-Effekt Sensoren) vorgehen.

## **Der Schrittmotor**

Laut Definition ist ein Schrittmotor ein BLDC mit mehreren Polen; deshalb muss der Strom mehrere Male pro Umdrehung umgewandelt werden. Z.B. bei einem 2-Phasen Schrittmotor, der 100 Schritte pro Umdrehung durchführt, müssen 25 Stromumdrehungen in jeder Phase erfolgen, damit eine ganze Umdrehung erfolgt. Diese Ausführung hat den großen Vorteil, dass sie viele stabile Positionen (Schritte) pro Umdrehung aufweist und dadurch ein hohes Drehmoment bei einer bestimmten Größe zu Verfügung steht (gegenüber BLDC oder GS Motoren). Der Nachteil des Schrittmotors ist, dass er wegen der Induktion, der Umwandlungsfrequenz und des Eisenverlusts nicht mit hoher Geschwindigkeit laufen kann.

Es gibt verschiedene Schrittmotor-Technologien:

- Mit variabler Reluktanz
- Mit Permanentmagnet (Can Stack)
- Hybrid-Schrittmotoren
- Scheibenmagnet-Technologie (TurboDisc)

Bei Batterieanwendungen ist die Scheibenmagnet-Technologie die beste Wahl [Abb. 6], da diese eine niedrigere Trägheit und kleinere Eisenverluste aufweist als andere Schrittmotoren, und dadurch die Effizienz gesteigert wird.



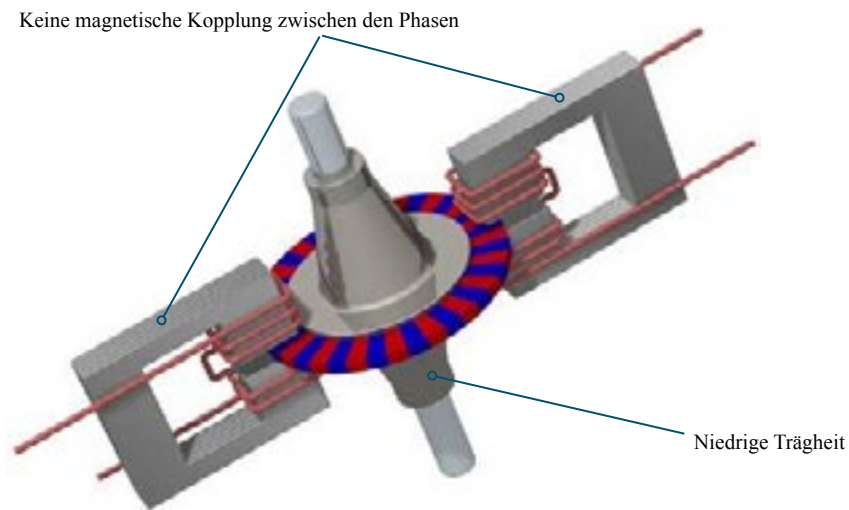


Abbildung 6- Scheibenmagnet-Technologie

Wie beim BLDC Motor, können Schrittmotoren auf verschiedene Weise angetrieben werden:

- Offene Schlotte mit vollem Schritt, halbem Schritt oder im Mikroschritt-Modus. In diesem Fall benötigt man keine Positionsangaben - der Rotor folgt dem Magnetfluss, der durch die Spulen generiert wird. Eine lineare Kombination der Ströme ermöglicht Mikroschritte. Der Nachteil ist, dass durch das fehlende Positionsfeedback die Sicherheit nur durch mehr Drehmoment oder Strom gewährt werden kann, als eigentlich erforderlich wäre.
- Geschlossene Schlotte, wie bei einem Servomotor. Der Vorteil hier besteht im hohen Drehmoment bei niedriger Geschwindigkeit, wobei die höheren Verluste und das nicht lineare Verhalten bei höheren Geschwindigkeiten (d.h. Drehmoment gegenüber Geschwindigkeit) als Nachteil angesehen wird.

Bei kleinen tragbaren Pumpen sind Schrittmotoren die erste Wahl, wenn bei niedriger Geschwindigkeit der volle Schrittmodus und das Rast-Reibmoment zum Halten der Position ausreichend sind. In diesem Fall werden sie wie ein Uhrenmotor angetrieben - die erforderliche Energiemenge wird abgegeben, um von einem Schritt zum nächsten zu gelangen, während bei der Halteposition kein Strom in der Phase fließt. Bei höheren Geschwindigkeiten gibt es zwei Optionen: Entweder muss der Motor wiederkehrend mit hoher Geschwindigkeit laufen (z.B. beim Spritzenwechsel), in diesem Fall wird er wie ein normaler Schrittmotor angesteuert; oder der Motor muss überwiegend mit hoher Geschwindigkeit arbeiten, in diesem Fall wird die Effizienz durch Schließen der Kommutierungsschleife wie bei einem Servomotor erhöht (durch hinzufügen eines Positionsfeedback).

Bei bestimmten Anwendungen ist eine Schrittmotorlösung mit Getriebe die ökonomischste Ausführung, da kein Encoder erforderlich ist. Darüber hinaus wird in der Halteposition keine Energie benötigt, wenn das Rast-Reibmoment hoch genug ist, um die Position zu halten.



## Getriebe und Encoder

Wie schon zuvor erwähnt, benötigt ein GS-Motor bei höherer Geschwindigkeit ein Getriebe zwischen dem Motor und der Anwendung. Es stehen verschiedene Getriebe zur Auswahl, so etwa Planeten- und Stirnradgetriebe und Einheiten mit Riementrieb. Getriebe werden (für eine bestimmte Rahmengröße) durch die erforderliche Drehmomentabgabe, die Untersetzung und gewünschte Effizienz definiert. Ein Stirnradgetriebe ist effizienter als ein Planetengetriebe bei einer festgelegten Größe und Übersetzung, jedoch können Planetengetriebe höhere Drehmomente besser handhaben.

Während der Optimierungsphase ist es sehr wichtig, die Systemeffizienz zu beachten. Der Motor selbst ist bei höherer Geschwindigkeit effizienter, aber für höhere Geschwindigkeiten benötigen Sie ein Getriebe mit höherer Übersetzung. Je höher die Übersetzung, desto niedriger die Getriebeeffizienz. Der Designer muss den besten Mittelweg finden.

Ein Encoder, der zum Schließen der Positionsschleife erforderlich ist, wird durch seine Auflösung und Effizienz definiert. Es gibt verschiedene Optionen, wie optische, magnetische mit Hall-Sensor und magnetische als Magneto-Resistive Encoder. Heutzutage gibt es den Trend, letztere zu verwenden, weil dadurch eine extrem hohe Auflösung in kleiner Baugröße erzielt werden kann. In solchen Encodern verwendete zugehörige ASICs können zwei quadrierte sinusförmige Signale interpolieren. Auch hier muss sich der Entwicklungsingenieur vergewissern, ob Auflösung und Effizienz richtig gewählt worden sind.

## Auswahl Ihres Motors

Es gibt keine universelle Technologie für jede Anwendung, aber in jeder Situation gibt es verschiedene Lösungen mit Vor- und Nachteilen. Die Optimierung und Anpassung einer Lösung an bestimmte Anforderungen bedarf gewisser Erfahrung und des Zugangs zu verschiedenen Technologien. Deshalb sollten Projektingenieure in der Entwicklungsphase eng mit Mechanikspezialisten, Motorexperten und Elektronikentwerfern zusammenarbeiten, damit alle Aspekte des Systems berücksichtigt werden und nicht nur seine einzelnen Komponenten.

**Portescap**

[www.portescap.de](http://www.portescap.de)

ANTRIEBSLÖSUNGEN, DIE DAS LEBEN VORANBRINGEN.™





## Lösungen und Erfahrung von Portescap

### Bei der Auswahl von Motoren für medizinische Pumpen

Es gibt keine Universallösung für alle Anwendungen, aber für jede Situation gibt es einige Lösungen mit Vor- und Nachteilen. Die Optimierung einer Lösung für spezifische Kriterien bedarf vieler Erfahrung und Zugang zu verschiedenen Technologien. Deshalb sollten in der Entwicklungsphase Projektengineure mit Mechanikspezialisten, Motorexperten und Elektronikengineeringen zusammenarbeiten, um das ganze System und nicht nur Einzelteile im Blickfeld zu behalten.

#### **Dementsprechend können wir Ihnen einige Portescap Produkte anbieten. :**

Bei Gleichstromprodukten können wir unsere neue DC Motorreihe anbieten, bei der hochenergetische Neodymium-Magnete und hochwertigste Bürstenkommutierung angewandt werden. Unsere neuste Technologie, die 16N88 (16 mm Rahmengröße) und 22N88 (22 mm Rahmengröße) bringt Ihnen um 40% bessere Effizienz, 20% mehr Drehmoment und 100% mehr Lebensdauer im Vergleich zur früheren Motorgeneration unter gleichen Bedingungen. Sie ist folglich eine gute Wahl.

Bei Anwendungen wie tragbaren Infusionspumpen, bei denen auch die Abmessungen eine wichtige Rolle spielen, möchten wir Sie auf die 08G (8 mm Rahmengröße) Bürsten DC-Reihe aufmerksam machen. Diese sind geräuscharm, hocheffizient und bieten Ihnen bei Batterieanwendungen lange Laufzeiten. Portescap führt die Innovation seiner Anwendungen fort, indem weiterhin den Plattformprojekten, wie den hochleistungsfähigen kernlosen Bürsten-Gleichstrommotoren in der 12 bis 22 mm Größenordnung und der Verbesserung der Kommutierung bei Langlaufmotoren der Größe 8 mm besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Bei der bürstenlosen Gleichstromtechnologie raten wir Ihnen besonders zur neuen nuvoDisc Motorfamilie. Der revolutionäre, flache, bürstenlose Gleichstrom-Motor ist hocheffektiv und ideal für Anwendungen, bei denen der verfügbare Raum sehr begrenzt ist, wie bei Pumpen und Atemgeräten.

Portescap kann auch eine dritte Lösung bieten: Die TurboDisc Technologie. Diese Motorfamilie repräsentiert einen weiterentwickelten Schrittmotor mit einzigartiger Scheibenmagnet-Technologie, die Portescap in den 1980-er Jahren entwickelt hat. Der erste Vorteil dieser Technologie ist die schnelle Beschleunigung im "Open-Loop"-Betrieb Dank der hohen Drehmoment-Konstante und der niedrigen Rotorträgheit. Der zweite Vorteil dieser Produktfamilie besteht in der hohen Schrittauflösung im Vergleich zu anderen Schrittmorteknologien. Der TurboDisc eignet sich sehr für Mikroschritte, deshalb lässt sich die Schrittauflösung weiter verbessern. Der dritte Vorteil liegt in der erreichbaren hohen Geschwindigkeit, die bis zu 10,000 Umdrehungen pro Minute ermöglicht. Für medizinische Pumpen schlägt Portescap den P010 und P110 in 10 und 16 mm Größe vor.

Für Anwendungen, bei denen es auf das hohe Drehmoment ankommt, hat Portescap eine spezielle Getriebefamilie entwickelt, die an den gesamten Produktumfang angepasst werden kann. Hier möchten wir auf das neue R08, das R16 Kugelgetriebe und das B16 Sporngetriebe aufmerksam machen, die besonders für medizinische Lösungen entwickelt wurden.

Darüber hinaus können diese Motoren für inkrementelle Positionierungsanwendungen auch in geschlossenen Schlaufen mit dem neuen Portescap MR Encoder in 12 und 22 mm Größe betrieben werden, der für kernlose Bürsten-Wechselstrom Motoren entwickelt wurde, und 512 Zeilen pro Umdrehung erreichbar macht. Die neuen Portescap MR2 Encoder sind präziser und ermöglichen höhere Zeilenzahlen als normale, handelsübliche Encoder. Wegen der einfachen Integrierbarkeit helfen diese Encoder bei der Größenreduzierung von Motor-Encoder-Paketen, und steigern zugleich die Auflösung und Präzision. Diese können mit allen unseren Bürsten-DC, BLDC und Schrittmotoren integriert werden.

Portescap Produktangaben und Spezifikationen, sowie Kontaktdaten finden Sie auf unserer Webseite unter [www.portescap.com](http://www.portescap.com).

**Portescap**  
[www.portescap.de](http://www.portescap.de)

**ANTRIEBSLÖSUNGEN, DIE DAS LEBEN VORANBRINGEN.™**

