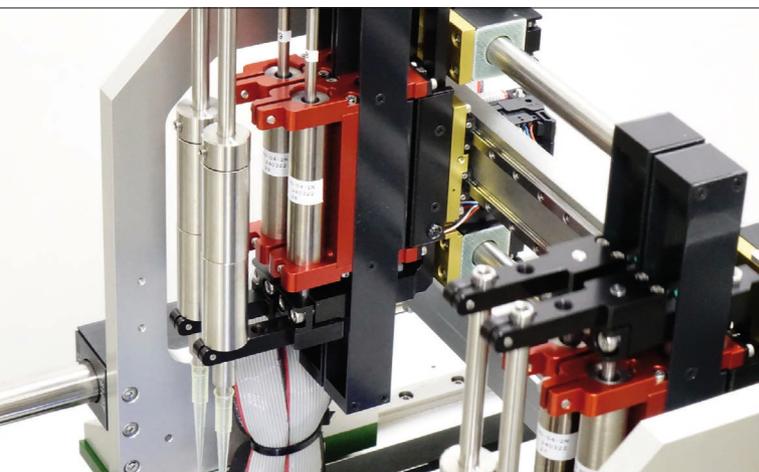


# Linearmotoren in der Medizintechnik

Warum sind Linearmotoren mit Direktantrieb optimal für den Einsatz in der Medizintechnik und Laborausstattung?



Linearmotoren sind Direktantriebe, die eine translative Bewegung direkt ohne Umsetzung erzeugen. Linearmotoren mit Direktantrieb haben viele Eigenschaften, die sie für den Einsatz in der Medizintechnik prädestinieren. Sie können schnelle Bewegungen erzeugen und sind sehr flexibel einsetzbar. Sie sind optimal für komplexe Bewegungsabläufe unter beengten Platzverhältnissen. Dank ihrer hohen Leistung und Effizienz, beispielsweise hohe Schubkraft, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Positioniergenauigkeit, ist die Linearmotortechnologie Lösung für eine Vielzahl von Anwendungen.

## Immer den passenden Linearmotor

Für jede Anwendung gibt es den passenden Linearmotor. Berücksichtigt man die Anforderungen, können die Linearmotoren präzise auf die Spezifikationen abgestimmt werden und sehr effizient arbeiten. Außerdem haben sie eine sehr hohe Wiederholgenauigkeit. Eingesetzt werden sie beispielsweise in Analysegeräten, Pipettiergeräten oder bei der Positionierung in CT, NMR oder der Nadel des OP-Roboters.

Autor:  
R.B. de Vries  
Geschäftsführer  
Dynetics GmbH  
www.dynetics.eu

Es gilt deshalb, den passenden Antrieb für die jeweilige Anwendung zu finden, um die Möglichkeiten der einzelnen Technologien optimal nutzen zu können.

## Einteilung in Untergruppen

Die linearen Lösungen lassen sich bezüglich ihrer Antriebskraft in folgende Untergruppen unterteilen:

- **Gruppe 1: Magnetisch**  
Produkte, bei denen die Antriebskraft magnetisch auf jeden Läufer (Mover oder Forcer) ausgeübt wird (einschließlich linearer Servomotoren, zylindrischer/rohrförmiger Linearmotoren).
- **Gruppe 2: Mechanisch**  
Produkte, bei denen die Antriebskraft über eine mechanische Schnittstelle (Leitspindel oder Kugelgewindetrieb) übertragen wird.
- **Gruppe 3: Kombination aus magnetisch und mechanisch**  
Eine Kombination aus einem rotierenden Motor mit einer integrierten Linearschnecke

Im Folgenden beschreiben wir diese Gruppen anhand ihrer Eigenschaften und zwei Beispielen aus der Praxis.

## Beispiele:

- Pipettenroboter auf Basis eines Linear-Servomotors
- Fördersystemen für Reagenzgläser

Aufgrund des Umfangs wird der Artikel in mehreren Teilen veröffentlicht. Teil 1 behandelt die Gruppe 1: Magnetisch. Die anderen Gruppen werden in der nächsten Ausgabe des *meditronic-journals* beschrieben.

## Gruppe 1: Antriebe mit magnetischer Kraftübertragung

### Linearer Servomotor mit Direktantrieb

Direkt angetriebene Linearmotoren werden magnetisch angetrieben. Sie haben eine hohe Kraftdichte, eine hohe Steifigkeit, ermöglichen eine extrem sanfte Geschwindigkeitssteuerung und benötigen nur wenig Wartung. Linearmotoren werden gerne verwendet, weil sie eine Kombination aus hohen Geschwindigkeiten, langen Hübten und hervorragender Positioniergenauigkeit bieten, die mit anderen Antriebsmechanismen so nicht möglich ist. Dadurch lässt sich beispielsweise der Durchsatz bei Analyseautomaten zur Abarbeitung der Proben deutlich erhöhen.

Genauso sind aber auch extrem langsame, gleichmäßige und präzise Bewegungen möglich. Diese große Flexibilität ermöglicht einen breit gefächerten Einsatzbereich.

Aufgrund dieser Vorteile und einer noch weiter verbesserten Präzision werden die Antriebe vermehrt eingesetzt, was sich mit Zahlen belegen lässt.

### Mit oder ohne Eisenkern

Lineare Servomotoren gibt es mit oder ohne Eisenkern. Dies bezieht sich darauf, ob die Wicklungen in einem Eisenlaminiertstapel oder in Epoxidharz liegen.

Eisenbehaltete Motoren nutzen das Eisen, um den magnetischen Fluss zu bündeln und können so eine sehr hohe Kraftdichte erzeugen. Somit sind sie optimal für Anwendungen geeignet, die extrem hohe Schubkräfte erfordern.

Der Nachteil des Eisenkerndesigns ist das Rasten, das Wirbelströme verursacht, was die Laufruhe der Bewegung beeinträchtigt.

## Rastmoment

Das Rastmoment tritt beim stromlosen Motor auf und bewegt den Rotor aus seiner bevorzugten Lage (Rastposition). Es beeinflusst die Geschwindigkeit oder Kraft des Motors und ist unerwünscht. Dieses Ziehen in die bevorzugte Position des Motors (Verriegelung) bewirkt sowohl eine Leistungs- als auch eine Geschwindigkeitswelligkeit während der Bewegung.

Anwendungen, die mit einer Genauigkeit im Nanometerbereich arbeiten, erfordern einen verriegelungsfreien Motor. In solchen Fällen sind Motoren mit minimalem Rastmoment oder ohne erforderlich.

## Beispiele aus dem Medizinbereich:

Typische Anwendungen für eisenbehaltete Linearmotoren sind Hochgeschwindigkeits- und Hochpräzisionsachsen für die Vergrößerung des Arbeitsbereichs von Knickarmrobotern sowie dynamischen Anlagen die beispielsweise in Werkzeugmaschinen.

Weitere Einsatzbereiche sind Analysensysteme für Biowissenschaften und Diagnostik, Arzneimittelforschung in der Pharma- und Biotech-Industrie, Oberflächenplasmonenresonanz (SPR), Proteinanalyse, Wirkstoffscreening und NIR-Spektrometer

## Eisenlose Antriebe

können weniger Kraft erzeugen, haben allerdings auch kein Rasten, so dass sie auch bei niedrigen Geschwindigkeiten eine sehr gleichmäßige Bewegung erzeugen. Durch die geringere Masse von Epoxidharz sind sie leichter und können die höchsten Beschleunigungs-, Verzögerungs- und Höchstgeschwindigkeitswerte erreichen, die es bei elektromechanischen Systemen gibt. Allerdings ist die Steifigkeit geringer.

Anwendungen finden sich in Mikroskopiesystemen wie Elektronenmikroskop, Rasterkraftmikroskope, in der optischen Industrie (Scanner), in der Halbleitertechnik und in der Micromontage.

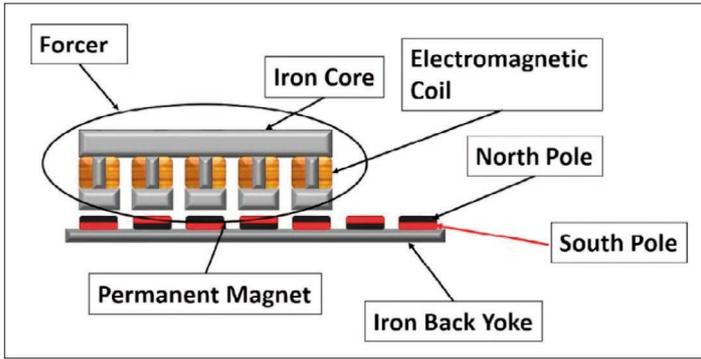


Bild 1: Flacher Linearmotor

## Flach-, U- oder Rohr-Linearmotoren

Bei den Linearmotoren werden Flach-, U- und Rohr-Linearmotoren unterschieden. Sie haben alle die gleiche Funktionsweise, unterscheiden sich allerdings in ein paar Punkten.

Linearmotoren lassen sich mit einem abgewickelten Rotationsmotor vergleichen und funktionieren nach dem gleichen Prinzip, auch die Steuerung ist ähnlich. Wie bei den bürstenlosen Rotationsmotoren sind Forcer und Stator mechanisch nicht miteinander verbunden (bürstenlos). Dabei ist die typische Spulenkonfiguration dreiphasig.

Man unterscheidet zwei Hauptgruppen von Linearmotoren, die sich in ihren Funktionsprinzipien unterscheiden:

- **Magnetschwebbahn-Linearmotor:** hier ist der Läufer das bewegliche Teil und bewegt sich in einem Magnetfeld
- **elektromagnetischen Schub-Linearmotor:** hier ist der Läufer das stehende Teil, der durch elektromagnetische Kraft angetrieben wird

## Flach- oder Eisenkernmotoren

Ein Eisenkernmotor ist ein Linearmotor, der einen Eisenkern enthält. Die Wicklungen sind in einem Blechpaket aus Eisen montiert. Die Anzahl und Länge der Wicklungen bestimmen, wie viel Kraft der Motor erzeugen kann. Dies beruht auf der magnetischen Anziehung zwischen dem Eisen des Primärteils und den Permanentmagneten des Sekundärteils sowie auf der in den Wicklungen erzeugten Magnetkraft. Diese Linearmotoren bieten eine extrem hohe Dauerkraft für ihre Größe.

Flachmotoren (Bild 1) haben einen Eisenkern, deshalb tritt hier ein Rastmoment auf. Hier interagiert der Eisenkern der Motorspule (Forcer) mit den Magneten der Magnetbahn. Der Eisenkern sorgt zudem für große Absorptionskräfte zwischen Stator und Armatur. Dies führt zu Rastmomenten in der linearen Bewegung. Die Motorsteifigkeit ist im Vergleich zum linearen Servomotor gering. Bei letzterem ist sie 100-mal höher. Nachteilig ist auch die Wärmeentwicklung, die viermal höher ist als bei ähnlich großen flachen Linearmotoren.

## Erzeugt große Kraft

Da es sich bei magnetischen Feldern um Vektorgößen handelt, sind Richtung und Intensität additiv und führen zu einer erheblichen Erhöhung der Feldstärke, die von den Gleismagneten aufgenommen wird. Dies ist der Hauptvorteil des Eisenkernmotors weil bei einer gegebenen Stromaufnahme aufgrund dieses Verhaltens eine extrem große Kraft erzeugt werden kann.

## Vorteile des Eisenkern-Linearmotors

- **Direktantrieb:** Da keine zusätzlichen mechanischen Komponenten wie Getriebe oder Riemen benötigt werden, können Eisenkern-Linearmotoren eine direkte, präzise und effiziente Bewegung erzeugen.
- **Hohe Dynamik:** Sie können hohe Beschleunigungen und Geschwindigkeiten erreichen, was sie für Anwendungen, bei denen schnelle und genaue Bewegungen erforderlich sind, besonders geeignet macht.

- **Einfache Konstruktion:** Die Bauweise des Eisenkern-Linearmotors ist im Vergleich zu anderen Linearmotortypen wie dem eisenlosen Linearmotor einfacher und oft robuster.

Eisenkern-Linearmotoren können tendenziell mehr Wärme entwickeln als ihre eisenlosen Gegenstücke.

## Einsatzbereiche

Lineareisenkernmotoren sind aufgrund der hohen Kräfte und der Wärmeabgabe für eine Vielzahl von Anwendungen in Werkzeugmaschinen, Laser- und Wasserstrahlschneidmaschinen und in der Fabrikautomation, Medizinischen Geräten, bei denen Präzision von größter Bedeutung ist, z. B. in der bildgebenden Diagnostik geeignet.

## U-förmige Linearmotoren

U-förmige Linearmotoren (Bild 2) verwenden einen Epoxidkern, der keine Wirbelströme erzeugt.

Eines der Hauptmerkmale dieses Motors ist, dass er an den kritischen Stellen des Motors kein Eisen enthält. Dadurch entfällt das Rastmoment und damit die nichtlineare Beziehung zwischen Kraft und Strom aufgrund der magnetischen Sättigung. Um die vom Motor erzeugte Kraft zu erhöhen, wurde der Motor mit einem zusätzlichen Satz Permanentmagnete in doppelseitiger Konfiguration bestückt. Darüber hinaus besteht der Forcer aus elektromagnetischen Spulen, die mit Epoxidharz an der Nicht-eisen-Forcerplatte montiert sind, die typischerweise aus Aluminium besteht.

Die Motoren haben eine hohe Dynamik durch das geringe Trägheitsmoment: schnell beschleunigen



Bild 2: U-förmiger Linearmotor

und abbremsen. Eisenlose Linearmotoren haben eine hohe Präzision in ihrer Bewegung und können sehr genau Positionieren. Im Gegensatz zu eisenhaltigen Linearmotoren haben eisenlose Modelle keine Rastmomente, die die Bewegung beeinträchtigen könnten.

Da es keinen Eisenkern im Motor gibt, erwärmen sie sich weniger als Eisenkernmotoren. Daraus resultiert eine längere Lebensdauer und weniger Wartung.

## Anwendungen

- im Medizinbereich: MRI-Scanner um präzise Bewegungen zu erzeugen
- Halbleiterindustrie
- Automatisierungstechnik; Verpackungsmaschinen

Allerdings ist diese Linearmorteknologie („U-Kanal“ oder „Luftkern“) im Vergleich zu rohrförmigen Linearmotoren nicht optimal geeignet für Spezialanwendungen.



Bild 3: Röhrenförmiger Linearmotor

## Röhrenförmige Linearmotoren

Wie ihre flachen Pendanten bestehen röhrenförmige Linearmotoren (Bild 3) aus zwei Hauptbestandteilen: den Permanentmagneten und einem Stator, in dem die Wicklungen untergebracht sind. Bei der Ausführung des rohrförmigen Linearmotors sind die Magnete jedoch nicht auf einer flachen Schiene angeordnet, sondern sind als scheibenförmige Magnete in einem Rohr eingebettet. Dieses Rohr wird oft als Schubstange bezeichnet.

Der Stator, auch Forcer genannt, umgibt die Schubstange. Dieser Linearmotor ist eisenlos. Deshalb kommt es zu keinem Rasten, da die Primärspulen mit Epoxidharz gekapselt sind anstatt um eine Stahl laminierung gewickelt zu werden.

## Das Prinzip

des rohrförmigen Linearmotors (Magnetschwebbahn) beruht auf der Nutzung von Magnetfeldern zum Halten des Antriebs in der Luft, wodurch eine berührungsfreie, reibungsfreie Bewegung erreicht wird.



**Bild 4a: Unterschiedliche Typen von röhrenförmigen Linearmotoren**

Hauptvorteile sind der einfache Aufbau, die geringen Kosten und der zuverlässige Betrieb.

Die Intensität des Magnetfelds ist jedoch aufgrund der Dauermagnete begrenzt, was zu einer relativ geringen Schubkraft und Geschwindigkeit führt.

Weitere Details erfahren Sie im folgenden Video auf YouTube: [https://youtu.be/\\_Ek10GuVXOc?feature=shared](https://youtu.be/_Ek10GuVXOc?feature=shared)

Bild 4a und 4b zeigen unterschiedliche Typen von röhrenförmigen Linearmotoren.

### Vor- und Nachteile

Die röhrenförmige Bauweise hat mehrere wichtige Vorteile gegenüber den flachen Linearmotoren: Zunächst wird der gesamte magnetische Fluss der Permanentmagnete genutzt, um Kraft zu erzeugen. Nach dem Lorentzkraft-Prinzip steht die Kraft, die durch das Zusammenwirken der Schubstabsmagnete und der Spule entsteht, senkrecht sowohl zum Magnetfeld als auch zum Strom – also in Bewegungsrichtung.

Diese beiden Eigenschaften verleihen den Rohrlinarmotoren einen extrem hohen Wirkungsgrad. Dieser höhere Wirkungsgrad

bedeutet, dass weniger Wärme erzeugt wird, so dass sich die Komponenten aufgrund thermischer Effekte weniger ausdehnen und beim Abkühlen weniger Wärme auf die externe Last übertragen wird.

Das Endergebnis des höheren Wirkungsgrads und der geringeren Wärmeentwicklung bewirkt eine bessere Positioniergenauigkeit, höhere Lebensdauer, usw.

### Beispiele im Medizinbereich

- Testlabors
- medizinische Einrichtungen
- klinische Geräten, Analysegeräte, Diagnosegeräte
- Radiologie: Hier werden Linearwellenmotoren in Geräten mit bildgebenden Verfahren (CT, NMR, Gamma-Kamera) eingesetzt, um die Positionierung von zu optimieren.

### Steifigkeit

In einem rohrförmigen Motor ist weder in der Welle noch im Treiber Eisen vorhanden. Dadurch wird eine hohe Präzision und ein verriegelungsfreies Verhalten gewährleistet. Die Spulen selbst bilden den Kern und verleihen dem Motor so die Steifigkeit.



**Bild 4b. Zwei Beispiele röhrenförmiger Linearmotoren**

Die linearen Servomotoren arbeiten berührungslos. Da die Spule vollständig um die Magnete gewickelt ist, wird die magnetische Flussdichte effektiv genutzt. Dies ermöglicht einen großen (0,5 bis 5 mm) ringförmigen Nennluftspalt. Dieser Luftspalt ist nicht kritisch, weil er keine Kraftänderungen bewirkt. Dadurch eignet sich der Motor optimal für Anwendungen, wo eine sehr präzise und reibungslose Linearbewegung verlangt wird.

### Beispiele:

- Präzise Flüssigkeitsabgabe
- Medizinische Bildgebungsgeräte
- Massenspektrometrie
- Zentrifuge und
- Autotransfusion
- Chirurgische Roboter
- Laborautomatisierung
- Geräte für die Rehabilitation
- Medizinische Bildgebung (CT, PET, MRT, Röntgen)
- Pumpen (Infusion, Spritze und Peristaltik)
- Beatmungsgeräte
- Geräte zur Blutanalyse
- Ophthalmologische Geräte

### Keine Schmier-/Einstellwartung erforderlich

Der lineare Servomotor benötigt keine Schmierung und zeigt keinen Leistungsabfall durch Verschleiß/Alterung. Seine wartungsfreie, lange Lebensdauer trägt zur Reduzierung der Lebenszykluskosten bei. Durch das Spiel zwischen Welle und Treiber entfallen Einstellungen wie Führung, Positionierung oder konzentrische Einstellungen. Staub und Lärm, wie bei Kugelgewindetriven und Pneumatik-Systemen, treten beim linearen Servomotor nicht auf. Dies ist nicht nur in Reinraumanwendungen von Vorteil, sondern trägt auch zu einer angenehmeren Arbeitsumgebung bei.

### Hohe Präzision

Der lineare Servomotor ermöglicht eine Präzision, die von mechanisch angetriebenen Antrieben wie beispielsweise Kugelgewindetriven nicht erreicht wird. Die Genauigkeit der Wiederholpositionierung hängt von der Auflösung des Linearencoders ab. Darüber hinaus ist auch eine ausreichende Gerätesteifigkeit notwendig. Die absolute Positioniergenauigkeit hängt wesentlich vom Längenmessgerät ab. Sie ist nicht abhängig von der Ausdehnung oder Kontraktion, die durch die Wärme des Linearwellenmotors verursacht wird. Der Präzisionsbetrieb erfordert allerdings eine strenge Kontrolle der Arbeitsumgebung, einschließlich der Temperatur.

Im folgenden Video können Sie sich über das Grundprinzip des röhrenförmigen Linearmotors informieren. Link [https://youtu.be/\\_Ek10GuVXOc?feature=shared](https://youtu.be/_Ek10GuVXOc?feature=shared):

### Kompakt und präzise

Die rohrförmigen Linearmotoren der Wellenmotoren sind immer kleiner und kompakter als andere

Eisenkern-Motor	
Vorteile	Nachteile
Hohe Krafterzeugung	Rastmoment
Gute Wärmeableitung	Attraktive und seitliche Forcer
Bekannt	Wirbelströme
	Magnetische Sättigung
	grossen Fussabdruck

Röhrenförmig	
Vorteile	Nachteile
Reibungslos	geringere Krafterzeugung
einfach zu integrieren	
effizientere Kühlung	
lineares Kraft-/ Stromverhältnis	
Kompakte Bauform	

**Vergleich U-förmiger Motor mit einem röhrenförmigen Motor**

U-Kanal	
Vorteile	Nachteile
Rastmomentfrei	Ineffiziente Kühlleistung
bekannte Technologie	geringeren Steifigkeit
	grossen Fussabdruck
	Höhere Kosten

Röhrenförmig.	
Vorteile	Nachteile
effizienteren Kühlung	grössere Höhe
optimale Steifigkeit	
Kompakte Bauform	
niedrige Kosten	

## Vergleich U-förmiger Motor mit einem röhrenförmigen Motor

zylindrische Linearmotoren mit vergleichbaren Eigenschaften. Deshalb können sie in Anwendungen mit einem geringeren Platzbedarf eingesetzt werden.

Lineare Servomotoren sind nur eine Komponente in einem Bewegungssystem. Ein komplettes Linearmotorsystem hingegen besteht zusätzlich aus einem Lager zur Unterstützung und Führung der Last, Kabeln, einem Linearencoder für die Rückmeldung sowie einem Servoantrieb und einer Steuerung.

## Einfacherer Aufbau

Die Konstruktion von Linearmotorsystemen ist einfacher als die Konstruktion von Systemen, die auf Rie-

men, Zahnstangen oder Schrauben basieren. Sie enthalten weniger Bauteile, was zu weniger Montageschritten führt (kein Ausrichten von Kugeltreibstützen oder Spannen von Riemen). Außerdem sind Linearmotoren berührungslos, so dass sich Konstrukteure keine Gedanken über Schmierung, Einstellungen oder andere Wartungsarbeiten an der Antriebseinheit machen müssen.

## Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die röhrenförmigen Linearmotoren herkömmliche Eisenkern- und eisenlose Antriebe in Präzision und Leistung übertreffen und nur wenig Platz brauchen.

## Für den Reinraum geeignet

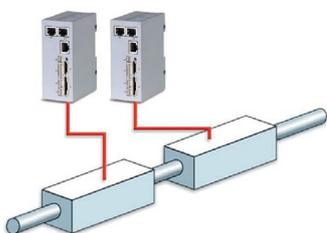
Linearwellenmotoren sind oft die bevorzugte Lösung in anspruchsvollen Umgebungen mit hoher Leistungsdichte, wie z. B. Reinräumen da sie weniger bewegliche Teile haben und mit fast jeder Art von Linearführung oder Kabelmanagement kombiniert werden können, um die Anforderungen der Anwendung an die Partikelerzeugung, Ausgasung und Temperatur zu erfüllen. Außerdem benötigen sie keine Schmierung. Sie können auch mit Vakuum arbeiten, beispielsweise beim Ansaugen von Teilen, um diese zu greifen oder zu transportieren.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Konstrukteur entweder die Welle oder den Forcer (Wicklungen, einschließlich Kabel und Kabelma-

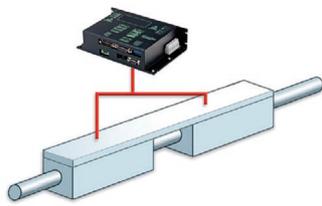
nagement als bewegliches Teil) verwenden kann.

Diese Linearmotoren sind sich auch optimal geeignet, wenn eine hohe Kraft in kompakten Anwendungen erzeugt werden soll. Hier können mehrere Achsen parallel oder mehrere Spulen in Reihe verbaut werden. Eine kostengünstige Lösung entsteht, wenn mehrere Spulen auf einer Welle untergebracht werden. Oft benötigt man auch nur einen Treiber. Die Bilder 5-7 zeigen die unterschiedliche Anordnung der Antriebe mit deren Steuerungen.

Das folgende Video auf YouTube enthält weitere Informationen: [https://youtu.be/X9OqB6g\\_s-M?feature=shared](https://youtu.be/X9OqB6g_s-M?feature=shared)



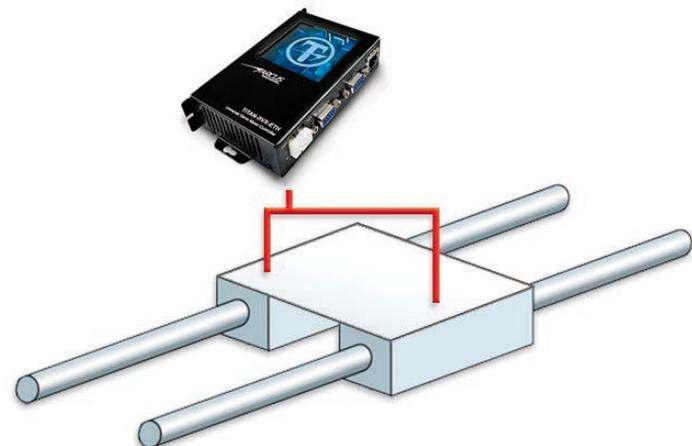
**Bild 5: Parallel geschaltete Antriebe mit einer Steuerung**



**Bild 6: Seriell geschaltete Antriebe mit einer Steuerung**



**Bild 8: Komplette Linearmotoren in einem Tischgehäuse**



**Bild 7: Seriell geschaltete Antriebe mit je einer individuellen Steuerung**



**Bild 9: Linearmotor in einem Tischgehäuse mit höherer Auflösung**

## Lineartische

Die Linearmotoren sind auch als kompakte und hochsteife Lineartische mit Linearführungen und Encoder verfügbar. Mit zusätzlichen Bauteilen können diese Tische (Bild 8 und 9) einfach realisiert werden.

## Beispiel Pipettiereinheit

Als Beispiel haben wir ein Referenzdesign für computergesteuerte Pipetten (Bild 10) mit acht einzeln steuerbaren Kanälen (Bild 11) realisiert, das auf dem linearen Servomotor SX060 basiert.

Die einzeln steuerbaren Kanäle ermöglichen eine unabhängige Bewegung der einzelnen Pipetten. Somit können die Proben sehr flexibel abgearbeitet werden. Diese voll automatisierte Verarbeitung einzelner Proben mit verschiedenen Pipetten optimiert den Durchsatz und verringert die Bearbeitungszeit. Die Pipettiereinheit ist benutzerfreundlich und wird mit einem kompakten Controller, der auf einem Commander-Hybridmodul basiert, sehr präzise gesteuert. Ein Video zeigt die Funktionsweise der Pipettiereinheit.

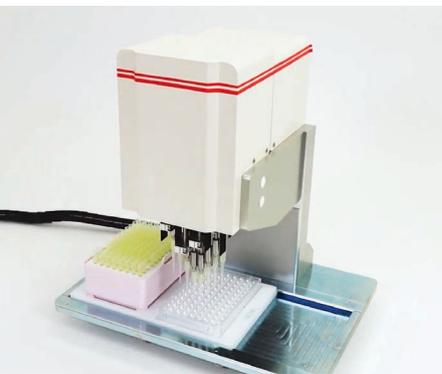


Bild 10: Pipettiereinheit

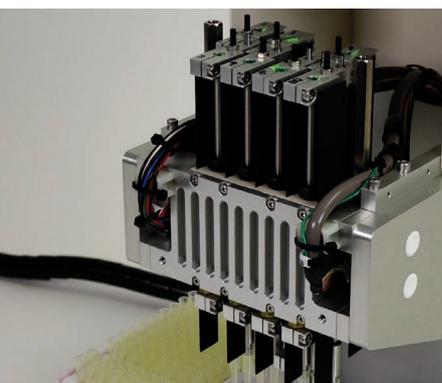


Bild 11: Antriebe der Pipettiereinheit

Link: <https://youtu.be/JG1OjzdX3IQ?feature=shared>.

## Gegengewicht gLESS

Wenn Wellenmotoren vertikal eingesetzt werden, ist ein Gegengewicht erforderlich, um der Schwerkraft entgegenzuwirken. Ohne Gegengewicht würde die Motorwelle im stromlosen Zustand herunter fallen. Bei konventionellen Konstruktionen wurde eine Feder als Gegengewicht eingesetzt. Sie ist ein kritisches Bauteil, da die Feder mit der Zeit altert und somit besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich der Wartung erfordert. Ein neuartiges, wartungsfreies Gegengewicht namens gLESS nutzt die Magnetkraft und ermöglicht eine gleichförmige Bewegung.

Im Vergleich zu herkömmlichen Feder-Gegengewichten bietet das magnetische Gegengewicht folgende Vorteile:

- Die „Federkonstante“ ändert sich auch nach vielen Jahren im Einsatz nicht
- Die Welle fällt stromlos nicht herunter
- Fast keine Streuung des magnetischen Flusses
- Kompakte Lösung in Kombination mit dem Wellenmotor des Herstellers
- Konstante Ausgleichskraft
- Berührungslose Funktion sorgt für Wartungsfreiheit

## Vorteile im Überblick

Linearmotoren haben mehrere Vorteile gegenüber mechanischen Systemen, z. B. bei komplexen Bewegungsprofilen, weil sie sehr hohe und sehr niedrige Geschwindigkeiten, sowie eine hohe Beschleunigung ermöglichen. Außerdem sind sie wartungsfrei, weil die Teile keinen Kontakt zueinander haben. Deshalb müssen sie auch nicht geschmiert werden. Sie bieten eine hohe Präzision und haben kein Spiel.

## Eigenschaften rohrförmiger Linearmotoren im Überblick:

- leicht und einfach zu reinigen
- Geräuscharm
- Niedrige Betriebskosten, da sie nicht verschleifen
- Sind sehr wartungsarm
- Benötigen keine Schmierstoffe



Bild 12: Unterschiedliche Linearzylinder

- Hohe Dynamik
- Hohe Präzision und Stabilität
- Hohe Wiederholgenauigkeit
- Es sind hohe Kräfte übertragbar
- Kompakte leichte Bauweise
- Korrosionsfest und rostfrei
- Geringer Energieverbrauch
- Lange Lebensdauer

## Einsatzmöglichkeiten

- medizinischen Bildgebungsgeräten wie CT-Scanner, MRT- und Diagnosegeräten.
- Instrumente in der Chirurgie
- Flüssigkeitshandling, Chirurgieroboter, Klebetechnik PICK & Place (SMA-Geräten),
- Einsatz im Reinraum
- Laborautomatisierung: Flüssigkeitspumpen, Handhabung von Blutproben und Reagenzgläsern, Verdünnung der Proben, Abfüllung
- vollautomatisches Fertigen von Zahnkronen auf den Zehntel-Millimeter genau

## Linearzylinder

Linearzylinder (Bild 12) werden für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, wenn eine einfache Linearmotorlösung gefragt ist. Der Linearzylinder basiert entweder auf einem Servomotor, gekoppelt mit einem Getriebe; oder der Motor erzeugt die Bewegung direkt über eine Gewindestange. Die Zylinderstange bewegt sich dabei geradlinig oder entlang einer Kurvenbahn.

Elektrische Zylinder sind zudem eine leistungsstarke Alternative zu Pneumatikoder Hydraulikzylindern. Sie werden in Anwendungen eingesetzt, die direkt angetrieben werden müssen (Linearmotoren) wie z. B. bei präzisen Stellvorgängen.

## Einsatz finden sie:

- in der Prothetik und Orthetik
- in Geräten für die Rehabilitation und Physiotherapie
- in roboterchirurgischen Systemen
- in Arzneimittelabgabesystemen
- in Patientenliftern, -betten und Mobilitätshilfen
- in Sauerstoffkonzentratoren
- in medizinischen Pumpen

## Piezelektrische Linearmotoren

Piezelektrische Motoren sind Kleinmotoren, die den piezoelektrischen Effekt zur Erzeugung einer Bewegung nutzen. Der Motor benötigt keine Magnete, seine Funktion basiert auf der unterschiedlichen Verformung bei Stromdurchfluss. Dadurch kann sich der Motor vorwärts oder rückwärts bewegen. Vorteile piezoelektrischer Motoren sind eine hohe Kraft pro Volumen, eine hohe Haltekraft im ausgeschalteten Zustand sowie eine sehr gute Dynamik und Miniaturisierbarkeit. Da sie ohne Magnetfelder arbeiten, können sie auch dort eingesetzt werden, wo keine Magnetfelder erwünscht sind, z. B. MRT. ◀