# Lineare Aktuatoren im Vergleich

## Pneumatik, Hubmagnet, Super-Stroke-Hubmagnet, Tauchspule

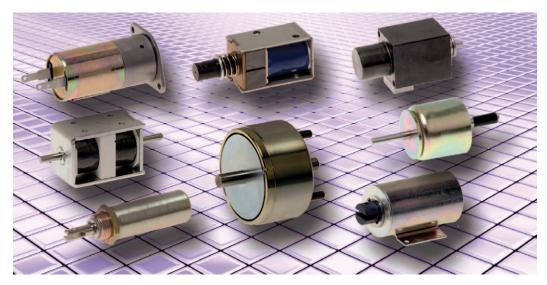


Bild 1: Hubmagnete in unterschiedlichen Ausführungen

Bisher war der Markt für kleine direkt schaltende Aktuatoren klar getrennt in pneumatische und elektrische Aktuatoren. Durch neue gesetzliche Vorgaben z. B. bezüglich Lärm in Arbeitsumgebungen, Anstrengungen zur Energieeinsparung und neue Technologien werden die Karten neu gemischt.

## Prinzipieller Vergleich der Aktuatorkonzepte

Die typischen Aktuatorkonzepte für direkte Linearanwendungen im unteren Leistungsbereich sind

- Pneumatikaktuatoren (Druckluft)
- Hubmagnete (Reluktanzprinzip)
- Proportionalhubmagnete / Super-Stroke-Hubamgnete (Reluktanzprinzip)
- Tauchspulenaktuatoren (Lorentz-Kraft)

#### Pneumatische Aktuatoren

Pneumatische Aktuatoren sind in vielen industriellen Anlagen, Maschinen und Geräten zu finden. Die Krafterzeugung des Aktuators erfolgt mit Druckluft in der Regel bei 6 bar. Dabei unterscheidet man zwischen einfach wirkenden Zylindern, bei denen die Rückstellung über eine Feder erfolgt, und

doppelt wirkenden Zylindern, die in beide Richtungen mit Druckluft gefahren werden. Die Steuerbarkeit ist begrenzt, da es aufgrund von Stick-Slip-Effekten zu ruckartigem Anfahren des Zylinders kommen kann und auch die Hysterese relativ groß ist. Eine Anpassung an neue Aufgaben ist in der Regel mit mechanischen Anpassungen des Gesamtsystems oder dem Tausch des Zylinders verbunden.

Um einen funktionsfähigen Aktuator zu realisieren, braucht man zusätzlich einen Kompressor, ein Aggregat für die Luftaufbereitung (Filtern und Trocknen) und natürlich ein Druckluftnetz mit entsprechenden Ventilen.

Sind mehrere Aktuatoren in einem System vorhanden können die Kosten für die Anschaffung der verschiedenen Komponenten auf die verschiedenen Aktuatoren verteilt werden; dadurch kann ein pneumatisches System insgesamt in den Anschaffungskosten sehr günstig sein; je geringer die Anzahl der Aktuatoren ist, desto problematischer wird aber diese Gleichung. Zudem darf nicht vergessen werden, dass neben

den Anschaffungskosten auch laufende Kosten für die Luftaufbereitung und Leckage von Luft anfallen. Zudem haben in dynamischen Anwendungen die Aktuatoren selbst eine begrenzte Lebensdauer. Natürlich darf der Platzbedarf für die zusätzlichen Komponenten nicht vergessen werden.

Pneumatische Aktuatoren sind relativ laut, weshalb diese aufgrund neuer Lärmschutzverordnungen in einigen Anwendungen problematisch sein können.

#### Hubmagnete

Die Alternative im Bereich elektrische Aktuatoren waren bisher üblicherweise einfache Ein-/ Aus-Hubmagnete in unterschiedlichen Bauformen. Hubmagnete arbeiten nach dem Reluktanzprinzip und bestehen aus einem stationären Wicklungskörper und einem beweglichen Anker aus Eisen. Wenn die Wicklung bestromt wird, wird der Anker in die Wicklung hineingezogen und damit der Luftspalt minimiert, so dass die Reluktanz des magnetischen Kreises minimiert (bzw. der Fluss maximiert) wird. Die erzeugte Kraft steigt nahezu exponentiell an, wenn sich die Pole aufeinander zu bewegen. Auch bei den Hubmagneten erfolgt in der Regel die Rückstellung über eine Feder, aber auch doppelt wirkende Aktuatoren sind anzutreffen. Außerdem gibt es Hubmagnete, die mit einem Permanentmagneten stromlos in der Halteposition gehalten werden.

Konventionelle Hubmagnete tendieren zu einem harten Endanschlag und somit zu Geräuschund Lebensdauerproblemen. Der exponentielle Kraftanstieg in Richtung des Endanschlages macht es schwer, sie in irgendeiner Form zu



Bild 2: Open-Frame-Hubmagnete als Ventilaktuator



Bild 3: Push-Pull-Hubmagnete als Aktuator in einem Schlauchquetschventil

kontrollieren – wenn einmal genügend Kraft erzeugt wird, um sich zu bewegen, führt der steile Kraftanstieg zu einer immer höheren Beschleunigung und somit zum harten Endanschlag. Es gibt aber viele Anwendungsbeispiele für Hubmagnete, bei denen diese Charakteristik gut passt und ggf. eine Dämpfung in der Anwendung die Geräusch- und Lebensdauerproblematik abfängt. In der Medizintechnik sind das vor allem

Ventilanwendungen oder Verschlüsse und Pressvorrichtungen, wie z. B. Schlauchquetschventile.

Die einfachste Ansteuerung bei Hubmagneten ist das Einund Ausschalten der DC-Versorgungsspannung. Da die Spule ein induktives Bauteil ist, sollte mit einer Freilaufdiode die Möglichkeit geschaffen werden, dass der Strom beim Abschalten der Versorgung in der Spule ohne Lichtbogeneffekt abgebaut werden kann.

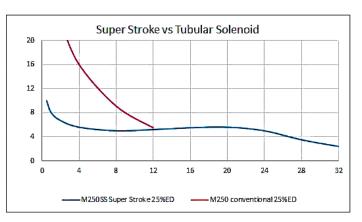


Bild 5: Kraftverlauf Super-Stroke Hubmagnet gegenüber Tubular-Hubmagnet gleicher Baugröße im Vergleich

# Hubmagnete mit speziellen "Pick&Hold"-Schaltkreisen

Die stark exponentielle Kraftkurve führt gerade bei längeren Hüben zu sehr kleinen Startkräften. Um diesen Nachteil ausgleichen zu können, stehen für Hubmagnete spezielle "Pick&Hold"-Schaltkreise zur Verfügung, die beim Einschalten einen hohen Stromimpuls für eine hohe Startkraft zur Verfügung stellen und dann auf einen geringen Haltestrom zurückschalten. Dadurch wird die Schaltcharakteristik optimiert, der Energieverbrauch - und damit auch die Wärmeentwicklung - minimiert.

Der Einsatz einer Pick&Hold-Schaltung macht es oft auch möglich, kleinere Hubmagnete einzusetzen. Diese Technik bietet sich vor allem bei Applikationen an, bei denen zwischen zwei Endpositionen hin- und hergeschaltet wird und bei denen Größe, thermisches Verhalten und Leistungsverbrauch kritisch sind – ein Vorteil, der z.B. bei Geräten im Umgang mit sensiblen

Flüssigkeiten wie Blut eine große Rolle spielt.

Ein weiterer Vorteil der Pick&Hold-Schaltungen ist die integrierte Stromregelung, die gegenüber der reinen Spannungsschaltung den Vorteil hat, dass die Temperatureffekte durch die Widerstandsänderung des Hubmagneten mit der Änderung der Spulentemperatur keine Rolle mehr spielen.

Je nach Ausführung können Hubmagnete sowohl mechanisch als auch thermisch sehr robust sein. Bei den hochwertigeren Ausführungen sind die internen Teile durch ein massives Metallgehäuse gut geschützt, welches auch für eine gute Abfuhr der Wärme aus der Spule führt, die intern dicht am Gehäuse platziert werden kann und somit einen guten thermischen Kontakt zum Gehäuse hat.

#### **Proportional-Hubmagnete**

Eine Sonderausführung bei den Hubmagneten sind die sog. Proportionalmagnete, die hauptsächlich für die Ansteuerung von hydraulischen Systemen verwendet werden. Da sie in den hier betrachteten Anwendungen schon aufgrund ihres sehr beschränkten Hubes kaum eine Rolle spielen, finden sie in der Auflistung keine Berücksichtigung.

#### Super-Stroke-Hubmagnete

Interessant dagegen ist die neue Technologie der sog. Super-



Bild 4: Super-Stroke Hubmagnet

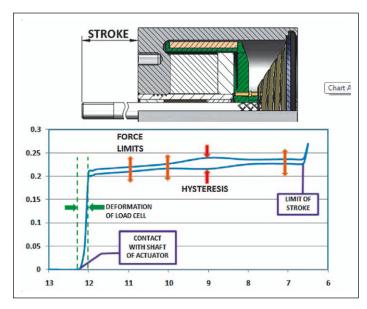


Bild 6: Beispiel für die bidirektionale Messkurve eines Voice-Coil-Aktuators innerhalb eines Pass-or-Fail-Tests nach Kundenvorgabe

Stroke-Magnete. Mechanisch sehen diese aus wie die langgestreckten Tubular-Hubmagnete, die für längere Hübe entwickelt wurden. Für die Super-Stroke-Hubmagnete wurde aber der magnetische Aufbau verändert, wodurch diese eine extrem flache Kennlinie haben, die es ermöglicht, die Super-Stroke-Magnete als Quasi-Proportionale Hubmagnete einzusetzen und damit im Zusammenspiel mit einer geeigneten Feder in bestimmten Grenzen eine Steuerbarkeit der Posi-

tion zu erreichen. Gleichzeitig ist es möglich durch eine geeignete Form der Stromkurve während der Bewegung den mechanischen Anschlag massiv zu dämpfen – das erhöht die Lebensdauer und mindert das hörbare Geräusch drastisch. Damit stoßen diese Super-Stroke-Hubmagnete in eine Lücke von Anwendungen, die auf der einen Seite weg von der Pneumatik möchten, auf der anderen Seite den Einsatz einen Tauchspulenaktuators z.B. aus Kostengründen nicht erlauben.

Die Super-Stroke-Hubmagnete ermöglichen neue Ansätze zur Reduktion des Geräusches, z. B. bei Verriegelungen von Gerätemechanismen in der Nähe von Patienten und in Laboren.

## Tauchspulenaktuatoren (Voice Coils)

Im Sinne der Steuerbarkeit sind die Tauchspulenaktuatoren (Voice Coils) die beste Lösung. Voice Coils sind die praktische Implementierung des klassischen physikalischen Problems eines stromdurchflossenen Leiters im senkrecht zu ihm verlaufenden Magnetfeld, arbeiten also nach dem Lorentz-Kraft-Prinzip und sind damit bidirektional aktiv ansteuerbar. Dabei ist ihre Proportionalität von Kraft zu Strom quasi unabhängig von der Position - bestechend, was sie zum idealen Steuerungsaktuator macht.

Voice-Coil-Motoren werden generell mit Seltenen-Erden-Magneten gebaut, weil für die hohen Kräfte im Vergleich zum Bauraum und den guten Wirkungsgrad ein hohes Magnetfeld erforderlich ist. Bei großen Größen werden diese Materialien teuer und es können Schwierigkeiten bei der Handhabung und Bearbeitung von solchen Magnetmaterialien auftreten. Montagepro-

zesse etwa sollten mit magnetischen Materialien in besonders sauberen Umgebungsbedingungen (Reinraum) stattfinden. Andererseits können die Handhabungskosten beim Einsatz von starken Magnetmaterialien manchmal durch die vergleichsweise kleine Bauweise und weniger Materialverbrauch reduziert werden. Es müssen also auch die Handhabungskosten in die Auswahl des richtigen Aktuators für eine bestimmte Applikation mit einbezogen werden.

#### Strom als Stellgröße

Wenn man die Tauchspulenaktuatoren zusammen mit einer
Feder mit konstant steigender
Kraftkennlinie einsetzt, kann man
sie, wie auch die Super-StrokeHubmagnete, zur Positionierung
in der offenen Steuerkette mit dem
Strom als Stellgröße einsetzen –
nur ist die Genauigkeit noch deutlich besser. Die Position stellt sich
einfach in dem Punkt ein, wo die
Kraft des Aktuators (bekannt aus
dem Stromwert) gleich der Gegenkraft der Feder ist (bekannt aus
der Kennlinie).

## Programmierbarer Servoaktuator

Es gibt auch fertig integrierte Voice-Coil-Aktuatoren mit

Die Eigenschaften im Vergleich				
Eigenschaft	Tauchspule	Hubmagnet	Super-Stroke-Hubmagnet	Pneumatikaktuator
Steuerbarkeit	exzellent	schlecht	akzeptabel	akzeptabel
Bidirektional	ja	nein	nein	ja
Hubbereich	bis 50 mm	bis 50 mm	bis 30 mm	bis 2000 mm
Hysterese	exzellent	schlecht	akzeptabel	schlecht
Dynamik	exzellent	akzeptabel	akzeptabel	gut
Überlastfähigkeit	exzellent	exzellent	exzellent	exzellent
Wirkungsgrad	akzeptabel	schlecht	schlecht	schlecht
Zuverlässigkeit	exzellent	exzellent	exzellent	akzeptabel
Lebensdauer	exzellent	exzellent	exzellent	schlecht
Geräusch	exzellent	schlecht	akzeptabel	schlecht
Anpassbarkeit	sehr flexibel	sehr flexibel	sehr flexibel	flexibel
Benötigte Peripherie	Stromregler	Spannung / Pick&Hold	Spannung / Pick&Hold / Stromregler	Kompressor / Luftaufbereitung / Luftleitungen
Kosten	akzeptabel	günstig	günstig	günstig

### ANTRIEBE



Bild 7: Voice-Coil-Aktuatoren mit Flexcircuit Alle Bilder: Geeplus, Ltd. (UK)

Präzisionslagerung und Encoder, die mit einem entsprechenden Servoregler den Tauchspulenaktuator zu einem frei programmierbaren Servoaktuator macht: freie Positionierbarkeit, exzellente Dvnamik und Präzision machen solche Aktuatoren zu idealen Helfern in der Handhabungstechnik, Verpackungstechnik, Micromontage, Testaufgaben etc. - hier spielen die Servoaktuatoren auf Basis von Tauchspulentechnologie alle Vorteile gegenüber pneumatischen Aktuatoren aus. Durch die freie Parametrierbarkeit und Programmierbarkeit sind z. B. Produktwechsel

in einem Verpackungsprozess nicht mehr mit einer Umrüstung der Maschine verbunden. Durch das Laden eines neuen Parametersatzes kann der Produktionsprozess praktisch ohne Unterbrechung weitergehen.

Es ist aber nicht unbedingt die Positionierung, für die Voice Coil Aktuatoren angewendet werden. Die Regelung kann auch um andere Größen aufgebaut werden. Zwei der Hauptanwendungen für Voice-Coil-Aktuatoren finden sich in Beatmungsgeräten, nämlich die Atemdruck-Kontrolle und die Gasmischung, für die der Regelkreis mit dem Druck bzw. beim

Gasdurchfluss geschlossen wird. Für beide Anwendungen sind die Zuverlässigkeit und die Präzision, insbesondere bezüglich sehr guter Proportionalität mit einer möglichst kleinen Hysterese extrem wichtige Eigenschaften, die für das Überleben bzw. den Genesungsprozess eines Patienten eine kritische Funktion haben.

Gerade bezüglich der magnetischen Hysterese haben Voice-Coil-Motoren einige Vorteile gegenüber Hubmagneten, da in Voice-Coil-Motoren das Statorfeld relativ konstant ist und damit die magnetische Hysterese bis auf Betriebspunkte mit extrem hohem Feld (Sättigungsbereich) vernachlässigt werden kann. Die erzeugten Kräfte wirken in Bewegungsrichtung, Reibung und mechanische Hysterese durch Seitenkräfte können praktisch vernachlässigt werden.

Insbesondere für die Beatmungstechnik wird hier auch durch Maßnahmen bei der mechanischen Lagerung, z. B. optional durch sog. Flex-Bearings, weiteres Potential zur Reduktion der Hysterese genutzt.

Eine extrem kritische Stelle für die Zuverlässigkeit der Tauchspulen-Aktuatoren ist die elektrische Anbindung der Spule, die bei Voice-Coils üblicherweise das bewegte Teil ist. Der Hersteller Geeplus hat für solche Anwendungen die sog. Flexcircuits, wie sie aus der Ansteuerung von Druckköpfen bekannt sind, erfolgreich implementiert. Unter anderem haben Flexcircuits auch den Vorteil, dass die Krafteinleitung durch die elektrische Verbindung im Gegensatz zu normalen Drähten kontrollierbar ist.

#### Zusammenfassung

Die Selektion der richtigen Aktuator-Technologie für eine spezielle Anwendung hängt von vielen Faktoren ab. Die rein elektrischen Aktuatoren machen dabei den pneumatischen Aktuatoren durch mehrere Vorteile einige bisher gesetzte Anwendungen streitig. Der Wegfall von Peripherie, die einfache Ansteuerung, die Reduktion von Geräuschen und last but not least die deutlich bessere Steuerbarkeit sind ausschlaggebende Kriterien, bei denen elektrische Aktuatoren mehr und mehr punkten können.

Autor: Volker Löffler

► MACCON Antriebskomponenten GmbH www.maccon.de