

Zuverlässigkeit von Q-Motion® Systemen

Lebensdauer, Vakuum Anwendungen, Verschleiß



Inhaltsverzeichnis

1	Arbeitsweise eines Q-Motion® Piezomotors	3
2	Lebensdauer	3
2.1	<i>Lebensdauer in Standardumgebung</i>	3
2.2	<i>Lebensdauer im Vakuum</i>	3
2.3	<i>Leistungsaufnahme der Positioniertische</i>	4
3	Testumgebung	4
3.1	<i>In Standardumgebung</i>	4
3.1.1	Fazit zur Lebensdauer in Standardumgebung	5
3.2	<i>In Vakuum</i>	5
3.2.1	Fazit zur Lebensdauer in Vakuum	6

1 Arbeitsweise eines Q-Motion® Piezomotors

Antriebe für Q-Motion® Tische basieren auf dem Trägheitsprinzip (Stick-Slip-Antriebe). Piezoträgheitsantriebe sind platzsparend und preiswert und besitzen relativ hohe Haltekräfte und prinzipiell unbegrenzten Stellweg. Ein zyklischer Wechsel von Haft- und Gleitreibung zwischen einem bewegten Läufer und einem piezoelektrischen Aktor sorgt für einen kontinuierlichen Vorschub des Läufers. Mit einer Betriebsfrequenz von max. 20 kHz erreichen direkt auf den Läufer wirkende Antriebe Geschwindigkeiten von bis zu 10 mm/s.

Im Wesentlichen nutzt jeder Q-Motion® Tisch einen kompakten Motor bestehend aus einem Piezoaktor, einem Motorgrundkörper und dem Kopplungselement. Dieses Element wird mit einer definierten Vorspannung gegen einen Läufer gedrückt, woraus sich die gewünschte Antriebskraft ergibt.

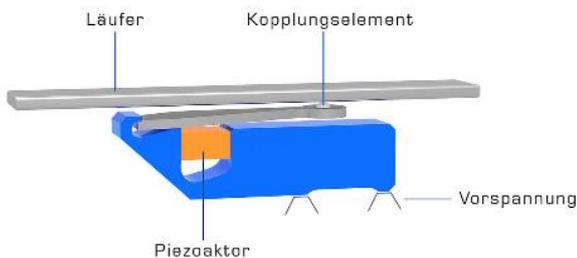


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Q-Motion® Trägheitsantriebs

Der Aktor basiert auf einer piezoelektrischen Keramik, die vollständig verschleißfrei für sehr hohe Zyklen ausgelegt ist. Er wird durch eine elektrische Ansteuerspannung (Sägezahnprofil) ausgelenkt, woraus sich eine Vorwärts- bzw. Rückwärtsbewegung des Läufers ergibt.

Der Kontaktpunkt des Kopplungselements und des Läufers ist reibungsbehaftet und somit auch anfällig gegenüber Verschleiß.

2 Lebensdauer

2.1 Lebensdauer in Standardumgebung

Die Lebensdauer wird maßgeblich durch das keramische Kopplungselement und den ebenfalls keramischen Läufer beeinflusst. Die dem Trägheitsprinzip zugrunde liegende Reibung (Slip-Phase) ist Verschleiß unterworfen. Dieser Ver-

schleiß kann durch geeignete Materialien jedoch deutlich reduziert bzw. vermieden werden.

Zur Verringerung / Vermeidung von Verschleiß und frei entstehenden Keramikpartikeln wird vakuumkompatibles Fett eingesetzt, das auf den Läufer aufgebracht wird. Der Einsatz von Fett hat keinen negativen Einfluss auf die erzeugte Motorkraft, sondern sorgt im Gegenteil für eine weichere Gleitphase und somit bessere Regelbarkeit.

Die seit 2 Jahren andauernden Lebensdaueruntersuchungen zeigen eine Laufleistung von mindestens 80 km bei folgenden Parametern:

- Voller Hub bei Linearachsen
- Volle Umdrehung bei Rotationsachsen
- Gegen die Motorkraft wirkende Last; Gewichte bei linearen Bewegungen und Gewichte zur Erzeugung eines Drehmoments bei rotatorischer Bewegung.
- Max. 50% Duty-Cycle
- Befestigung durch Verschrauben der Positionierstische an robuste Körper aus Aluminium oder Stahl.

2.2 Lebensdauer im Vakuum

Der Einsatz von vakuumkompatiblen Fett ist umso wichtiger, wenn die Tische im Vakuum betrieben werden.

Keramik lagert in einer Standardumgebung Wasser in der Keramikstruktur ein, ähnlich einem Schwamm, was ohne Schmierung anfangs zu leichtem Verschleiß führt. Nach einiger Zeit tritt eine Art Sättigung auf, d.h. der Läufer bzw. das Kopplungselement haben sich eingeschliffen und die Oberfläche wird poliert.

Wird nun der Tisch im Vakuum betrieben, lösen sich die eingelagerten Wassermoleküle aus der Keramik und der Verschleiß steigt sprunghaft an.

Um dies zu kompensieren, werden alle Reibkörper der Q-Motion® Serie mit einem vakuumkompatiblen Fett bestrichen, was das „Austrocknen“ der Keramik verhindert.

Trotz des Einsatzes von Fett sorgt das Vakuum dennoch zu einer deutlich geringeren Lebensdauer gegenüber Standardumgebung.

Lebensdaueruntersuchungen in der Q-Motion® eigenen Vakuumkammer zeigen eine Laufleistung von mindestens 1,2 km, bei folgenden Parametern:

- Voller Hub bei Linearachsen
- Volle Umdrehung bei Rotationsachsen
- Teilweise mit statischer Last in horizontaler als auch vertikaler Richtung.
- 10% Einschaltdauer und verringerte Geschwindigkeit. Durch das Fehlen von Luft zum Kühlen der Piezokeramik muss die Einschaltdauer deutlich nach unten gesetzt werden, um den Energieeintrag und die daraus resultierende Wärmeentwicklung in für den Motor erträglichen Grenzen zu halten.

Es ist zwingend erforderlich, die Q-Motion® Tische auf eine solide Metallfläche aufzuschrauben, um die Motorwärme über das Metall abführen zu können.

2.3 Leistungsaufnahme der Positioniertische

Leistung des Motorcontrollers	Q-Motion® Tisch	~15% Piezo-Hysterese und Wärmeeintrag
10W @20kHz	Q-614, Q-622, Q-632	Ca. 1,5W
10W @20kHz	Q-522, Q-521, Q-821	Ca. 1,5W
30W @20kHz	Q-545, Q-845	Ca. 4,5W

Die Tabelle stellt die Leistungsaufnahme der verschiedenen Q-Motion® Tische bezogen auf die Einzelachsen dar. Die jeweiligen Maximalwerte gelten für eine Betriebsfrequenz von 20kHz. Hierbei ist zu beachten, dass Piezokeramik mit einer Hysterese von 15% (Blindleistungsanteil) arbeitet und die eingebrachte elektrische Energie mit diesem Blindleistungsanteil in Wärme umgewandelt wird.

In Vakuum und bei Dauerbetrieb an Luft muss diese Charakteristik unbedingt beachtet werden, um ein Überhitzen und Ausfall des Motors zu vermeiden.

3 Testumgebung

3.1 In Standardumgebung

Für die Lebensdaueruntersuchungen werden folgende Tische getestet

Q-Motion® Tisch	Minimale Laufleistung
Q-614	ca. 1 Mio Rotationen (360°). Mit Last, ungeregelt
Q-622 / Q-632	Max. 570.000 Rotationen (360°). Mit Last, geregelt
Q-522	50 km, lastfrei, geregelt
Q-521	77 km, mit Last, geregelt
Q-545	72 km, mit Last, geregelt

Für die Lebensdaueruntersuchungen werden folgende Controller getestet

Motorcontroller und Treiber
E-870.1G
E-871.1A1
C-885 / E-873.10C885

Tisch mit und ohne Käfig-Zwangsführung

Q-Motion® Tisch	Käfig-Zwangsführung Ja / Nein
Q-522	Keine Käfig-Zwangsführung
Q-521	Keine Käfig-Zwangsführung
Q-545	Mit Käfig-Zwangsführung

Alle Systeme sind kontinuierlich im Einsatz, deshalb erhöht sich auch die Laufleistung der Tische kontinuierlich mit. Der Test jeder einzelnen Achse gilt erst dann als abgeschlossen, wenn diese ausfällt.

Zu Testbeginn waren keine Führungen mit Käfig-Zwangsführung am Markt verfügbar. Daher wurden bei den Q-522 und Q-521 Führungen ohne Käfig-Zwangsführung verbaut. Dies kann im Dauerbetrieb zu sog. Käfigwandern führen und zu einem undefinierbaren Zeitpunkt zum Stillstand der Achse. Der Käfig muss dann manuell in die richtige Position verschoben werden und die Achse kann wieder normal in Betrieb genommen werden.

In Abhängigkeit von der Kundenanwendung (bei hohen Zyklenzahlen), können die Serien Q-521 / Q-522 seit Ende Q2 2017 mit Käfig-Zwangsführung als Option ausgerüstet wer-

den.

Der Q-545 verfügt bereits über eine Käfig-Zwangsführung und ist von diesem Verhalten nicht betroffen.

Im Zuge der Tests an der Mechanik wird gleichzeitig die Haltbarkeit der Elektronik getestet. Gerade für Langzeitanwendungen in OEM-Projekten ist eine Aussage zur Elektronik ebenso wichtig wie für die Mechanik.



Abb. 2: Testumgebung in Standardumgebung

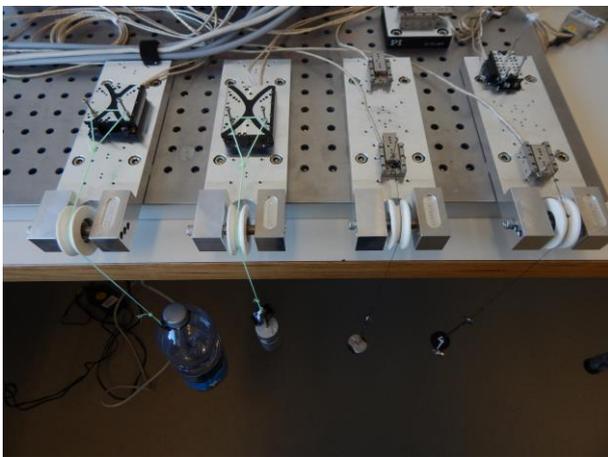


Abb. 3: 6x Lineartische mit z.T. statischer Belastung zur Erzeugung einer Kraft in Stellrichtung

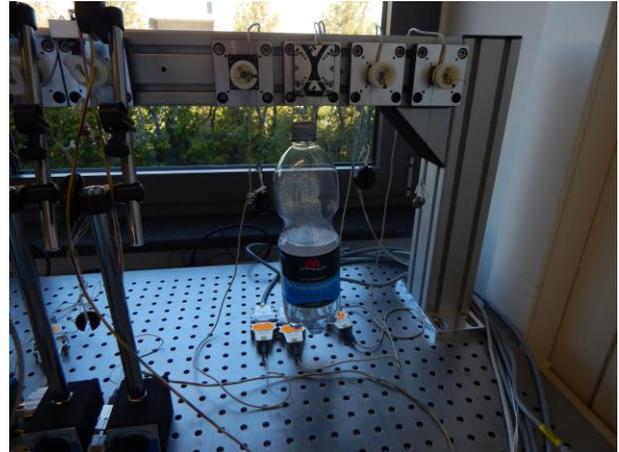


Abb. 4: 3x Drehtische mit statischer Belastung in Z zur Erzeugung eines Drehmoments. 1x Lineartisch mit Last in Z

3.1.1 Fazit zur Lebensdauer in Standardumgebung

Q-Motion® Systeme sind für Anwendungen bei kleinen bis mittleren Zyklenzahlen geeignet. Unbedingt empfehlenswert ist vor Inbetriebnahme der Systeme die Abstimmung der Einschaltdauer und der Systemumgebung gemeinsam mit PI.

Beispiel: Soll der Q-Motion® Tisch in der Anwendung mit sehr kleinen Schritten und hoher Zyklenzahl angesteuert werden, kann das zu frühzeitigem Verschleiß und Ausfall führen. Auch wenn die tatsächliche Laufleistung geringer ist als die in den Langzeituntersuchungen gemessenen Werte.

In Anwendungen, in denen kontinuierlich derselbe Teilbereich des Stellwegs genutzt wird, empfiehlt es sich ferner, sogenannte Schmierfahrten durchzuführen. Dabei wird der Positionierer einige Male über seinen gesamten Stellweg bewegt, um das Schmiermittel zu verteilen.

3.2 In Vakuum

Für Langzeituntersuchungen wird eine speziell entwickelte Vakuumkammer eingesetzt.

In Vakuum werden folgende Tische getestet

Q-Motion® Tisch	Laufleistung
Q-622.930	Min. 5870 Rotationen (360°). Ohne Last.
Q-522.14U	Min. 100 Zyklen
Q-521.14U	Min. 1,2 km
Q-545.X4U	Min. 0,4 km

Folgende Controller werden getestet

Motorcontroller und Treiber

C-885 / E-873.10C885

Tische mit und ohne Käfig-Zwangsführung

Q-Motion® Tisch	Käfigsteuerung Ja / Nein
--------------------	--------------------------

Q-522.14U	Keine Käfig-Zwangsführung
-----------	---------------------------

Q-521.14U	Keine Käfig-Zwangsführung
-----------	---------------------------

Q-545.x4U	Mit Käfig-Zwangsführung
-----------	-------------------------

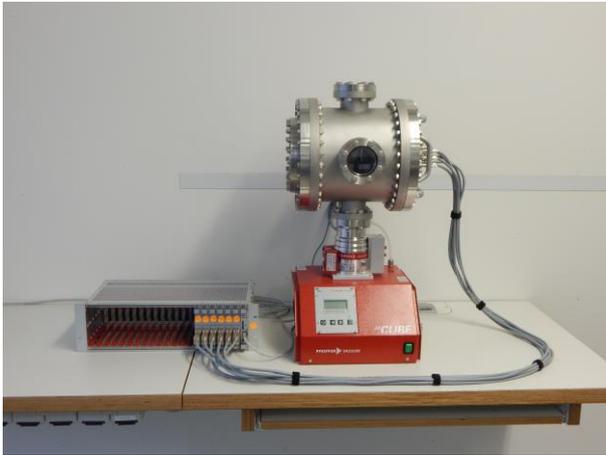


Abb. 5: Vakuumkammer und C-885 Multiachscontroller



Abb. 6: Blick in die Vakuumkammer

Fazit zur Lebensdauer in Vakuum

Durch die kurze Testzeit von 4 Monaten (Stand Mai 2017), wie auch der reduzierten Einschaltdauer sind die gemessenen Zyklen auf geringem Niveau.

Es wird empfohlen, die Zyklenzahl gering zu halten und kontinuierliche Bewegungen zu vermeiden. Optimal sind Punkt-zu-Punkt-Bewegungen für klassische Positionieraufgaben.

Über PI

In den letzten vier Jahrzehnten hat sich Physik Instrumente (PI) mit Stammsitz in Karlsruhe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Nanometerbereich entwickelt. Das privat geführte Unternehmen ist mit vier Sitzen in Deutschland und fünfzehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten. Über 850 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen die PI Gruppe in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisionspositioniertechnik zu erfüllen. Alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt. Dadurch kann jede Phase vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert werden: die Präzisionsmechanik und Elektronik ebenso wie die Positionssensorik.

Die dafür benötigten piezokeramischen Elemente werden bei der Tochterfirma PI Ceramic in Lederhose gefertigt, einem der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktiver und sensorischer Piezoprojekte.

Die PI miCos GmbH in Eschbach bei Freiburg ist spezialisiert auf flexible Positioniersysteme für Ultrahochvakuum-Anwendungen sowie parallelkinematische Positioniersysteme mit sechs Freiheitsgraden und Sonderanfertigungen.