





GLOBALES DENKEN

Fabreeka® ist seit 1936 international führend auf dem Gebiet der Schock- und Schwingungsisolierung. In unserem Firmenstandort Büttelborn bei Darmstadt befindet sich die europäische Verwaltung mit Montage, Service, Qualitätssicherung und Warenlager.

Die internationale Präsenz demonstriert unsere fortwährende Tradition und Kompetenz im Bereich der Schwingungs- und Schockisolierung. Fabreeka® ist mehr als ein Hersteller von Isolatoren. Wir entwerfen für unsere Kunden maßgeschneiderte Lösungen für schwingungstechnische Herausforderungen in diversen Bereichen und Branchen wie z.B. der Mess- und Labortechnik, der Gebäudetechnik und dem Maschinenbau. Unsere Mitarbeiter im Innen- und Außendienst bieten Schwingungsmessungen vor Ort, Installationsservice, Beratung und Schulungen an.

In dieser Broschüre finden Sie unsere Produktpalette im Bereich der Schwingungsdämpfung. Haben Sie Fragen, oder suchen Sie die passende Lösung für Ihr schwingungstechnisches Problem? Gerne beraten wir Sie ausführlich, sprechen Sie uns an. Das Fabreeka® Team steht Ihnen telefonisch oder gerne vor Ort mit kompetenten Ingenieuren zur Verfügung.

Unsere Kontaktdaten und Niederlassungen finden Sie auf der letzten Seite.

■ FABREEKA-Standorte 1 USA ech Products Corporation FABREEKA-Vertretungen/Distributoren 2 USA Fabreeka International Inc. **3** Großbritannien 8 Russland 13 Westkanada **4** Deutschland 9 Italien 14 Mexiko Fabreeka GmbH 10 Israel 15 Australien 5 Taiwan 16 Vereinigte Arabische 6 China 11 Indien Emirate (UAE) Stabilus SBV Südkorea 12 Brasilien Stabilus SBV

INHALT

Einführung4
Technische Beschreibung – Luftfedern5
Design-Service
Produkte
Precision-Aire™-Luftfederelemente mit automatischer Niveauregelung (PAL)12
Niveauregelventile
Standardluftfedern
Isolationseigenschaften/Spezifikationen
Sonderluftfedern
Pendelluftfedern
Sonderanfertigungen/Isolatoren
Gimbel
Abgehängte Plattformen und Maschinenrahmen
Balgzylinder-Luftfedern
Precision-Aire-Gürtelrollbalg Typ RLA
Precision-Levelling-Mount – PLM-Luftfedern
RDS (Rapid Deflate System)
Anwendungsgebiete
Präzisionswerkzeugmaschinen
Messtechnik-/Prüfungsgeräte
Automobilprüfstände 39
Aerospace-Prüfungen
Soft-Support-System42
MRT-/NMR-Spektrometergeräte

Schwingungsdämpfung | Globales Denken Schwingungsdämpfung | Inhalt



EINFÜHRUNG

Niederfrequente Schwingungen und Schocks können Genauigkeit, Wiederholgenauigkeit und Durchsatz von Präzisionsmessgeräten, Positionier- und Fertigungsmaschinen beeinflussen. Da die Anforderungen an die Genauigkeit des fertigen Produktes stetig steigen, verlangen Herstellungs-, Messtechnik-, Engineering- und Forschungseinrichtungen eine verbesserte dynamische Stabilität.

Um eine Reduzierung der aktuellen Schwingungsbelastung zu erreichen, hat sich die niederfrequente und ultraniederfrequente Schwingungsisolation hervorragend bewährt. Das Ziel dieser Methode ist eine verbesserte Fertigungsgenauigkeit. Alternativ kann eine Lösung angeboten werden, mit der man der schwingungsfreien Umgebung möglichst nahe kommt.

Mechanische Schwingungen und Schocks gibt es in jeder Umgebung. Wie stark ein Gerät durch Schwingungen oder Schocks

beeinträchtigt wird, hängt von der Stärke der Störung sowie der Empfindlichkeit des Geräts ab.

Eine Schwingungsanregung von geringer seismischer Stärke, wie sie überall auf der Welt vorkommt, mag für Menschen nicht wahrnehmbar sein – die Funktion von empfindlichen Geräten kann jedoch erheblich beeinträchtigt werden. Dazu kommen die alltäglichen Schwingungen, die von Fahrzeugen, Fußgängerverkehr, Gabelstaplern, Maschinen sowie Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik verursacht werden, wodurch sich der Kreis der betroffenen Geräte noch vergrößert.

Schwingungen, die von Maschinen oder anderen Quellen (auch akustisch) erzeugt werden, können auf eine tragende Konstruktion wie zum Beispiel einen Hallenfußboden übertragen werden und haben so einen negativen Einfluss auf die Umgebung. Außerdem erzeugen sie eine ungewollte Schwingungsbelastung.

Zu den Geräten und Prozessen, die durch mechanische Schwingungen beeinträch-

tigt werden, gehören beispielsweise Präzisionswerkzeugmaschinen, Koordinatenmessmaschinen, Kernspinresonanztomografen (MRT/NMR), Laborgeräte wie auch Fertigungsgeräte in der Halbleiterindustrie. Ziel der Schwingungsisolation ist es, störende Schwingungen zu beherrschen und so die negativen Auswirkungen in erträglichen Grenzen zu halten. Für vielfältige Anwendungen werden Schwingungsisolatoren entworfen, die vor den Auswirkungen von Schwingungen und Schocks schützen sollen.

Ist das zu isolierende Gerät selbst die Quelle der unerwünschten Schwingungen (z.B. Schock- und Schwingungstestgeräte), wird die Übertragung der Schwingungen von der Quelle in die Umgebung durch eine Isolierung reduziert (Abb. 1).

Ist hingegen das zu isolierende Gerät selbst der Empfänger störender Schwingungen

> (z.B. Elektronenmikroskope, Koordinatenmessmaschinen). reduziert eine Isolierung die Umgebungsschwingungen auf den Empfänger (Abb. 2).



TECHNISCHE BESCHREIBUNG LUFTFEDERN

EIGENFREQUENZ

Luftfedern bestehen aus einem Luftvolumen (Luftkammer), das mit einer verstärkten, flexiblen Membrane verschlossen ist. Im Betriebszustand trägt der Isolator seine Nutzlast unter Verwendung eines Kolbens, der auf der Membrane aufliegt (Abb. 3).

Die Wirkfläche der Membrane und der Druck auf die Membrane legen die Nutzlast des Isolators fest. Der Druck im Isolator wird durch ein Niveauregelventil gesteuert, das sowohl den Innendruck wie auch die ausgefederte Arbeitshöhe des Isolators regelt.

Grundsätzlich beinhalten Fabreeka®-Precision-Aire-Luftfedern eine zweigeteilte Luftkammer, bestehend aus einer Federkammer und einer Dämpfungskammer. Dämpfungskammer und Federkammer sind räumlich voneinander getrennt und durch eine Pneumatikleitung miteinander verbunden (siehe Dämpfung). Dieser Zweikammeraufbau kann verschiedenartig gestaltet werden, für die Eigenfrequenz des Isolators sind das Volumen (V) sowie die effektive Wirkfläche der Membrane A_{aff} ausschlaggebend (Gleichung 1). Zu beachten ist, dass der Druck (Pahe) proportional zur Last (m) ist und dadurch eine konstante Eigenfreguenz beibehalten wird, auch wenn sich die Last ändert.

[Gleichung 1*] $F_n = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{n P_{abs} (A_{eff})^2}{Vm} \right)^2$

Hierbei gilt: $F_n = Eigenfrequenz$ [Hz]

*Für einen Betriebsdruck größer als 3 bar

n = Verhältnis der spezifischen Wärme von Gas bei konstantem Druck und konstantem Volumen [1,4 für Luft]

= Masse der abgefederten Last [kg] = Wirkfläche der Membrane [m²]

= Luftvolumen [m³] = absoluter Druck [bar]

Die Steifigkeit von Luftfedern hängt hauptsächlich vom Druck und dem Volumen einer gegebenen Luftsäule ab.

Die Steifigkeit einer Luftfeder kann man von der Druck-Volumen-Beziehung der Gasgesetze ableiten, ausgehend von:

(a) adiabatische Kompression

(b) Volumenänderung im Vergleich zum ursprünglichen Volumen gering

Daraus ergibt sich:

[Gleichung 2*]

Hierbei gilt:

= Steifigkeit [N/m]

= Verhältnis der spezifischen Wärme von Gas

Dieser Ausdruck zeigt, dass das Verhal-

= Absolutdruck der Luftsäule [bar]

= Wirkfläche der Membrane [m²]

ten einer Masse, die auf einer ungedämpften Luftfeder gelagert wird, vom Luftvolumen und der Wirkfläche der Membrane abhängt. Auch wenn eine dünne, flexible Membrane verwendet wird, ist zu beachten, dass das Elastomermaterial der Membrane bei niedrigen Betriebsdrücken der Luftfedern einen Anstieg der Gesamtsteifigkeit verursacht. Diese zusätzliche Steifigkeit hat Auswirkungen auf das dynamische Gesamtverhalten des Isolators. Um diesen relativen Anstieg der Steifigkeit zu reduzieren, sollte der Betriebsdruck einer Luftfeder immer höher als 3 bar sein. Die Ventilsteifigkeit kann die Gesamtsteifig-

keit eines Luftfederelements ebenfalls

beeinflussen.



5 Schwingungsdämpfung | Einführung Schwingungsdämpfung | Technische Beschreibung



DÄMPFUNG

Das Ziel der Dämpfung in einem Isolator ist es, Energie so schnell wie möglich abzubauen oder abzuleiten. Ein weiterer Vorteil der Dämpfung ist die Verringerung der Schwingungsamplituden bei Resonanz. Resonanz tritt dann auf, wenn die Eigenfrequenz des Isolators mit der Anregungsfrequenz übereinstimmt.

Der ideale Isolator hat in seinem Isolationsbereich so wenig Dämpfung wie möglich und bei seiner Eigenfrequenz so viel Dämpfung wie möglich, um eine Verstärkung bei Resonanz zu verringern. Dämpfung kann jedoch auch die Wirkung der Isolation mindern (Abb. 5).

Für die vertikale Dämpfung eines Systems wird eine Dämpfungskammer über eine Pneumatikleitung mit der Federkammer verbunden. Eine Aussage für die Dämpfung erhält man, indem man die Größe der Energieumwandlung untersucht, die beim Strömen der Luft zwischen den Kammern auftritt. Dieser Ausdruck ist von der Leitung und dem Volumenverhältnis zwischen der Feder- und der Dämpfungskammer abhängig.

Die Systemdämpfung muss sorgfältig untersucht werden, um die effektivste mögliche Isolierung zu erreichen. Für Luftfeder-Masse-Systeme ist die Dämpfung unerlässlich, um die nach einer Anre-

Einstellbare Dämpfung

Abb. 4

gung ausgelösten Schwingungen wie die Bewegungen einer Bühne oder einer Brücke abklingen zu lassen oder um die Amplitude einer Störschwingung bei der Eigenfrequenz des Isolators zu begrenzen. Für ein bestimmtes Volumenverhältnis werden Länge und Durchmesser des Dämpfungsschlauchs ausgewählt, um eine laminare Charakteristik im Dämpfer zu erzeugen. Länge und Durchmesser der Leitung werden so gewählt, dass im Dämpfer eine laminare Strömung erzeugt wird. Dieser Aufbau ermöglicht einen großen Bereich an Dämpfungsfaktoren, die für unterschiedliche Anwendungen genutzt werden können. Die Dämpfung ist dann optimal, wenn der Luftstrom in der Leitung sowohl im Fall großer als auch kleiner Störungen laminar ist.

ÜBERTRAGUNGSFUNKTION

Die Eigenfrequenz (dynamische Steifigkeit) und die Dämpfungseigenschaften eines Isolators bestimmen die Übertragungsfunktion des Isolators. Das Verhältnis der nach der Isolierung übertragenen Schwingung zur Störschwingung wird als "Übertragungsfunktion" bezeichnet und in seiner Grundform in Gleichung 3 angegeben, wobei ${\sf F}_{\sf d}$ die Störfrequenz der Schwingung ist und ${\sf F}_{\sf n}$ die Eigenfrequenz des Isolators.

$$T = \frac{1}{\left(\frac{F_d}{F_n}\right)^2 - 1}$$
 [Gleichung 3]

Berücksichtigt man die Dämpfung, ändert sich die Gleichung (Gleichung 4), wobei **ξ** die Dämpfung des Isolators darstellt.

$$T = \sqrt{\frac{1 + \left(2 \times \left(\frac{F_d}{F_n}\right) \times \zeta\right)^2}{\left[1 - \frac{\left(F_d\right)^2}{\left(F_n\right)^2}\right]^2 + \left(2 \times \frac{F_d}{F_n} \times \zeta\right)^2}}$$
 [Gleichung 4]

Das Maximum der Übertragungsfunktion des Isolators tritt auf, wenn bei Resonanz das Verhältnis der Störfrequenz zur Eigenfrequenz 1 entspricht ($F_d/F_n=1$). Gleichung 5 zeigt die Übertragungsfunktion bei Resonanz. Zu beachten ist, dass die Größe der Verstärkung des Isolators bei Resonanz eine Funktion der Dämpfung des Isolators ist.

$$T = \frac{1}{2\zeta}$$
 [Gleichung 5]

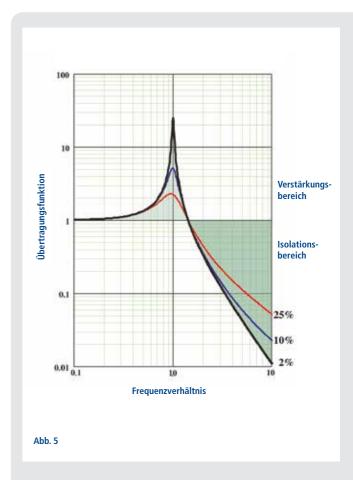
Abbildung 5 zeigt die grafische Darstellung der Übertragungsfunktion eines Isolators als Funktion des Frequenzverhältnisses. Verschiedene Prozentsätze der kritischen Dämpfung werden dargestellt, um die Wirkung der Dämpfung im Isolationsbereich und im Verstärkungsbereich zu zeigen, einschließlich der maximalen Verstärkung bei Resonanz.

Bei Frequenzen größer als √2 mal der Eigenfrequenz des Isolators setzt die Isolation (Reduzierung der Übertragungsfunktion) ein. Die Isolierwirkung verbessert sich mit steigendem Frequenzverhältnis. Der größte Vorteil einer Luftfeder ist seine niedrige Eigenfrequenz und die sich daraus ergebende Übertragungsfunktion bei niedrigen Frequenzen.

Eine Verringerung von 80 bis 90 % kann unter 10 Hz selbst bei hoher Dämpfung erreicht werden. Es ist zu beachten, dass bei Erhöhung der Dämpfung der Verlauf der Übertragungsfunktion insgesamt flacher wird, so dass im Bereich der Resonanz (Frequenzverhältnis = 1,0) die Resonanzverstärkung zwar abnimmt, im Isolationsbereich (Frequenzverhältnis > 1) jedoch Isolierwirkung verloren geht. Die Kurven zeigen, dass für eine signifikante Dämpfung in einem Isolator dessen Eigenfrequenz reduziert werden muss, um den erforderlichen Isolationsgrad im gewünschten Frequenzband zu erhalten.

Theoretische (berechnete) Übertragungsfunktionskurven berücksichtigen nicht den Einfluss der Schwingungsamplitude der

Störfrequenzen (F_d). Alle Schwingungsdämpfer, einschließlich Luftfedern, besitzen unterschiedliche dynamische Eigenfrequenzen, resultierend aus den Störamplituden. Bei sehr kleinen Schwingungsamplituden können sich Isolatoren relativ "steifer" verhalten und deshalb eine etwas höhere Eigenfrequenz haben. Bei größeren Anregungsamplituden folgt das Verhalten von Isolatoren ihrer theoretischen Übertragungsfunktion recht genau. Gemessene Übertragungsfunktionen sollten deshalb stets die Eingangsamplitude der Schwingung aufzeigen, die bei der Messung verwendet wird.





ANWENDUNG

Vor der endgültigen Auswahl eines Luftfedersystems durch Analyse oder Test sollte das gelagerte Gerät inklusive Befestigungs- und Tragkonstruktion für eine korrekte Auslegung dynamisch untersucht werden. Eine geringe strukturelle Steifigkeit kann die Isolationseffizienz eines Systems beeinträchtigen. Die Befestigungsstruktur eines Testobjekts kann als Feder angesehen werden, da ihre Steifigkeit berechnet oder mit einem Test bestimmt werden kann. Wenn die Stützkonstruktion der Traglast zu "weich" ist und sich bei niedrigen Frequenzen nahe der Eigenfrequenz des Isolationssystems verbiegt oder verdreht, reduziert dies die Isolationseffizienz des Systems.

Um sicherzustellen, dass der Isolator wie gewünscht funktioniert, hat sich der Einsatz einer Unterkonstruktion bewährt, deren dynamische Steifigkeit (je nach Anwendung) mindestens 10- bis 20-mal so hoch ist wie die des Isolators. Jede Stützkonstruktion (Rahmen, Unterbau, seismische Trägheitsmasse) hat ihre eigene Masse und Steifigkeit. Auch Stützkonstruktionen haben viele Eigenfrequenzen, bei denen sie schwingen oder mitschwingen. Diese Frequenzen werden Strukturresonanzen genannt. Sie ergeben sich als Funktion der Form, der Anordnung und des Materials der Konstruktion.

Wie die Übertragungsfunktionskurve gezeigt hat, ist es beim Einsatz von Luftfedern möglich, eine 80- bis 90%ige Isolation bei Frequenzen über 10 Hz zu erreichen. Ist die Steifigkeit der Unterkonstruktion also mindestens 10-mal größer als die Eigenfrequenz des Isolators, führt dies zu einer erheblichen Minderung der Schwingungsübertragung im Bereich der Strukturresonanz. Das ist besonders wichtig bei Unterkonstruktionen aus Stahl oder Aluminium. Da diese Metalle eine sehr geringe Eigendämpfung aufweisen, wenn sie in ihrer strukturellen Eigenfrequenz angeregt werden, ist die Verstärkung im Resonanzfall hoch (Abb. 6).

Die Übertragungsfunktionskurve zeigt die translatorischen und rotatorischen Eigenfrequenzen des Isolators sowie das Schwingungsspektrum (Resonanzen) des Fundaments/Maschinenunterbaus über 80 Hz

Wenn Strukturresonanzen nicht akzeptabel sind, besteht eine gute Lösung darin, die Stützkonstruktion mit einer Dämpfung zu versehen, welche die Verstärkung bei Strukturresonanz verringert. Auch eine Versteifung der Konstruktion kann hilfreich sein, da höhere strukturelle Eigenfrequenzen die Gesamtleistung des Systems nicht beeinträchtigen.

Ein zweites Kriterium für die korrekte Auslegung eines Luftfedersystems ist die Lage/Positionierung des Isolators. Bei der Konstruktion sollte die Federebene der Isolatoren idealerweise in der gleichen Ebene liegen wie der Gesamtschwerpunkt des Testobjekts und seiner Unterkonstruktion. Auf diese Weise wirken sich nur die translativen Modi (horizontale und vertikale) des Isolators aus. Da sich alle Isolatoren in allen sechs Achsen frei bewegen können (translational und rotierend), werden Rotationsmodi mit berücksichtigt, wenn die Isolatoren unterhalb des Schwerpunkts liegen (Abb. 6).

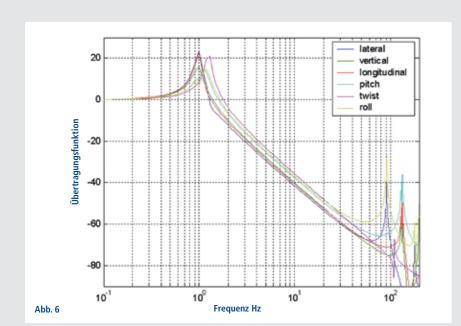
Wenn eine Last ausschließlich vertikal schwingt, ist der Verlauf der Übertragungsfunktion der theoretischen Kurve aus Abbildung 5 sehr ähnlich. Zusätzlich zu linearen Schwingungen werden Drehbzw. Kippschwingungen erzeugt, wenn eine Last horizontal schwingt und der Gesamtschwerpunkt oberhalb der elastischen Ebene der Isolatoren liegt. Nicht akzeptablen Drehbzw. Kippschwingungen kann man entgegenwirken, indem die Lage des Isolators so geändert wird, dass die Rotationsschwingungsmodi mit den Translationsschwingungsmodi

gekoppelt werden. Wenn der Schwerpunkt zu weit über der elastischen Ebene des Isolators liegt, kann es zu Instabilität kommen. Die Lage von Luftfedern muss den Anforderungen eines stabilen Systems genügen. Diese Anforderung wird durch die Positionierung des Isolators innerhalb der Grenzen der Konstruktionsrichtlinien für ein stabiles System erfüllt (Abb. 7).

Es entspricht dem Industriestandard, Geraden zu ziehen, welche die Mittellinien der Isolatoren verbinden. Hierdurch entsteht eine Fläche, die elastische Ebene des Isolationssystems. Auf dieser Ebene als Grundfläche wird ein Tetraeder konstruiert, dessen Höhe 1/3 der kürzesten Länge einer Grundseite entspricht. Wenn die Projektion des Massenschwerpunktes auf dieser Ebene innerhalb des Dreiecks liegt, sollte das System stabil sein und optimale Isolations- und Dämpfungseigenschaften besitzen.

Anmerkung: Die relative Lage beziehungsweise der Abstand der Isolatoren zueinander in sämtlichen Rotationsachsen sind die wichtigsten Konstruktionsgesichtspunkte für ein stabiles System. Ein weiterer entscheidender Faktor für Stabilität ist die Konstruktion des Isolators. Die Dämpfungsrate, das effektive Volumen und der Ventildurchfluss sind mögliche Variablen. Fabreeka®-Ingenieure geben Ihnen kompetente Empfehlungen für Ihren Anwendungsfall.

Wenn der Schwerpunkt außerhalb des Dreiecks liegt, ist das System anfällig für Stabilitätsprobleme. In manchen Fällen besteht die Möglichkeit, die Eigenschaften der Isolatoren vor Ort zu verändern, indem man zusätzliche Dämpfung oder Niveauregelventile mit geringerer Regelkreisverstärkung verwendet. Eine zusätzliche Dämpfung erhöht jedoch etwas die Steifigkeit des Systems und dadurch auch die vertikale Eigenfrequenz der Isolatoren.

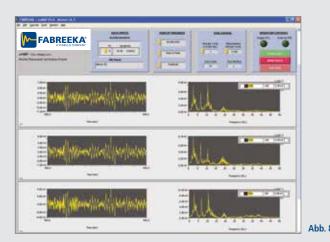




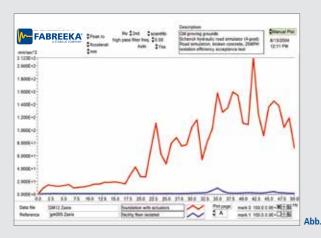
8 Schwingungsdämpfung | Technische Beschreibung Schwingungsdämpfung | Technische Beschreibung



DESIGN-SERVICE







SCHWINGUNGSMESSUNG & ANALYSE

Niederfrequente Schwingungen und starke Schocks können Genauigkeit, Wiederholgenauigkeit und Durchsatz von Präzisionsmaschinen und -geräten beeinflussen. Die meisten Hersteller von Präzisionswerkzeugmaschinen und Koordinatenmessmaschinen haben zulässige Schwingungsspezifikationen für ihre Maschinen festgelegt. Zur Messung der Schwingungsamplitude und -frequenz setzt Fabreeka® hochpräzise Messinstrumente ein, um geeignete Empfehlungen für die Schwingungsisolation zu geben.

Unsere Ingenieure führen weltweit regelmäßig Schwingungsanalysen durch, wobei die Anforderungen an die Messungen von Fall zu Fall sehr unterschiedlich sein können.



Schwingungsmessung vor Ort

Abbildung 8: Die Software für Schwingungsmessung zeichnet Amplituden- und Frequenzdaten für die Analyse auf. Jede Niederlassung von Fabreeka® führt weltweit Schwingungsmessungen bei Ihnen vor Ort durch.

Abbildung 9: Ein Vergleich der vor Ort gegebenen Schwingungsamplituden mit den Herstellerspezifikationen zeigt den erforderlichen Isoliergrad bei den Frequenzen, bei denen die gemessenen Schwingungsamplituden über den Schwingungswerten liegen, die für das Gerät zulässig sind.

Abbildung 10: Unsere Ingenieure führen auch Abnahmemessungen des Dämpfungssystems nach der Installation durch. Die Abnahmemessungen belegen, wie die Schwingungsamplituden nach Installation der Isolationssysteme aussehen.

DYNAMISCHE ANALYSE UND FINITE-ELEMENTE-BERECHNUNG

Wie in der technischen Beschreibung bereits erwähnt, ist die Betrachtung des dynamischen Verhaltens einer Tragkonstruktion ein wichtiger Teil der Isolationslösung für das Gesamtsystem.

Die Untersuchung der Schwingungsformen in einem schwingenden System ist wichtig, um das Schwingungsverhalten an wichtigen Stellen des Systems richtig einstellen zu können, indem man Steifigkeit, Masse oder Dämpfung variiert.

Eine Finite-Elemente-Berechnung definiert und modelliert die Schwingungsformen und Schwingfrequenzen eines angeregten Systems. Auch beschreibt sie die Wirkung eines Isolationssystems auf maschinen- oder umweltinduzierte Schwingungsbelastungen.

Schwingungsformen (dynamische Steifigkeit in jeder Raumrichtung) identifizieren die physikalische Richtung jedes Frequenzanteils und jeder Verformung wie Verbiegung oder Verwindung. Grundsätzlich betrachtet zeigen die Schwingungsformen einer Konstruktion den Grad der relativen Steifigkeit zwischen verschiedenen Punkten dieser Konstruktion (Abb. 11 und 13).

Die vorgeschlagene Konstruktion eines Fundaments oder einer Tragkonstruktion muss einen strukturellen Aufbau haben, der auch den statischen und dynamischen Anforderungen an diese Konstruktion genügt. Verformungen unter statischen Lasten oder durch dynamische Kräfte/Einwirkungen müssen innerhalb zulässiger Grenzen bleiben.

Diese konstruktive Vorgehensweise erfordert eine Modellbildung, die eine Vorhersage des späteren Schwingungsverhaltens der Stützkonstruktion erlaubt und dadurch weitgehend Fehler vermeidet.

Die Steifigkeitsberechnungen einer Tragkonstruktion ergeben das statische und dynamische Verhalten sowie die Punkte, an denen Spannungskonzentrationen auftreten. Spannungen hängen von der Geometrie der Stützkonstruktion sowie von der Verteilung der Lasten und Kräfte ab, die auf sie einwirken. Eine Festigkeitsanalyse zeigt die Größe der Spannungen, die statische und dynamische Lasten bewirken (Abb. 12).

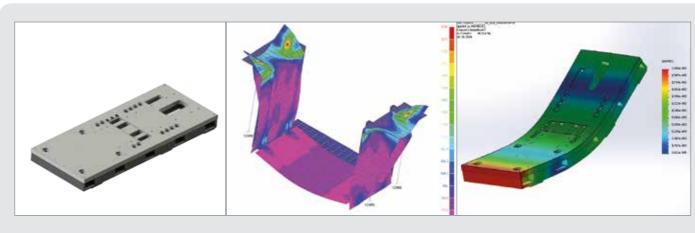


Abb. 11: GG25-Messplatte

Abb. 12: Von-Mises-Konturspannungsdiagramm

Abb. 13: 1. Biegeeigenfrequenz der GG25-Messplatte

10 Schwingungsdämpfung | Design-Service Schwingungsdämpfung | Design-Service 11



PRECISION-AIRE™-LUFTFEDERELEMENTE MIT AUTOMATISCHER NIVEAUREGELUNG (PAL)

Luftfederelemente der PAL-Serie bieten überlegene niederfrequente Schwingungsisolierung für messtechnische Geräte, Elektronenmikroskope, MRT-Geräte, Koordinatenmessmaschinen und Präzisionsfertigungsmaschinen.

Precision-Aire™-Leveling(PAL)-Luftfedersysteme von Fabreeka® verwenden
niveaugeregelte Luftfedern. Diese
Isolatoren sind optimal für Bedingungen
geeignet, bei denen Niveaukonstanz
und Schwingungsisolierung gleichzeitig
gegeben sein müssen. Die PAL-Isolatoren
von Fabreeka® erfüllen alle entscheidenden Anforderungen von messtechnischen
Geräten, Elektronenmikroskopen, Messarbeitsplätzen und Präzisionsfertigungsmaschinen.

BESCHREIBUNG DER PAL-LUFTFEDERN

Die Standard-PAL-Isolatoren von Fabreeka® haben eine Eigenfrequenz von 1,5 Hz bis 2,7 Hz abhängig von der Isolatorhöhe. Bei kundenspezifisch hergestellten Isolatoren sind sogar noch niedrigere Eigenfrequenzen (bis 0,5 Hz) möglich.

Ein komplettes PAL-System von Fabreeka® besteht aus mindestens drei Hauptisolatoren (Master) für eine 3-Punkt-Niveauregelung. Jeder Isolator verfügt über ein eingebautes Niveauregelventil, das als Lastfühler und Höhenregler fungiert. Um das Gesamtgewicht des Gerätes zu tragen, können beliebig viele Zusatzisolatoren (Slave) hinzugefügt werden.

Der Lieferumfang eines Systems beinhaltet eine Kontrolleinheit, automatische Niveauregelventile, Pneumatikleitungen und sämtliches weitere pneumatische Zubehör, das für eine vollständige Systeminstallation notwendig ist.

FUNKTION DER PAL-LUFTFEDERN

PAL-Luftfedern reagieren schnell auf Lastund Schwerpunktwechsel; Abweichungen aus einer einmal voreingestellten Position werden automatisch nachgeregelt.

Die Leistung eines Luftfedersystems ist immer ein Kompromiss zwischen Eigenfrequenz (Isolation), Rückstellgenauigkeit des Niveauregelventils und Ausregelzeit.

Die Ausregelzeit wird definiert als die Zeit, die das Isolationssystem benötigt, um eine voreingestellte Führungsgröße nach einer definierten Störung wieder zu erreichen. Die Störung kann durch Umwelteinwirkungen oder maschineneigene Kräfte verursacht werden. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn sich die Messbrücke einer Messmaschine bewegt.

Die Ausregelzeit wird minimal bei optimaler Dämpfung und entsprechendem Ventildurchfluss. Lange Ausregelzeiten mit Luftfedern sind nicht akzeptabel, da dies bei Präzisionsmessgeräten und Positioniermaschinen zu Fehlern in der Wiederholgenauigkeit sowie zu Einbußen beim Teiledurchsatz führen kann.

Je nach Anwendungsfall bietet Fabreeka® viele verschiedene Niveauregelventile an. Die entscheidenden Variablen in der Auslegung einer akzeptablen Lösung sind Ventildurchfluss, Steifigkeits- und Genauigkeitsmerkmale. Rückstellgenauigkeiten von +/- 0,15 mm oder +/- 0,025 mm sind verfügbar. Ventildurchfluss und -steifigkeit werden anhand des Luftfederdesigns und der Dämpfung gewählt.

NIVEAUREGELVENTILE

Niveauregelventile gibt es in verschiedenen Arten. Mit einer Genauigkeit von +/- 0,15 mm bis +/- 0,025 mm und unterschiedlichen Durchflussraten erfüllen Fabreeka®-Niveauregelventile alle Einsatzerfordernisse. Ventilsteifigkeit, Durchflussrate und Genauigkeit sind wichtige Variablen für eine optimale Ausregelzeit und Isolationseffizienz.

Ein Hebelarm beeinflusst die Genauigkeit der Ventile, vergrößert allerdings den Einstellbereich.

Übersicht Ventile







PAL36 mit Ventil

PALV20-1





PALV5-5

PALV1-2



12 Schwingungsdämpfung | Precision Aire™ Schwingungsdämpfung | Precision Aire™ 13



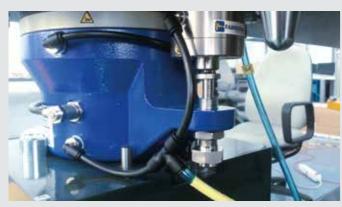
STANDARDLUFTFEDERN ISOLATIONSEIGENSCHAFTEN/SPEZIFIKATIONEN



Schwingungsfundament Bertrandt



Wenzel-Koordinatenmessmaschine



Detailmessmaschine



uftfeder für Prüfstand



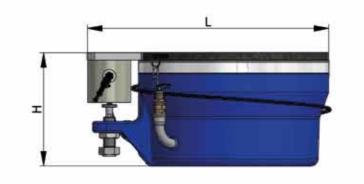
AOI-Messmaschine

TECHNISCHE DATEN

 Eigenfrequenz
 (-6) (-12) Dämpfung

 Vertikal
 $2,5-2,7\,Hz$ $1,5-1,7\,Hz$ Vertikal (einstellbar)
 6%-20%

 Horizontal
 $2,0-4,5\,Hz$ $2,0-4,5\,Hz$ Horizontal
 3%-6%





Тур	D1	D2	H drucklos	H max. ausgefedert	L	Auslegungs- traglast bei 4,5 bar	Max. zulässige Traglast bei 10 bar
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL9-6	130	130	153	163	200	248	550
PAL15-6	165	165	153	163	235	428	950
PAL 21-6	200	160	153	163	270	608	1350
PAL21-12	200	200	305	315	270	608	1360
PAL36-6	220	190	153	163	290	1035	2300
PAL36-12	220	220	305	315	290	1035	2300
PAL55-6	260	230	153	163	330	1606	3570
PAL55-12	260	260	305	315	330	1606	3570
PAL75-6	300	265	153	163	370	2180	4850
PAL75-12	300	285	305	315	370	2180	4850
PAL133-6	380	350	153	163	450	3900	8670
PAL133-12	380	380	305	315	450	3900	8670
PAL255-6	530	470	153	165	600	7425	16500
PAL255-12	530	460	305	317	600	7425	16500
PAL416-8	640	585	203	215	710	11700	26000
PAL750-6	850	817	153	165	920	21950	48750



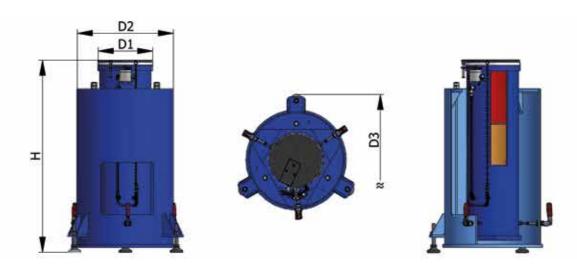
SONDERLUFTFEDERNPENDELLUFTFEDERN

TECHNISCHE DATEN

Eigenfrequenz (-15/-18/-19) (-36) (-52/-60) Dämpfung Vertikal 1,3 - 1,5 Hz 0,9 - 1,0 Hz 0,7 - 0,9 Hz Vertikal 6 % - 20 %

 Vertikal
 1,3 - 1,5 Hz
 0,9 - 1,0 Hz
 0,7 - 0,9 Hz
 Vertikal
 6% - 20%
 6% - 20%
 6% - 20%

 Horizontal
 1,3 - 1,5 Hz
 0,6 - 0,7 Hz
 0,4 - 0,5 Hz
 Horizontal
 3% - 6%
 3% - 6%
 3% - 6%



Тур	D1	D2	H drucklos	H max. ausgefedert	D3	Auslegungs- traglast bei 4,5 bar	Max. zulässige Traglast bei 10 bar
	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL21-15P	200	279	381	391	N/A	608	1350
PAL36-18P	220	220	457	467	N/A	1035	2300
PAL55-15P	260	470	381	391	603	1606	3570
PAL55-52P	260	470	1321	1331	603	1606	3570
PAL75-19P	295	378	483	493	N/A	2180	4850
PAL133-36P	380	622	914	924	800	3900	8670
PAL133-60P	380	622	1524	1534	800	3900	8670
PAL255-36P	530	775	914	926	953	7425	16500
PAL255-60P	530	775	1524	1536	953	7425	16500
PAL416-36P	640	927	914	926	1143	11700	26000
PAL416-60P	640	927	1524	1536	1143	11700	26000
PAL750-36P	850	1140	914	926	1356	21950	48750



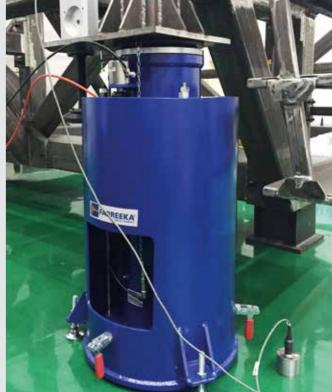




Nano 2000 TU Ilmenau







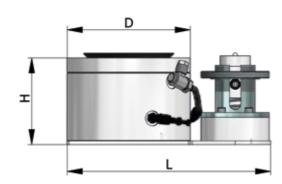
Lagerung für Space-Teleskop

Schwingungsdämpfung | Sonderluftfedern Schwingungsdämpfung | Sonderluftfedern 17



SONDERANFERTIGUNGEN/ISOLATOREN

Luftfedern für OEM-Anwendungen oder Sonderanwendungen sind verfügbar und lassen sich einfach in bestehende Maschinenkonstruktionen integrieren. Für Reinraumeinsätze wird die Abluft der Niveauregelventile abgeleitet, und die Isolatoren werden aus reinraumverträglichen Materialien hergestellt, danach gereinigt und verpackt. Außerdem können zur Herstellung von Luftfedern auch nichtmagnetische Materialien verwendet werden.



Тур	D	H drucklos	H max. ausgefedert	L	Auslegungs- traglast bei 4,5 bar	Max. zulässige Traglast bei 10 bar
	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL3-2.5	80	64	70	157	85	190
PAL5.5-2.5	100	64	70	177	158	350
PAL9-4	130	94	98	207	248	550



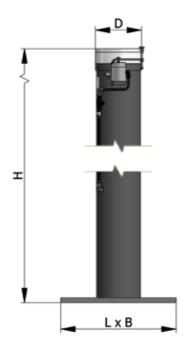


STEHPENDEL-LUFTFEDERN

Gimbal- (oder Stehpendel-)Luftfedern bieten niedrige Eigenfrequenzen in vertikaler wie auch horizontaler Richtung. Sie werden insbesondere verwendet zur Schwingungsisolierung sehr empfindlicher Geräte wie z.B. NMR-Spektroskope oder hochauflösende Rasterelektronenmikroskope.

Anwendungsbedingt werden Gimbal-Luftfedern aus nichtmagnetischen Materialien hergestellt, die erreichbaren Lagerungseigenfrequenzen liegen baugrößenabhängig zwischen 0,8 Hz und 1,7 Hz (vertikal und horizontal).

Sonderlösungen aus Standardwerkstoffen sind ebenfalls verfügbar.



Тур	D	H drucklos	H max. ausgefedert	L x B	Auslegungs- traglast bei 4,5 bar	Max. zulässige Traglast bei 10 bar
	mm	mm	mm	mm	kg	kg
PAL9-18G	140	457	467	300 x 350	248	550
PAL9-42G	140	1049	1059	300 x 350	248	550
PAL18-18G	180	457	467	300 x 350	520	1155
PAL18-50G	180	1270	1280	300 x 350	520	1155
PAL22-18G	190	457	467	300 x 350	640	1420
PAL28-18G	205	457	467	300 x 350	810	1800
PAL36-18G	220	457	467	300 x 350	1035	2300

 $Abweichende\ Bauh\"{o}hen\ und\ Grundplatten\ sowie\ nichtmagnetische\ Ausf\"{u}hrung\ nach\ Kundenvorgabe$

18 Schwingungsdämpfung | Sonderluftfedern Schwingungsdämpfung | Sonderluftfedern



ABGEHÄNGTE PLATTFORMEN UND MASCHINENRAHMEN

Shaker-Lagerung



Isolierte Lithografiemaschine



Fundament für Nano 2000

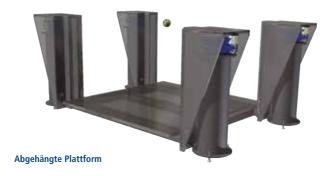
BALGZYLINDER-LUFTFEDERN

Der Einsatz von abgehängten Plattformen oder individuell angepassten Maschinenrahmen verbessert die Stabilität von schwingungsisolierenden, niveaugeregelten Luftfedersystemen. Gleichzeitig verringert sich die relative Schwerpunkthöhe des isolierten Geräts.

Ein wichtiges Kriterium für eine korrekte Auslegung der Luftfedern ist ihre Lage/Platzierung unter den zu isolierenden Geräten oder Maschinen. Bei der Systemkonstruktion sollte die elastische Ebene des Isolators möglichst nah am Gesamtschwerpunkt des gelagerten Gerätes und seiner Stützkonstruktion platziert werden.

Dreh- und Kippschwingungen entstehen, wenn eine Traglast horizontal schwingt und der Schwerpunkt über der elastischen Ebene der Isolatoren liegt. Wenn der Schwerpunkt zu weit über der elastischen Ebene des Isolators liegt, kann es zu Instabilität kommen. Die Lage von Luftfedern muss den Anforderungen an ein stabiles System genügen.

Ein abgehängtes Isolationssystem wird eingesetzt, um die elastische Ebene der Isolatoren näher an den Gesamtschwerpunkt zu bringen und Kippschwingungen zu mindern (Darstellung unten). Weiterhin kommt eine abgehängte Plattform zum Einsatz, wenn der Unterbau einer Maschine nicht modifiziert werden kann, um Luftfedern aufzunehmen, und ein starrer Tragrahmen notwendig ist. Entscheidend ist hier die statische und dynamische Auslegung des Hängegerüsts. Spannungen und Verformungen (Biegung) unter dem Einfluss des Gewichts einer Maschine/eines Gerätes und der dynamischen Steifigkeit (Strukturresonanzen) sind Teil einer erfolgreichen Lösung beim Einsatz von PAL- oder PLM-Luftfedern.



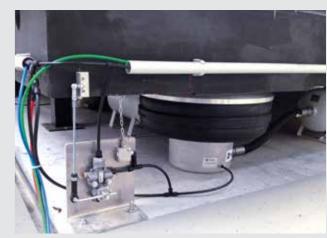
Balgzylinder-Luftfedern bieten niederfrequente Schwingungsisolation für Motorprüfstände, große Reaktionsmassen und Anwendungen, bei denen große dynamische Schwingwege und Hubhöhen erforderlich sind.

Balgzylinder-Luftfedern können vertikale und horizontale Eigenfrequenzen ab 0,7 Hz haben, abhängig von der Betriebshöhe und Bauart des Balgzylinders (Einzel-, Doppel- oder Rollbalg). Die horizontale Federrate (Steifigkeit) und Stabilität sind ebenfalls eine Funktion der Betriebshöhe. Aus diesem Grund hat jeder Luftkissentyp eine optimale Betriebshöhe. Niedrigere vertikale Eigenfrequenzen erhält man, wenn man das Luftvolumen erhöht, beispielsweise mit einem Zusatztank.

Eine wesentliche Eigenschaft von Balgzylindern ist der große nutzbare Hubbereich. Abhängig von der Ausführung des Balges können Hübe von 50 mm bis 75 mm realisiert werden. Das prädestiniert sie für Anwendungen, bei denen große dynamische Auslenkungen auftreten können.

Sowohl Balgzylinder wie auch Membran-Luftfedern haben eine sehr geringe Dämpfung (3 bis 4 %), es sei denn, ein Dämpfungsvolumen ist mit dem Luftfedervolumen gekoppelt. Die meisten Auslegungen erfordern eine Dämpfung von 10 bis 15 %, abhängig von der Anwendung und den Spezifikationen für die Isolation und Ausregelzeit.

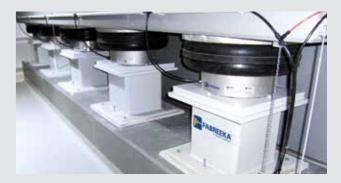
Ein komplettes Isolationssystem besteht aus mindestens drei gesteuerten Luftfedern für eine 3-Punkt-Niveauregelung. Jeder Isolator verfügt über ein eingebautes Niveauregelventil, das als Lastfühler und Lagesensor fungiert. Zur Lagerung großer Gewichte können beliebig viele Zusatzluftfedern hinzugefügt werden. Der Lieferumfang eines Systems beinhaltet eine Kontrolleinheit, automatische Niveauregelventile, Druckluftleitungen und sämtliches pneumatisches Zubehör, das für eine vollständige Systeminstallation notwendig ist.



Prüfstand SAF Hollan



Prüfstandsplatte SAF Holland



Prüfstandslagerung BMW



FABREEKA-PRECISION-AIRE-GÜRTELROLLBALG TYPENREIHE RLA

Zur effektiven Schwingungsund Stoßisolierung

Alle Arten von dynamischen Prüfeinrichtungen wie:

- Fahrzeugprüfstände (z. B. Straßensimulations-, MAST-, Hexapod-, Hydropulsanlagen)
- Erdbebensimulationsanlagen
- Windkraftprüfstände
- Eisenbahnprüfstände
- Flugzeugkomponenten-Prüfanlagen
- Materialprüfanlagen
- Notstromaggregate mit oder ohne Fundament
- Schredderanlagen
- alle Arten von sonstigen Großfundamenten



Zusatzvolumen

BESCHREIBUNG RLA-LUFTFEDERN

- Lastbereich baugrößenabhängig von 3.500 kg bis 31.500 kg
- belastungsunabhängige nahezu konstante vertikale Eigenfrequenz über einen weiten Lastbereich
- niedrige vertikale Eigenfrequenz bis unterhalb 0,7 Hz (Option mit Zusatzvolumen)
- vertikale Eigenfrequenz umschaltbar (Option mit Zusatzvolumen)
- progressive vertikale Steifigkeitskennlinie
- horizontale Eigenfrequenz in einem weiten Bereich an den jeweiligen Anwendungsfall konstruktiv adaptierbar
- schallweiche Ausführung (Schallhärte 4,45 E2 kg/m²/s), dadurch bestmögliche Körperschallisolierung
- niveautone® Ausführung durch die Verwendung von mechanisch-pneumatischen Triflow®-Proportional-Regelventilen
- pneumatisches Doppelkammerprinzip (optional) zur Erzielung einer effektiven viskopneumatischen Systemdämpfung
- effektives Dämpfungsverhalten durch einstellbare Laminarflow-Dämpfung (optional)
- interne viskose Sicherheitsdämpfung für Lehr'sche Dämpfungsgrade bis zu 0,25 (optional)

TECHNISCHE BESCHREIBUNG

RLA-Luftfedern sind berechnet und hergestellt in Anlehnung an die Druckgeräte Richtlinie DGRL 2014/68/EU. Sie entsprechen hinsichtlich der in der Fertigung und Herstellung angewandten Sicherheits-, Überwachungs- und Prüfprozesse der Maschinenrichtlinie 2006/42/EC.

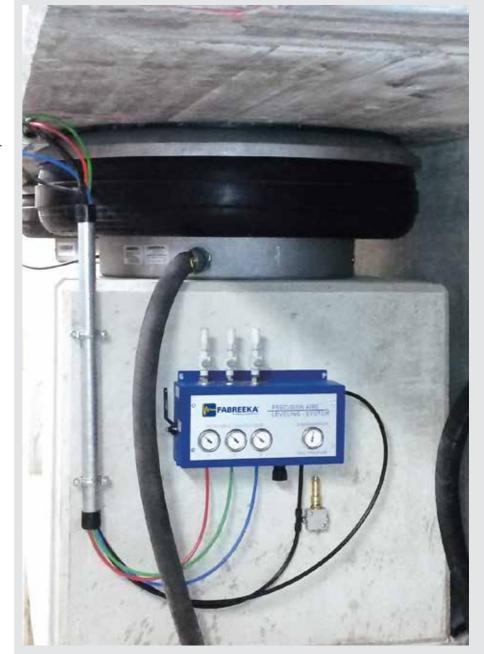
RLA-Luftfedern verfügen serienmäßig über ein Sicherheitsventil mit Überdruckund Ausfederungsbegrenzungsfunktion.

NIVEAUREGELUNG

Mechanisch-pneumatische Closed-Loop-Triflow®-Proportional-Niveauregelung Typenreihe PALV20 mit einer Rückstellgenauigkeit von +/-0,25 mm, an die Luftfedergröße und die jeweilige Anwendung adaptierbarem Durchflussverhalten, kombinierter Schalt-Proportionaldurchflussfunktion, Sperrfunktion bei reiner statischer Belastung; optional elektropneumatischer PA-DEL Niveauregelung mit berührungslos arbeitender Sensorik.

Ausführung als Luftfeder mit Gürtelrollbalg

- gewebeverstärkte ölbeständige Elastomermembrane
- beständig gegen die meisten Öle, laugen- oder säurebasierte Reinigungsmittel, Staub, Schmutz, Ozon, UV-Strahlung, allgemeine Witterungseinflüsse
- Temperaturbereich −30°C bis +50°C, optional +70°C
- Luftkammerbehälter hergestellt aus einer zugelassenen Aluminiumgusslegierung gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EC
- Nachweis der Behälterdruckfestigkeit mittels Finite-Elemente-Berechnung
- Kolbenplatte aus ölbeständigem Kunststoffmaterial zur Verhinderung von Kontaktkorrosion bzw. einer Aluminiumgusslegierung
- optional Luftkammergehäuse pulverbeschichtet in RAL5002 als Korrosionsschutz



RLA650 TU Graz



ÜBERTRAGUNG DER DYNAMISCHEN KRÄFTE BEI VERWENDUNG EINER LUFTFEDER MIT GÜRTELLROLLBALG

Die untenstehende Grafik verdeutlicht den Einfluss der Eigenfrequenz eines Schwingungsdämpfungssystems auf die in die Umgebung übertragenen dynamischen Kräfte. Die Reduzierung der Eigenfrequenz von 1,3 Hz (das ist der niedrigste mit einem gewöhnlichen Balgzylinder erreichbare Wert) auf 0,6 Hz verringert die Spitzenwerte der übertragenen Kräfte um einen Faktor $5 (350.000 \, N) \longrightarrow 70.000 \, N$).

Dynamische Kräfte abhängig von der Isolator-Eigenfrequenz 400000 350000 Dynamische Shakerkraft Übertragene Kraft 0,6 Hz Übertragene Kraft 0,85 Hz Übertragene Kraft 1,3 Hz Übertragene Kraft 1,3 Hz 100000 100000 Frequenz (Hz)

FABREEKA-PRECISION-AIRE-GÜRTELROLLBALG REFERENZOBJEKT: BMW AG MÜNCHEN

Fundamentisolierung mit Gürtelrollbalg RLA Typ 390-14



Schalung Schwingfundament



Aufsnannnlatte



Isolierung mit RLA-Luftfedern auf Stützen (mit Niveauregelung)



Bewehrung Schwingfundament



Fundament

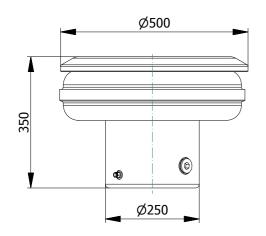


FABREEKA-PRECISION-AIRE-GÜRTELROLLBALG TYP RLA180-14

Optionen:

Standard ohne Zusatzvolumen und ohne zusätzliche Dämpfung

- ED mit einstellbarer pneumatischer Dämpfung, $D_{max} = 0.15$
- VD mit viskoser Sicherheitsdämpfung, D = 0.15 0.25
- LF mit Zusatzvolumen und sehr niedriger Eigenfrequenz (bis zu 0,6 Hz in vertikaler Richtung)



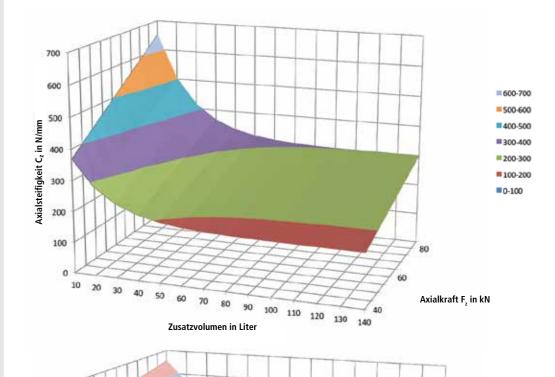


1. Tragkraft-Druckkurve								
Druck [bar]	2	3	4	5	6			
Fz [kN]	22,8	34,7	46,6	58,6	70,1			
Durchmesser [mm]	496,3	496,6	496,7	496,7	496,7			

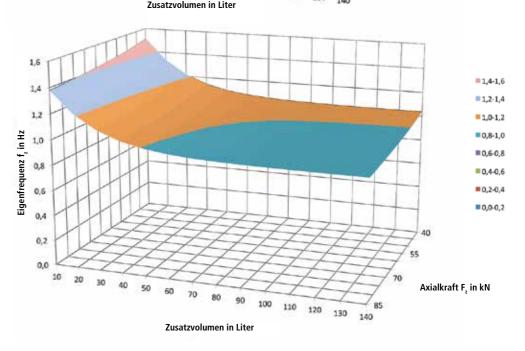
2. Quasistatisch axial (15 mm Vorwalken bei 70 kN/0 Liter, 10 min Wartezeit)									
		Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfreq	uenz [Hz]				
Axialkraft Fz [kN]	Zusatzvol.	70	46,5	70	46,5				
Axial Cz ± 10	Vzu = 40	315	234	1,06	1,12				
Axial Cz ± 10	Vzu = 20	431	318	1,24	1,3				
Axial Cz ± 10	Vzu = 0	541	413	1,40	1,50				

3. Quasistatisch radial (10 x 60 mm Vorwalken, 15 min Wartezeit)								
	Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfreq	uenz [Hz]				
Fz [kN]	70	46,5	70	46,5				
Radial Cz ± 10	218	183	0,88	0,99				

RLA180: Axialsteifigkeit C_z über Zusatzvolumen und Axialkraft

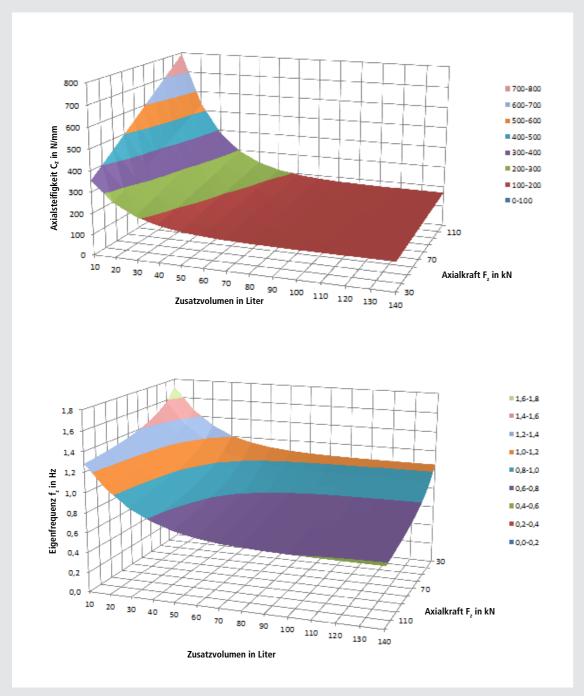


RLA180: Eigenfrequenz f_z über Zusatzvolumen und Axialkraft





FABREEKA-PRECISION-AIRE-GÜRTELROLLBALG TYP RLA260-14



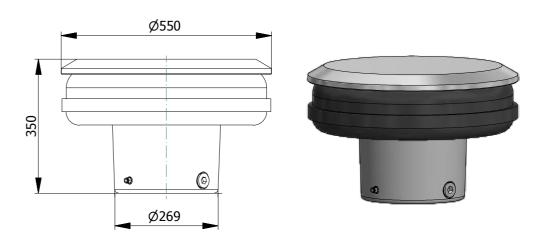
RLA260: Axialsteifigkeit C₂ über Zusatzvolumen und Axialkraft

RLA260: Eigenfrequenz f_z über Zusatzvolumen und Axialkraft

Optionen:

Standard ohne Zusatzvolumen und ohne zusätzliche Dämpfung

- ED mit einstellbarer pneumatischer Dämpfung, $D_{max} = 0.15$
- VD mit viskoser Sicherheitsdämpfung, D = 0.15 0.25
- LF mit Zusatzvolumen und sehr niedriger Eigenfrequenz (bis zu 0,6 Hz in vertikaler Richtung)



1. Tragkraft-Druckkurve								
Druck [bar]	2	3	4	5	6			
Fz [kN]	33,5	50,3	66,9	83,8	100,8			
Durchmesser [mm]	549,4	549,5	549,6	549,7	549,8			

2. Quasistatisch axial (15 mm Vorwalken bei 101 kN/0 Liter, 10 min Wartezeit)									
		Axialsteifigkeit [N/mm]		Eigenfreq	uenz [Hz]				
Axialkraft Fz [kN]	Zusatzvol.	100,8	66,9	100,8	66,9				
Axial Cz ± 10	Vzu = 40	224	192	0,74	0,84				
Axial Cz ± 10	Vzu = 20	475	371	1,08	1,17				
Axial Cz ± 10	Vzu = 0	719	595	1,35	1,50				

3. Quasistatisch radial (10 x 60 mm Vorwalken, 15 min Wartezeit)								
	Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfrequenz [Hz]					
Fz [kN]	100,8	66,9	100,8	66,9				
Radial Cz ± 10	402	347	1	1,14				

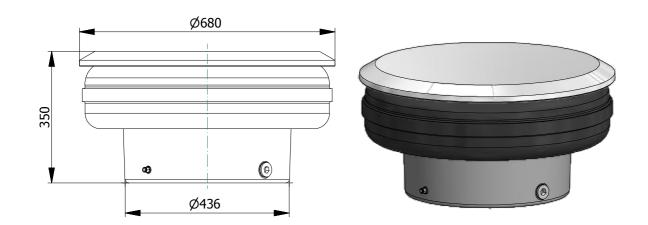


FABREEKA-PRECISION-AIRE-GÜRTELROLLBALG TYP RLA390-14

Optionen:

Standard ohne Zusatzvolumen und ohne zusätzliche Dämpfung

- ED mit einstellbarer pneumatischer Dämpfung, $D_{max} = 0.15$
- VD mit viskoser Sicherheitsdämpfung, D = 0.15 0.25
- LF mit Zusatzvolumen und sehr niedriger Eigenfrequenz (bis zu 0,6 Hz in vertikaler Richtung)

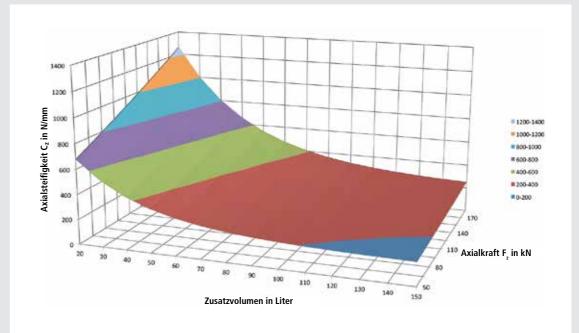


1. Tragkraft-Druckkurve								
Druck [bar]	3	4	5	6	7			
Fz [kN]	75,1	99,9	124,6	149,7	174,6			
Durchmesser [mm]	674,2	674,2	674,3	674,4	674,5			

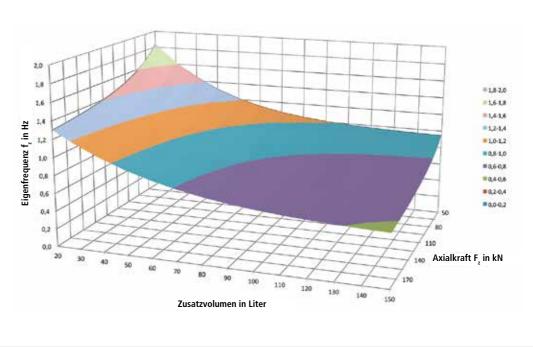
2. Quasistatisch axial (15 mm Vorwalken bei 160 kN/0 Liter, 10 min Wartezeit)								
		Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfrequenz [Hz]				
Axialkraft Fz [kN]	Zusatzvol.	160	114	160	114			
Axial Cz ± 10	Vzu = 40	299,7	256,2	0,68	0,75			
Axial Cz ± 10	Vzu = 20	722,2 585,8		1,06	1,13			
Axial Cz ± 10	Vzu = 0	908	760	1,20	1,30			

3. Quasistatisch radial (10 x 60 mm Vorwalken, 15 min Wartezeit)								
	Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfrequenz [Hz]					
Fz [kN]	160	114	160	114				
Radial Cz ± 10	569,2 545,8		0,94	1,09				

RLA390: Axialsteifigkeit C_z über Zusatzvolumen und Axialkraft



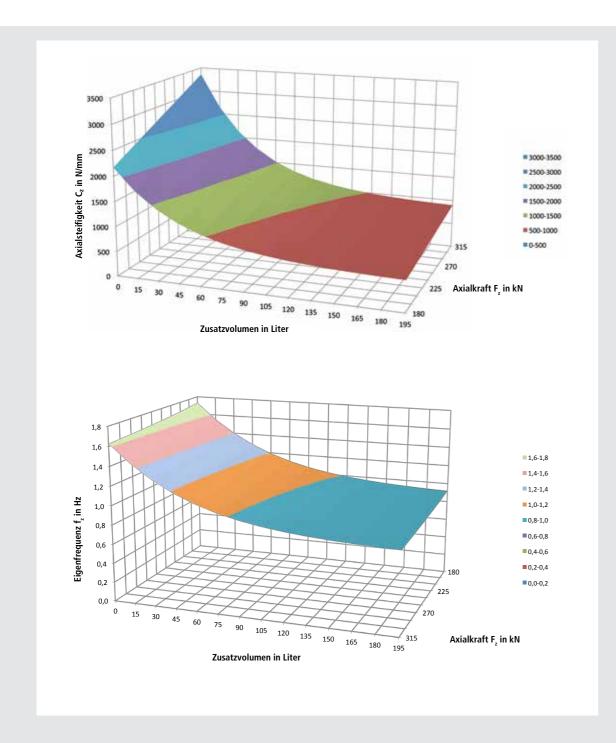
RLA390: Eigenfrequenz f_z über Zusatzvolumen und Axialkraft



Schwingungsdämpfung | Gürtelrollbalg Schwingungsdämpfung | Gürtelrollbalg Schwingungsdämpfung | Gürtelrollbalg



FABREEKA-PRECISION-AIRE-GÜRTELROLLBALG TYP RLA650-14



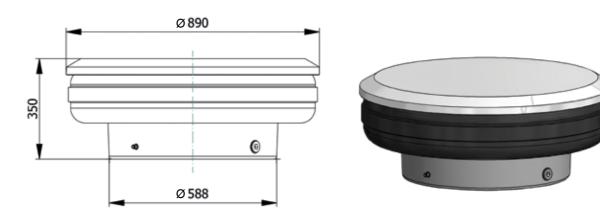
RLA650: Axialsteifigkeit C_z über Zusatzvolumen und Axialkraft

RLA650: Eigenfrequenz f_z über Zusatzvolumen und Axialkraft

Optionen:

Standard ohne Zusatzvolumen und ohne zusätzliche Dämpfung

- ED mit einstellbarer pneumatischer Dämpfung, $D_{max} = 0.15$
- VD mit viskoser Sicherheitsdämpfung, D = 0.15 0.25
- LF mit Zusatzvolumen und sehr niedriger Eigenfrequenz (bis zu 0,83 Hz in vertikaler Richtung)



1. Tragkraft-Druckkurve								
Druck [bar]	3	4 5		6	7			
Fz [kN]	139	184,5	229	274,5	319,5			
Durchmesser [mm]	875	875	876	877	878			

2. Quasistatisch axial (15 mm Vorwalken bei 265 kN/0 Liter, 10 min Wartezeit)								
		Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfrequenz [Hz]				
Axialkraft Fz [kN]	Zusatzvol.	274,5	184,5	274,5	184,5			
Axial Cz ± 10	Vzu = 150	677	587	0,85	0,91			
Axial Cz ± 10	Vzu = 50	1085	813	0,98	1,05			
Axial Cz ± 10	Vzu = 0	1665	1215	1,23	1,29			

3. Quasistatisch radial (10 x 60 mm Vorwalken, 15 min Wartezeit)								
	Axialsteifig	keit [N/mm]	Eigenfrequenz [Hz]					
Fz [kN]	274,5	184,5	274,5	184,5				
Radial Cz ± 10	805	805 747		1,01				



PRECISION-LEVELLING-MOUNT PLM-LUFTFEDERN

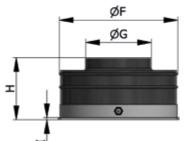
Precision-Aire™-Luftfederelemente bieten niederfrequente Schwingungsund Schockisolation für:

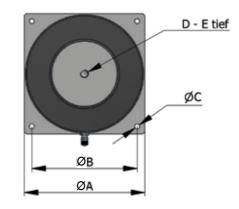
- Messplätze
- Koordinatenmessmaschinen
- Lüfter
- Luftkompressoren
- Motor- und Generatoreinheiten
- Hochgeschwindigkeitspressen
- und mehr

Die Fabreeka®-PLM-Luftfederserie umfasst niederfrequente Schwingungs- und Schockisolatoren, die unerwünschte Schwingungen mindern und gleichzeitig die gelagerten Geräte nivellieren.

Als Schwingungsdämpfer eingesetzt garantiert die interne Luftkammer eine signifikante Isolierwirkung bereits ab 5 Hz aufwärts. Die Eigenfrequenz liegt bei nur 3,0 Hz.

Precision-Aire™-Luftfederelemente isolieren auch im drucklosen Zustand. Die vertikale Eigenfrequenz des Elastomerkörpers beträgt ungefähr 10 Hz, so dass Störungen oberhalb von 14 Hz isoliert werden.





FUNKTIONENPLM-LUFTFEDERN

Die PLM-Konstruktion besitzt einen einvulkanisierten Gewindeeinsatz, wodurch die Luftfedern entweder mithilfe eines Standard-Reifenventils oder einer pneumatischen Verschraubung aufgeblasen werden können. Sonderanschlüsse sind nicht nötig.

Die Isolatoren werden mit einem Tankventil geliefert. Aufgeblasen und nivelliert werden sie manuell mithilfe von Handpumpen oder Adaptern, die an eine Luftversorgung angeschlossen werden. Wird eine Druckluftverschraubung an den Luftfedern angebracht, können sie an die jeweilige geregelte Luftversorgung angeschlossen werden. Dies erleichtert die Druckbeaufschlagung und die

Niveauregelung. Für den Fall, dass keine Niveauregelventile eingesetzt werden, kann zur Regulierung des Drucks und der Höhe der untereinander verbundenen Luftfedern auch eine Regelkontrolleinheit (rechts) zur Verfügung gestellt werden.

Außerdem können die PLM-Luftfederelemente noch mit automatischen Niveauregelventilen zur Höhenregelung geliefert werden. Jeder Hauptisolator verfügt über ein angebautes Niveauregelventil, das als Lastfühler und Lagesensor fungiert. Um die Tragfähigkeit des Gesamtsystems zu erhöhen, können beliebig viele Parallel-Luftfedern hinzugefügt werden.

Der Lieferumfang eines Systems beinhaltet eine Kontrolleinheit, automatische Niveauregelventile, Leitungen und sämtliches pneumatisches Zubehör, das für eine vollständige Systeminstallation notwendig ist.



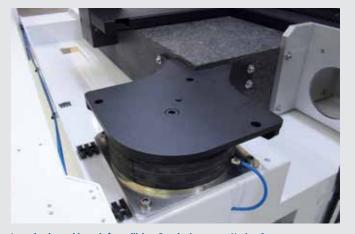
Bremsenprüfstand – Detail Luftfeder

Тур	Α	В	С	D	E	F	G	H max, ausge- federt	1	Max, zulässige Traglast	Max, Betriebs- druck
	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm		kg	bar
PLM1	76	60,5	6,9	M10	12	73	25	62,5	3,2	45	5
PLM3	106	89	6,9	M12	13,5	105	56	63,5	3,2	150	5
PLM6	130	108	7,4	M12	13,5	127	60	89	3,2	250	6
PLM12	175	152	7,4	M12	13,5	171	100	89	3,2	550	6
PLM24	254	216	14,2	M16	19	245	138	89	4,8	1100	6
PLM48	343	305	14,2	M16	19	338	190	89	4,8	2200	6
PLM96	470	406	20,6	M24	22,4	468	267	89	6,4	4400	6
PLM192	610	508	20,6	M24	22,4	610	400	89	6,4	8800	6

Montagehinweis: Die Maschine ist auf entlüfteten PLM-Luftfedern zu lagern. Anschließend erfolgt das schrittweise Aufpumpen bis zur Arbeitshöhe H \pm 6 mm. Die Demontage erfolgt in umgekehrter Reihenfolge. Optional: automatische Niveauregelung.



Schaltschrank



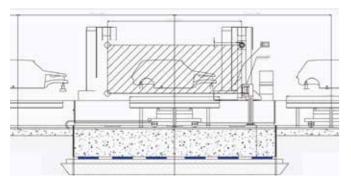
Laserdruckmaschine mit freundlicher Genehmigung von Notion Systems

Schwingungsdämpfung | PLM-Luftfedern Schwingungsdämpfung | PLM-Luftfedern 35



RDS (RAPID DEFLATE SYSTEM)

RDS eignet sich bestens für Anwendungen, bei denen die isolierte Maschine vor der Werkstückbeladung oder -entladung in einer Referenzebene positioniert werden muss.

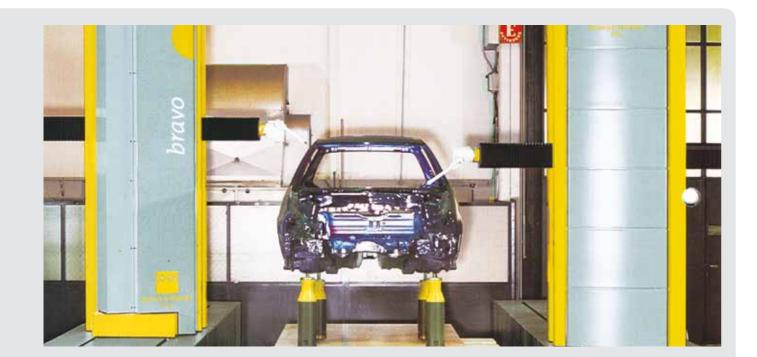


Bestehende Systeme können im Feld einfach mit RDS aufgerüstet werden.

Die RDS-Komponenten können jeder pneumatischen Kontrolleinheit hinzugefügt werden, so dass der Bediener eine auf einem Luftfedersystem gelagerte Maschine schnell heben oder senken kann. Dies ist vor allem bei großen Messmaschinen nötig, die Fundamente und viele Isolatoren erfordern.

Bei herkömmlichen Systemen entweicht die Druckluft durch die Niveauregelventile. Mit RDS erfolgt die Entlüftung oder Belüftung fünf- bis zehnmal schneller. Nur 1,0 bar Druckabbau wird verwendet, wodurch die Isolatoren so lange weiter unter Druck stehen, bis sie erneut belüftet werden. RDS kann mit bestehenden Maschinenreglern verbunden werden, um es in den Automatisierungsprozess einzubinden.





ANWENDUNGSGEBIETE PRÄZISIONSFERTIGUNGSMASCHINEN

Die Anforderungen an die Genauigkeit von Präzisionswerkzeugmaschinen werden immer höher. Geräte, die mit Nanotechnologie schneiden, drehen, polieren und positionieren, ermöglichen Feinarbeiten und Messungen im Mikron- und sogar Angströmbereich.

Ultrapräzisionsgeräte werden in vielen Branchen eingesetzt. Dazu gehören Halbleiter- und Waferverarbeitung, Optik und Linsenherstellung sowie nicht standardisierte Materialverarbeitungsprozesse.

Hochpräzise Positioniermaschinen wie Diamantdrehmaschinen, X-Y-Bühnen und CD-Messgeräte arbeiten normalerweise mit Laser-Interferometrie (Positionsfeedback), um die Materialien nanometergenau zu positionieren. Zur Durchführung von Messungen im Submikronbereich benötigt man außerdem Messgeräte wie Profilmesser, Form- und Oberflächentester sowie Rauigkeits- und Rundheitsmessmaschinen.

Das ultrapräzise Schneiden und Mikroschleifen von Materialien wie optischen Gläsern, Kristallen, eisenfreien Metallen, Polymeren und Keramiken gehört ebenfalls zu den Möglichkeiten dieser Geräte. Die Oberflächen dieser Materialien werden so genau bearbeitet, dass anschließend nur wenig oder gar kein Polieren mehr notwendig ist – die Oberflächen haben eine Submikron-Körnung. Auf diese Weise werden unter anderem CDs, Kontaktlinsenwerkzeuge, Komponenten für optische Linsen und Spiegel für Laseranwendungen hergestellt.

Niederfrequente Schwingungs- und Schockisolationssysteme von Fabreeka® versetzen Hersteller und Anwender von Präzisionswerkzeugmaschinen in die Lage, die vorgesehene Genauigkeit ihrer Geräte sicherzustellen. Für manche Anwendungen sind spezielle System- und Strukturanalysen nötig. Die Auslegung der Unterkonstruktion und des Rahmens, die in Verbindung mit dem Isolationssystem eingesetzt und in die Maschinenkonstruktion integriert wird, kann ebenfalls kundenspezifisch angepasst werden.



LT-Ultra Laserinterferomete



Motion X Präzisionsmaschin



Precitek Präzisionsdrehmaschine

36 Schwingungsdämpfung | RDS Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete



MESSTECHNIK-/PRÜFGERÄTE



Hexagon CMM



Wenzel CMM

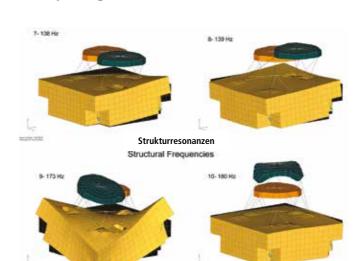
AUTOMOBILPRÜFSTÄNDE

Die Messgeschwindigkeit und -genauigkeit von Koordinatenmessgeräten (KMG) steigt von Jahr zu Jahr. Neuere KMGs werden werkstatttauglich konstruiert und hergestellt, so dass sie auch in der Produktion mit hoher Wiederholgenauigkeit arbeiten können. Störschwingungen gehören zu den Umgebungsfaktoren, welche die Genauigkeit und Wiederholgenauigkeit eines KMG beeinträchtigen

können.

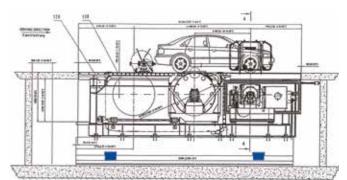
Wenn alle Komponenten eines KMG, einschließlich des zu messenden Teils, bei einer bestimmten Frequenz, Amplitude, Phase und Ausrichtung im Einklang miteinander schwingen, dann ist der Idealzustand erreicht – die gemessene Leistung verringert sich nicht. Für das KMG ist diese Situation gleichbedeutend mit einem Zustand völliger Schwingungsfreiheit, da sich alle Teile des KMG synchron zueinander bewegen würden. Wenn Komponenten gegenphasig zu schwingen beginnen, oder wenn es zu einer strukturellen Resonanz kommt, können Messungenauigkeiten auftreten.

Um keine Einbußen bei der Messgenauigkeit in Kauf nehmen zu müssen, definieren die KMG-Hersteller für den jeweiligen Maschinentyp zulässige Schwingungsniveaus, bei denen ihre Geräte noch einwandfrei funktionieren. Dieser zulässige Schwingungswert ist ein wichtiger Faktor bei der Entscheidung, ob eine Maschine eine Schwingungsisolation benötigt oder nicht. Fabreeka® International spielt eine führende Rolle auf dem Gebiet der Dämpfungssysteme und Entwicklungsdienstleistungen im Automobilprüfstandsbereich und erfüllt die steigenden Anforderungen der Automobilprüfungen und der Umweltsimulation.



Mehrachsiger Schwingtisch/Schwingungsanalyse/dynamische Analyse

Regelmäßig stellt Fabreeka® Isolationslösungen für viele Anwendungen zur Verfügung, wie beispielsweise Rollen- und Motorprüfstände, Straßensimulations-Prüfstände und mehrachsige Schwingtische. Fabreeka® bietet Engineering-Leistungen wie die Erstellung der Statik von Unterkonstruktionen und Reaktionsmassen, statische und dynamische Analysen sowie Abnahmeprüfungen an.



Rollenleistungsprüfstand auf einem schwingungsisolierten Fundament



Motorprüfstand auf PAL



Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete 39



AUTOMOBILPRÜFSTÄNDE





SAF Holland





MAN München





Leibniz-Universität Hannover

IAMT Plauen

AEROSPACE-PRÜFUNGEN

Fabreeka® bietet niederfrequente Schwingungsisolationssysteme für schwierige Testapplikationen in der Aerospace-/Verteidigungsindustrie, die eine sehr niederfrequente Isolation erfordern. Mögliche Anwendungen sind auch Nanomessungen, deren Fehlergrenzen im Mikrometerbereich liegen oder nur Zehntel von Bogensekunden betragen.

Die Tests großer Flugkörper oder Satelliten, die in den Orbit geschickt werden sollen, müssen unter simulierten Weltraumbedingungen durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wird eine Vakuumkammer oder Thermo-Vakuumkammer eingesetzt. Sie schafft eine Umgebung, die den Druck und die Hitzeeffekte eines Starts oder Weltraumfluges simuliert.

Falls die Größe oder Konstruktion der Vakuumkammer keine "externen" Isolatoren zulässt, muss das Testobjekt innerhalb der Kammer isoliert werden. Dazu wird ein vakuumkompatibles Isolationssystem verwendet. Werden Isolatoren innerhalb einer Vakuumkammer eingesetzt, müssen sie strenge Materialspezifikationen erfüllen, wodurch das Ausgasen beschränkt werden soll. Ihre Konstruktion muss außerdem strengen molekularen Reinheitsanforderungen genügen. Während Thermo-Vakuumeinsätzen müssen die Isolatoren unter extremen Temperaturen arbeiten. Hier können Heizmatten nötig sein, um die Temperaturen lokal in einem Bereich zu halten, in dem die Isolatoren funktionstüchtig sind.

Die Grenzwerte für vakuumkompatible, pneumatische Isolationsmaterialen liegen beim Gesamtmassenverlust (total mass lost TML) bei 0,85 % und bei dem gesammelten flüchtigen Material (collected volatile consumable material CVCM) bei 0,09 %. Die Produkte von Fabreeka® können in einer Umge-

bung von 1 x 10-6 Torr arbeiten und

haben eine maximale Leckrate von 10-7 cc/sec.









Mit freundlicher Genehmigung von B.F. Goodrich

40 Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete 41



SOFT-SUPPORT-SYSTEM (SSS) FÜR GROUND-VIBRATION-TEST

Fabreeka® hat mehrere Soft-Support-Systeme (SSS) für Ground-Vibration-Tests (GVT) von Flugzeugen entwickelt, in die Standard- oder speziell angefertigte Luftfedern integriert sind. Um bei einem GVT korrekte Ergebnisse zu erhalten, erfordert die Bestimmung der modalen Parameter von Flugzeugen die Simulation einer sogenannten "Free-free"-Umgebung. Bei solchen Projekten arbeitet Fabreeka® eng mit den Spezialisten für Strukturdynamik der jeweiligen Flugzeughersteller bei der Konstruktion der benötigten SSS für den GVT zusammen.

Während das Flugzeug dynamischen Tests und einer Modalanalyse unterzogen wird, tragen die Luftfedern das Flugzeug und entkoppeln es vom Boden. Vor allem bei der Identifizierung von Strukturresonanzen und der Bewertung des Schwingverhaltens spielt das Soft-Support-System eine wichtige Rolle. Das SSS kann auch ein Hebesystem beinhalten, um das Flugzeug aus seinem Fahrwerk zu heben.

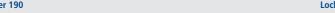
Isolatoren, die für GVT eingesetzt werden, haben vertikale und horizontale Eigenfrequenzen bis herab zu 0,5 Hz.





Mitsubishi MRJ







Lockheed Martin

MRT-/NMR-SPEKTROMETERGERÄTE (MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE/KERNSPINRESONANZSPEKTROSKOPIE)

Auf dem Gebiet der Schwingungsisolierung bieten wir unseren Kunden eine sehr hohe Fachkompetenz, große Produktkenntnis und bewährte Konstruktionslösungen. Wir liefern Schwingungsdämpfungssysteme für alle Arten von hochauflösenden MRT, NMR und Kryostate im Bereich von 300 MHz bis 900 MHz.

Luftfedern für den Einsatz in NMR-Anwendungen sind grundsätzlich nichtmagnetisch, eingesetzte Materialien sind Edelstahl, Aluminium oder Messing. Die Arbeitshöhe der Isolatoren wird an die Erfordernisse des entsprechenden Magnetmodells angepasst, um vorhandene Tragkonstruktionen des Magneten nutzen zu können.

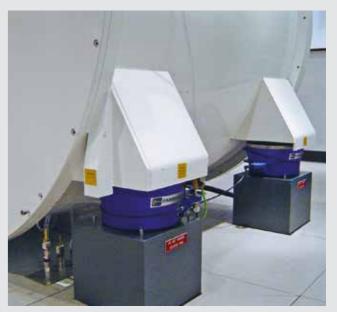
Zu den angebotenen Lösungen gehören auch Schwingungsmessungen und die Dimensionierung von Unterkonstruktionen einschließlich statischer und dynamischer Analysen.

Die Luftfedern können Höhen von ca. 700 mm bis ca. 1800 mm haben, mit vertikalen und horizontalen Eigenfrequenzen von nur 0,8 Hz.





600 MHz NMR auf PAL18-Gimbal-Luftfedern



Horizontal NMR auf PAL55-6

42 Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete Schwingungsdämpfung | Anwendungsgebiete 43

Sie möchten mehr über uns erfahren oder haben ein konkretes Isolationsproblem?

Sprechen Sie mit uns – gemeinsam finden wir eine passende Lösung!

Zentrale/Nordamerika

Boston, Massachusetts, USA Fabreeka International, Inc. 1023 Turnpike Street Stoughton, MA 02072

Tel.: +1 800-322-7352 Tel.: +1 781-341-3655 Fax: +1 781-341-3983

E-Mail: info@fabreeka.com www.fabreeka.com

Länder/Gebiete: USA, Kanada, Mexiko, Mittelamerika, Südamerika, Südafrika, Australien, Neuseeland

Deutschland

Fabreeka GmbH Deutschland Hessenring 13 D-64572 Büttelborn GERMANY

Tel.: +49 (0) 6152-9597-0 Fax: +49 (0) 6152-9597-40 E-Mail: info@fabreeka.de

E-Mail: info@fabreeka www.fabreeka.de

Länder/Gebiete: Deutschland, alle europäischen Länder (außer Großbritannien), Korea, Israel, Russland, Indien

Großbritannien

ACE Fabreeka UK Unit 404 Easter Park Haydock Lane Haydock WA11 9TH ENGLAND

Tel.: +44 (0) 1942 727440 Fax: +44 (0) 1942 717273 E-Mail: info@ace-fabreeka.co.uk www.fabreeka.co.uk

Länder/Gebiete: England, Irland, Schottland, Wales

Taiwan

Fabreeka International, Inc. PO Box 1246 Tainan 70499 TAIWAN

Tel.: +886 935-273-732
Tel.: +886 970-273-732
E-Mail: info@fabreeka.tw
www.fabreeka.com.cn

Länder/Gebiete: Taiwan, China, Südostasien, Japan

