

Technische Anleitung

für die Installation von Schwingprüfsystemen

Hauptgrößen für Schwingungsprüfungen

Für die Durchführung von Schwingungsprüfungen gelten vier wesentliche Größen: Kraft [N], Beschleunigung [m/s²], Geschwindigkeit [m/s] und Weg [mmS-S]. Beginnen wir mit der Kraft. Die Kraft „F“, mit der ein Objekt mit der Masse „m“ beschleunigt wird „A“, ergibt sich aus

$$F = m \cdot A$$

	Si-Einheit	Einheit
F : Kraft	[N]	[kgf]
m : Masse	[kg]	[kg]
A : Beschleunigung	[m/s ²]	[G]

Das heißt, wenn die Beschleunigung von 1 m/s² auf eine Masse von 1kg wirkt, beträgt die dazu erforderliche Kraft 1 N. Die Gravitationsbeschleunigung G beträgt 9,8 m/s². Angenommen wir haben ein sich sinusförmig bewegendes Objekt. Der Weg beträgt demnach:

$$D = D_0 \sin \omega t$$

Die Geschwindigkeit erhält man durch Differenzierung des Weges mit

$$V = \frac{dD}{dt}$$

$$V = \omega D_0 \cos \omega t$$

Die Beschleunigung erhält man durch Differenzierung der Geschwindigkeit mit

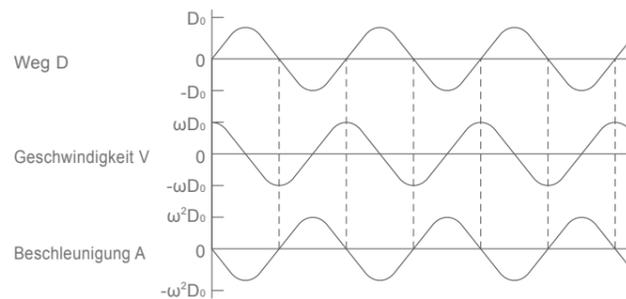
$$A = \frac{dV}{dt}$$

$$A = -\omega^2 D_0 \sin \omega t$$

Durch Einsetzen von $\omega = 2\pi f t$ erhalten wir Gleichungen mit Angabe der Amplitude:

$V = \omega D = 2\pi f D$	D:Weg	[m ⁰⁻²]
$A = \omega^2 D = (2\pi f)^2 D$	V:Geschwindigkeit	[m/s]
	A:Beschleunigung	[m/s ²]

Das folgende Diagramm zeigt Signale für Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung.



Durch Umstellung erhalten wir die folgenden Gleichungen:

$$f = \frac{A}{2\pi V}$$

$$A = \frac{V^2}{D}$$

$$V = 2\pi f D$$

$$D = \frac{A}{(2\pi f)^2}$$

Für das Gebiet der Schwingungsprüfung wird durch d [mmS-S] der Weg ausgedrückt. In den obigen Gleichungen wird also

$$D = \frac{d}{2000}$$

eingesetzt.

$f = \frac{A}{2\pi V}$	f:Frequenz[Hz]
$A = \frac{(2\pi f)^2 d}{2000}$	A:Beschleunigung[m/s ²]
$V = \frac{2\pi f d}{2000}$	V:Geschwindigkeit[m/s]
$d = \frac{2000A}{(2\pi f)^2}$	d:Weg[mms-s]

Beispiel:

Beispiel I $f = 50[\text{Hz}], d = 2[\text{mms-s}]$

$$V = \frac{2\pi f d}{2000} = \frac{2 \times \pi \times 50 \times 2}{2000} = 0.314[\text{m/s}]$$

$$A = \frac{(2\pi f)^2 d}{2000} = \frac{4 \times \pi^2 \times 50^2 \times 2}{2000} = 98.7[\text{m/s}^2]$$

Beispiel II $A = 100[\text{m/s}^2], V = 0.5[\text{m/s}]$

$$f = \frac{A}{2\pi V} = \frac{100}{2 \times \pi \times 0.5} = 31.8[\text{Hz}]$$

$$d = \frac{2000V^2}{A} = \frac{2000 \times 0.5^2}{100} = 5[\text{mms-s}]$$

Bitte beachten Sie auch die Umrechnungstabelle auf Seite 72.

Über [dB]

Die Einheit dB wird immer dann verwendet, wenn von physikalischen Verhältnissen die Rede ist. Besonders wenn Werte das Tausend- oder Millionenfache eines Referenzwerts darstellen, kommt die logarithmische Skala dB anstelle der linearen Skala zur Anwendung. Sie entspricht unserem Verständnis und drückt Fakten aus. dB wird wie folgt ausgedrückt:

$$a = 20 \log \frac{A_1}{A_0} [\text{dB}]$$

$A_1 = \text{Vergleichswert}$
 $A_0 = \text{Bezugswert}$

Das Millionenfache ergibt folgenden Ausdruck:

$$a = 20 \log \frac{1.000.000}{1} = 120[\text{dB}]$$

Damit wird nicht nur die Länge des Zahlenausdrucks verringert, es erleichtert auch die Durchführung der Rechenoperationen.

So ergeben z.B. 25db und 30dB zusammen 55dB. Stellt man die gleiche Rechnung linear an, ergibt das folgendes Bild:

$$25[\text{dB}] = 20 \log A \quad A = 10^{\frac{25}{20}} = 17.78$$

$$30[\text{dB}] = 20 \log B \quad B = 10^{\frac{30}{20}} = 31.62$$

$$A \times B = 17.78 \times 31.62 = 562.3 = 20 \log 562.3 = 55[\text{dB}]$$

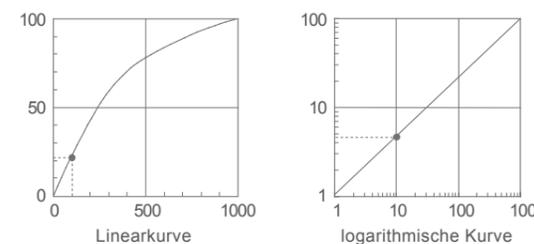
Anstelle der Multiplikation kann also unter Verwendung von dB die Addition angewendet werden. Nachstehend Umrechnungstabellen für dB und Vielfache davon:

dB	0	0.1	1	3	6	10	20	30	40	60
Vielf.	1	1.01	1.12	1.41	2.0	3.16	10	31.6	100	1000

dB	0	-0.1	-1	-3	-6	-10	-20	-30	-40	-60
Vielf.	1	0.99	0.891	0.709	0.501	0.316	0.1	0.0316	0.01	0.001

Arbeit mit der logarithmischen Kurve

Wenn Daten für Schwingungsprüfungen oder andere physikalische Erscheinungen aufgetragen werden sollen, arbeiten wir häufig mit der logarithmischen Kurve.



Bei der Linearkurve erhalten wir $Y = 20$ für $X = 100$. Dagegen lässt sich der Wert für Y bei $X = 10$ oder 1 nicht mehr genau ablesen. Bei der logarithmischen Kurve hingegen lässt sich der Wert für Y bei $X = 10$ oder 1 genau ablesen, d. h. 4,5 bzw. 1. Er lässt sich selbst noch für 1/100 oder 1/1000 des Maximalwertes ablesen. Dies ist der Vorteil der logarithmischen Kurve.

Kurve für Sinusprüfungen

Häufig wird die unten dargestellte Kurve für die Durchführung von Sinusprüfungen verwendet. Die Asymptoten für Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung bleiben konstant. Beginnen wir mit einer Asymptote für konstante Geschwindigkeit. Aus dieser Gleichung kennen wir bereits:

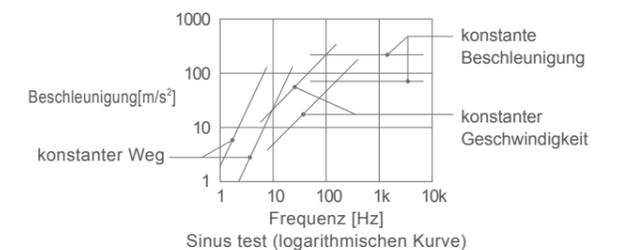
$$A = 2\pi f V$$

A : Beschleunigung
 f : Frequenz
 V : Geschwindigkeit

Es lässt sich ablesen, dass die Beschleunigung A um das 10-fache erhöht wird, wenn sich die Frequenz f um das 10-fache erhöht. Aus der Kurve unten lässt sich entnehmen, dass sich die Beschleunigung von 10 m/s² auf 100 m/s² erhöht, wenn die Frequenz von 10Hz auf 100Hz steigt.

$$A = (2\pi f)^2 D \quad D : \text{Weg}$$

lässt sich erkennen, dass sich die Beschleunigung A um das 100-fache (10²) erhöht, wenn die Frequenz f um das 10-fache steigt, proportional zum Quadrat von f. Aus der Kurve ist abzulesen, dass die Beschleunigung von 1 m/s² auf 100 m/s² ansteigt, wenn sich die Frequenz von 1 Hz auf 10 Hz erhöht.



Das heißt, bei konstanter Geschwindigkeit oder Beschleunigung ergibt sich die Steigung der Asymptote entsprechend der Abbildung.

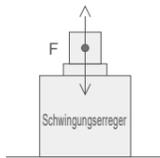
Technische Anleitung

für die Installation von Schwingprüfsystemen

■ Schwingungsisolierung für Schwingprüfsystem

Ist ein Schwingprüfsystem in Betrieb, übertragen sich die Bewegungen und Kräfte auf den Aufstellungsort und die Umgebung. Besonders im Frequenzbereich von 2 bis 20 Hz kann das durch die Eigenfrequenz des Erregers zu weitreichenden Folgen führen. Daher empfiehlt sich eine Schwingungsisolierung.

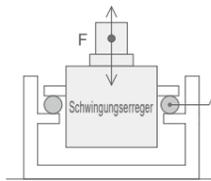
1) Ohne Isolation



F:Kraft

Die gesamte durch den Schwingererzeuger erzeugte Kraft wird auf den Hallenboden übertragen und verstärkt die Eigenschwingungen von Gebäuden und anderen Objekten. Der Schwingererzeuger selbst kann in Schwingung versetzt werden und in Bewegung geraten.

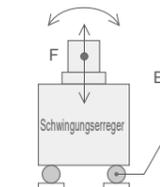
2) Aufhängung des Geräts



Elastische Elemente bzw. Luftfedern

Bei IMV wird dieses Verfahren mit Ausnahme von Kompaktanlagen angewendet. Dabei kann die Auslenkung bei niedrigen Frequenzen eingeschränkt werden (s. „Begrenzung des maximalen Weges“). In diesen Fällen ist die Aufhängung zu arretieren, so dass die Schwingungen in den Hallenboden eingetragen werden.

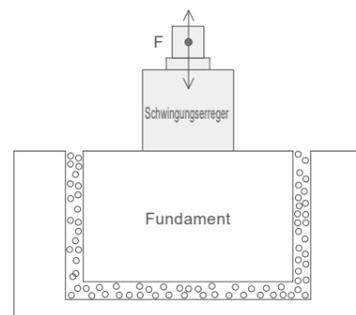
3) Lagerung des Gerätebodens



Elastische Elemente bzw. Luftfedern

Die Wirkung ist die gleiche wie bei Aufhängung des Geräts. Bei niedrigen Frequenzen können seitliche Bewegungen auftreten (s. S. 51).

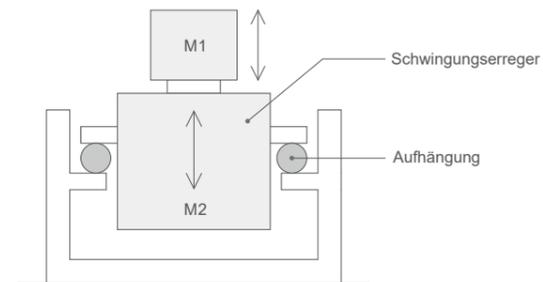
4) Fundamentisolation



Hierbei handelt es sich um die wirksamste Art der Schwingungsisolierung. Generell gilt, dass die Masse des Fundaments das Zehnfache der Nennkraft des Systems in kg betragen sollte. Im Regelfall sollte die Masse des Fundaments das Zwanzigfache der in kg angegebenen Nennkraft des Systems betragen. Sollten Sie weitere Informationen zu dieser Lösung wünschen, wenden Sie sich bitte an uns.

■ Begrenzung des maximalen Weges

Schwingungen können auf unterschiedliche Weise isoliert werden. Alle wirken jedoch begrenzend auf die Größe der Auslenkung. Bei Aufhängung des Geräts reagiert das Schwingprüfsystem auf Bewegungen der Prüfprobe.

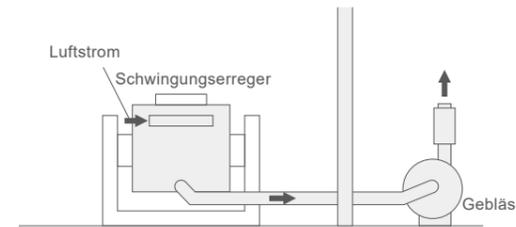


Speziell im Fall der Aufhängung des Geräts kommt es zur Anregung des Schwingererregers durch die Reaktionskraft. Liegt die Anregungsfrequenz im Bereich von 2 – 7 Hz und sind die Resonanzfrequenzen von Armaturaufhängung und Gerätaufhängung im gleichen Bereich, befinden sich die Bewegungen von Armatur und Gerät nahezu im „Antiphasenbereich“, welches eine weitgehende Einschränkung des absoluten Weges der Armatur zur Folge hat. Es kann davon ausgegangen werden, dass z.B. ein Weg von nur 10 mm bei 51 mmS-S des Schwingererregers zur Verfügung steht. Bei Isolation des Fundamentes kann die wirksame Masse des Fundaments mit dem Schwingererzeuger sehr viel größer als die Summe aus Prüfprobe und Armatur sein. Damit kann die Einschränkung für den möglichen Weg vernachlässigt werden.

■ Schalldämmung

Bei der Aufstellung des Schwingprüfsystems muss der beim Betrieb entstehende Geräuschpegel mit beachtet werden. Es entstehen verschiedene Geräuscharten. Anregungsgeräusch, Ansaugergeräusch (bei Systemen mit Luftkühlung), Gebläsegeräusch, Gebläseauslassgeräusch, Lüftergeräusch des Leistungsverstärkers usw. Daher sind unterschiedliche Möglichkeiten der Schalldämmung in Betracht zu ziehen. Das Anregungsgeräusch kann 100 dB bei einer Beschleunigung von 980 m/s² überschreiten. Das Ansaugergeräusch beträgt ca. 90 dB; das Geräusch des Gebläses und des Gebläseauslasses erreicht zusammen ca. 80 dB, ist jedoch je nach Ausführung unterschiedlich.

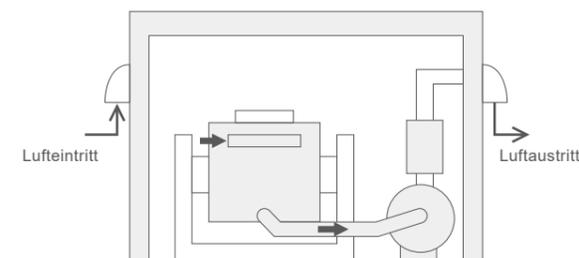
1) Lüfter außerhalb des Raumes installiert



Prinzipiell ist das eine einfache Aufstellungsvariante. Die Geräusche von Gebläse und Gebläseauslass können reduziert werden. Keine Änderung erfolgt beim Ansaugergeräusch und dem Anregungsgeräusch des Schwingererregers. * Lüfter nicht ohne Weiteres zur Aufstellung im Freien geeignet.

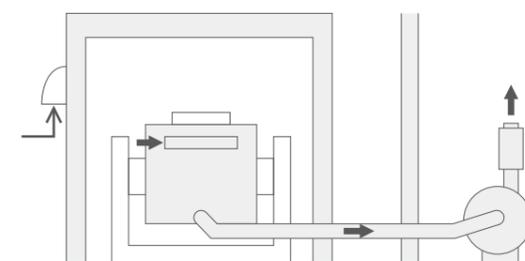
2) Schalldämmkabine

A. Schwingererzeuger und Gebläse



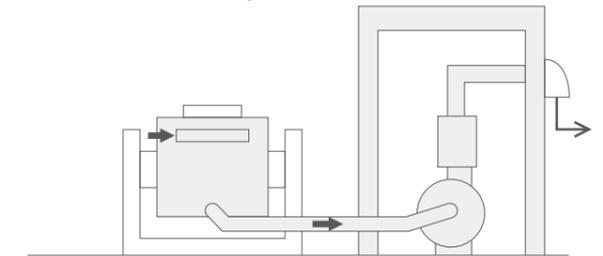
Reduzierung von Anregungs- und Gebläsegeräusch
* Bei ausgeschaltetem Lüfter, Rückströmung durch geeignete Maßnahmen verhindern.

B. Nur Schwingererzeuger (Lüfter außerhalb)



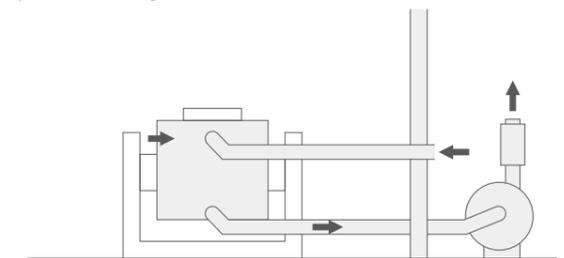
Anregungs- und Gebläseansauggeräusch werden reduziert
* Lüfter nicht ohne Weiteres zur Aufstellung im Freien geeignet.

C. Schalldämmeinhausung nur für Gebläse



Das Gebläsegeräusch wird gemindert. Keine Änderung von Ansaug- und Anregungsgeräusch des Schwingererregers.
* Bei ausgeschaltetem Lüfter, Rückströmung durch geeignete Maßnahmen verhindern.

3) Luftzuführung



Das Ansaugergeräusch des Schwingererregers wird um ca. 5 dB reduziert. Zweck ist die Ansaugung von Frischluft von außen ohne Ansaugung von Raumluft (Reinraum usw.).
* Lüfter nicht ohne Weiteres zur Aufstellung im Freien geeignet.

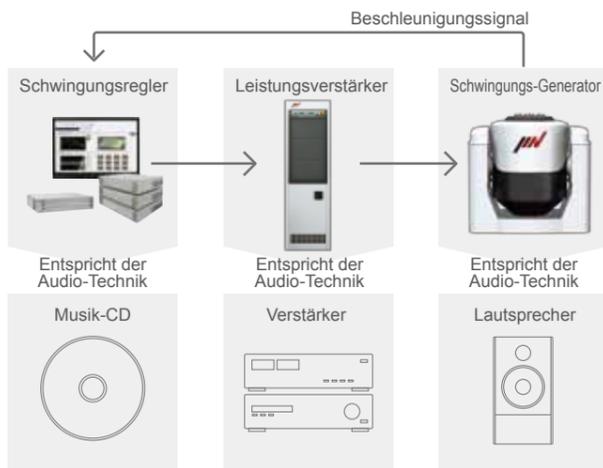
Technische Anleitung

Alle Komponenten sind aufeinander abgestimmt und können einzeln geregelt werden

Grundlagen und Technologie von Schwingprüfsystemen

■ Elektrodynamisches Schwingprüfsystem

Das Prinzip ist das gleiche wie bei Audiosystemen, bei denen die elektronischen Signale der Quelle, z.B. CD, verstärkt und im Lautsprecher in Audiosignale umgewandelt werden. Bei Schwingprüfsystemen übernehmen Schwingerreger die Funktion der Lautsprecher in Audiosystemen. Anstelle der Tonquelle kommen Schwingungsregler zum Einsatz. Diese verursachen den elektrischen Strom durch die Verstärker und treiben die Schwingerreger. Der Unterschied besteht darin, dass die Schwingungen durch an den Prüfproben befestigten und/oder an Schwingtischen angebrachten Aufnehmern zur Überwachung von deren Bewegung an die Schwingungsregler zurück geleitet werden. Mit diesem Feedback werden die erzeugten Schwingungen an die vorgegebenen Prüfbedingungen angepasst.



■ Schwingerreger

Das Funktionsprinzip beruht auf der „Linke-Hand-Regel“. Fließt Strom durch einen Draht, der sich in einem magnetischen Feld befindet, entsteht eine Kraft lotrecht zu diesem Feld und der Richtung des Stroms



■ Schwingungsregler

Die ursprüngliche Signalform lässt sich nicht einfach durch abspielen der im Feld gemessenen Schwingungsdaten reproduzieren. Bedingt durch die Eigenschaften des Verstärkers, die gemeinsame Dynamik von Schwingerreger und Prüfproben erfolgt eine Verzerrung der Signale. Die Schwingungsregler erzeugen die benötigten Schwingungen zum automatischen Ausgleich dieses Verhaltens bzw. der Dynamik. Alle Regler von IMV werden durch die Forschungs- und Entwicklungsingenieure des Unternehmens nach Kundenvorgaben entwickelt und gefertigt. Kundenfreundlichkeit hat dabei in jedem Fall einen hohen Stellenwert.



Komplexe Prüfungen lassen sich auf einfache Weise programmieren und durchführen

■ Leistungsverstärker

Die Aufgabe des Leistungsverstärkers ist die Stromversorgung des Schwingerreger zur Umwandlung der im Schwingungsregler erzeugten elektrischen Kleinsignale in den größeren Strom höherer Spannung. Die Leistungsverstärker von IMV arbeiten als Schaltverstärker. Zur Reduzierung von Leistungsaufnahme und Platzbedarf sind sie mit kompakten, leistungsstarken Komponenten führender Hersteller in diesem Bereich ausgestattet.



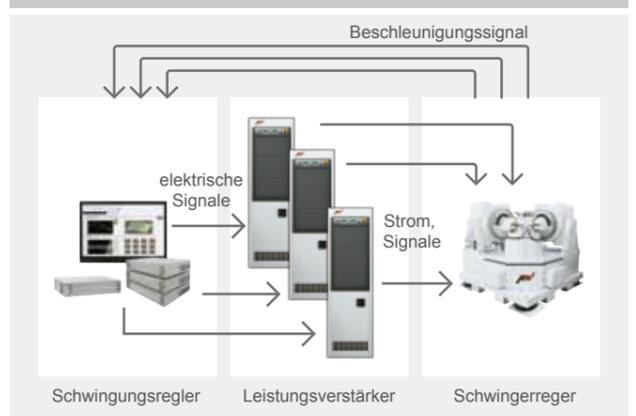
Power module SA-300

Funktionsprinzip

Signalfluss, Spannungs-/Stromversorgung bei 1-Achssystemen



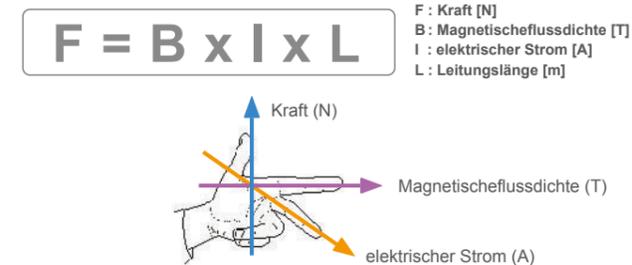
Signalfluss, Spannungs-/Stromversorgung bei Mehrachssystemen



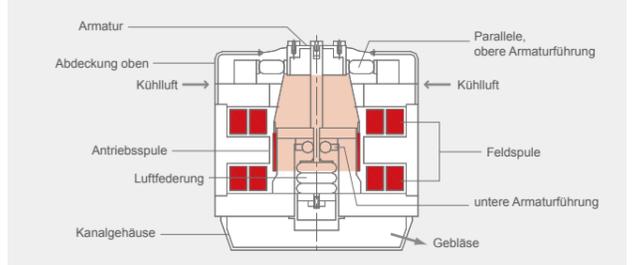
■ Schwingerreger

Das Funktionsprinzip beruht auf der „Linke-Hand-Regel“.

Die folgende Gleichung erläutert die „Linke-Hand-Regel“



Innenaufbau des Schwingerreger (luftgekühlt)



■ Kühlung des Schwingerreger

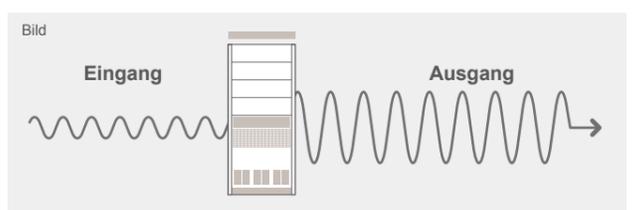
Das Schwingprüfsystem kann wahlweise mit Luft- oder Wasserkühlung geliefert werden. Jede Ausführung hat ihre spezifischen Merkmale. Bei der Auswahl des geeigneten Kühlsystems sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

Kühlmethode	Luftkühlung	Wasserkühlung
Kühlung	Kühlung der Spulen erfolgt durch von außen angesaugte Luft. Die Ableitung erfolgt durch ein Gebläse	Die Spulen bestehen aus Rohr, in denen destilliertes Wasser zum Kühlen der Spulen zirkuliert. Die Abführung der Wärme erfolgt durch Wärmetauscher und Kühlturm
Hauptmerkmal	Die Kühlung der Ausrüstung erfolgt ausschließlich durch ein Gebläse. Einfache Montage.	Der Betriebsgeräuschpegel liegt erheblich unter dem der Luftkühlung.
Zu berücksichtigende Punkte	Zur Verringerung der Ansaugergeräusche des Schwingerreger und der Geräusche der ausgeblasenen Luft durch das Gebläse sind u. U. Kanalanschlüsse oder Schalldämmungsmaßnahmen erforderlich.	Es wird eine Versorgungsquelle zur Bereitstellung des Kühlwassers benötigt.

■ Leistungsverstärker

Der Leistungsverstärker des Systems versorgt den Schwingerreger mit elektrischer Energie. Der Leistungsverstärker erzeugt aus den elektrischen Signalen des Schwingungsreglers einen stärkeren Strom mit höherer Spannung.

$$\text{Elektrische Leistung (VA)} = \text{Elektrische Spannung (V)} \times \text{Elektrischer Strom (A)}$$



Technische Anleitung

Erfindungen mit der Innovationskraft von IMV

Originale Technologie zur Verbesserung der Standfestigkeit und Leistung von Schwingerregern

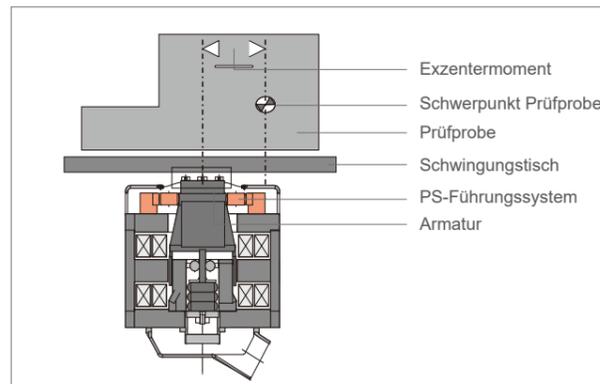
■ Parallele, obere Armatur Führung

Schwingerregener generieren dynamische Belastungen, denen sie auch selber ausgesetzt sind. Bei der Parallelstützföhrung (PSG) handelt es sich um eine durch Patent geschützte Konstruktion zur Föhrung der Armatur. Damit wird eine wesentliche Verbesserung der Standfestigkeit und der Zuverlässigkeit des Systems sowie der Qualität der erzeugten Schwingungen erreicht. Die kompakte Konstruktion gewährleistet im Vergleich zu Rollenstützen eine verbesserte Steifigkeit bei erhöhter Standfestigkeit und Eigenfestigkeit.



■ Hohes zulässiges Exzentermoment

Ist die Fläche der Armatur nicht groß genug für das Aufspannen der Prüfprobe, muss die Fläche mit Hilfe einer Vorrichtung oder eines Hilfstisches vergrößert werden. Dabei ist eine hohe Quersteifigkeit der Tischföhrung von besonderer Bedeutung, da es nicht einfach ist, den Schwerpunkt der Prüfprobe exakt auf der Mittellinie des Tisches zu positionieren. Je größer die Prüfprobe, umso wichtiger die Steifigkeit. Unser PS-Föhrungssystem (Parallelstützföhrung) gewährleistet eine um 130 % höhere Steifigkeit gegenüber herkömmlichen Systemen mit vergleichbarer Leistung. Mit diesem System können Proben, deren Schwerpunkt nicht genau auf der Mittellinie des Schwingungstisches liegt, mit höherer Beschleunigung geprüft werden.



■ Kompatibilität von Quersteifigkeit und Genauigkeit der Wiedergabe der Signale

In der Regel stehen Quersteifigkeit und Genauigkeit der Signale miteinander im Widerspruch. Mit Hilfe des PS-Föhrungssystems können beide in Übereinstimmung gebracht werden. Es werden Schwingungen mit geringerer Verzerrung der Signale und höherer Wiedergabetreue erzeugt.

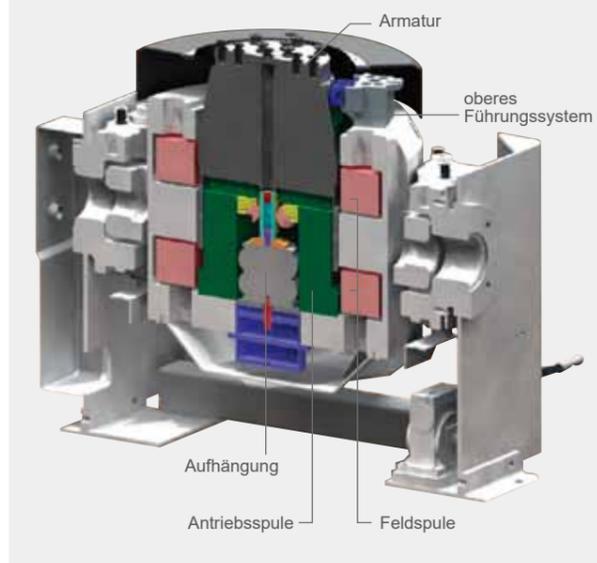
■ Verbesserung der Standfestigkeit

Gegenüber herkömmlichen Anlagen wurde eine um das Zehnfache längere Standfestigkeit des Systems bei gleichzeitiger Streckung der Wartungsintervalle erreicht.

■ Flexibilität bei der Durchführung von Prüfungen mit großen Auslenkungen

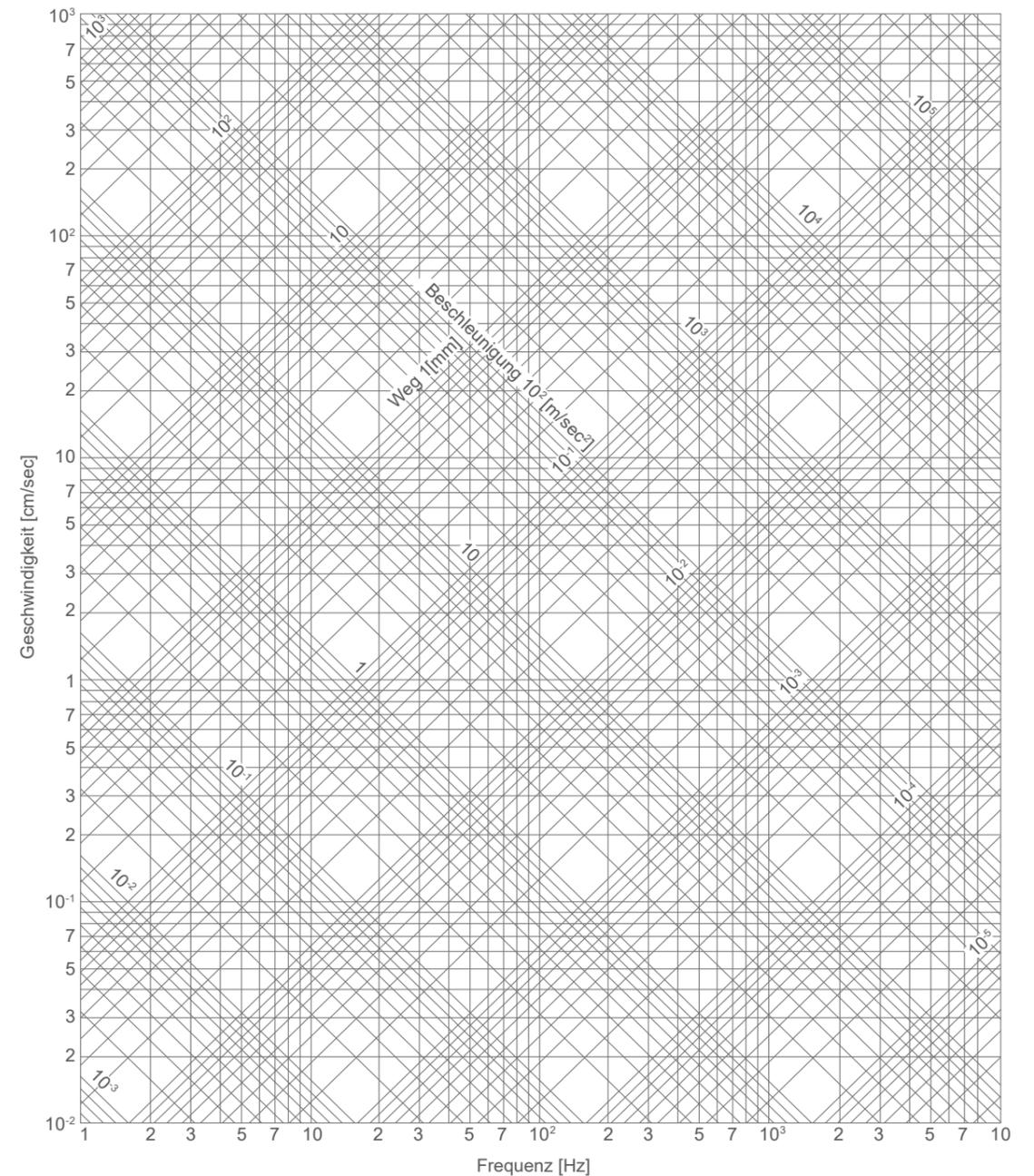
Schwingungsprüfungen mit Auslenkungen von 100 mm können mit hoher Flexibilität durchgeführt werden.

Schwingerregener als Schnittdarstellung



Umrechnungsdiagramm

Beziehungen zwischen Frequenz, Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung bei sinusförmigen Schwingungen



Weg $D=d$ [mm]

Geschwindigkeit $V = \frac{2\pi f d}{10}$ [cm/sec]

Beschleunigung $A = \frac{(2\pi f)^2}{1000} d$ [m/sec²]

f : Frequenz [Hz]

Hinweis: D, V und A als Einzelamplitude

Benutzung des Diagramms

Bsp.1) f=50 Hz, D=1 mm
V=31 cm/sec, A=99 m/sec²

Bsp.2) f=100 Hz, V=100 cm/sec
D=1.6 mm, A=630 m/sec²

Bsp.3) f=600 Hz, A=60 m/sec²
D=0.0042 mm (4.2 μm), V=1.6 cm/sec