



GESAMTÜBERSICHT SHAKERMODELLE

Prozessvereinfachung mit smarten Produktlösungen von PCB®





Photo taken in cooperation with Belgian Defense.

Einleitung

Als spezialisiertes Vertriebsunternehmen ist PCB Piezotronics GmbH seit 1992 für Sensor- und Messtechnik in Deutschland ein Begriff und zählt heute mit zu den Marktführern. Mit den Applikations-Ingenieuren in unseren Außendienstbüros, stehen dem Kunden kompetente Ansprechpartner für einen direkten Dialog zur Verfügung. Unser Ziel ist es, gemeinsam mit dem Kunden, die für seine Aufgabe und seinen Zweck bestmöglich geeigneten Produkte zu finden.

Neben einer Vielzahl von Sensoren für die verschiedensten Applikationen, verfügt PCB auch um ein umfassendes Shaker-Programm. Die Shaker-Familie von "The Modalshop" umfasst Shaker mit einer Nennkraft von 9 N bis 2.224 N. Dazu gehören u. a. auch die sogenannten Smart-Shaker der Serie K200xE01. Smart deshalb, weil diese Shaker über einen integrierten Verstärker verfügen.

Daneben stehen dem Anwender eine Vielzahl von Shakern, Verstärkern und Shaker-Kits sowie umfangreiches Zubehör zur Auswahl zur Verfügung. Die Shaker-Kits bieten den Vorteil, dass sie mit einer umfangreichen Erstausrüstung geliefert werden. Das ermöglicht es dem Nutzer das System sofort zu nutzen. Die typischen Anwendungsbereiche reichen von der Modalanalyse über die Vibrationsprüfungen von Komponenten und Baugruppen bis hin zu Tests von Cube-Satelliten.

Einleitung	3
Modellübersicht Shakerprogramm	4
Modellvergleich	5
Miniatursshaker™ mit integriertem Verstärker	6
Modalshaker-Serie	7
Dual-Purpose-Serie	8
Vibrations- und Kraftsensoren für die Modalanalyse	9
FAQs	10



WAS IST MODALANALYSE?

Die Modalanalyse umfasst die experimentelle oder numerische Charakterisierung des dynamischen Verhaltens schwingungsfähiger Systeme mit Hilfe ihrer Eigenschwingungsgrößen (modalen Parameter) Eigenfrequenz, Eigenschwingungsform, modale Masse und modale Dämpfung. Das Schwingungsverhalten in einem bestimmten Betriebszustand wird hingegen durch die Betriebschwingungsanalyse erfasst.

Ähnlich wie eine Stimmgabel mit einer bestimmten Frequenz schwingt, wenn sie angeschlagen wird, können auch andere Objekte, z. B. in der Technik, in ihre Eigenschwingungen versetzt werden. Die hierbei z. B. in Brücken, Bohrinseln, Motorgehäusen oder Flugzeugtragflächen angeregten Eigenschwingungsgrößen stellen globale Systemeigenschaften dar. Ihre Kenntnis ermöglicht eine einfache Beschreibung und Berechnung des dynamischen Systemverhaltens.

Zur Bestimmung der modalen Parameter wird die zu untersuchende Struktur (das zu untersuchende Bauteil) mit einer geeigneten Erregerquelle (Impulshammer, elektrodynamischem bzw. hydraulischem Shaker) angeregt, wobei die anregende Kraft meist mit

einem piezoelektrischen Kraftaufnehmer gemessen wird. Gleichzeitig werden die Strukturantworten mit Beschleunigungssensoren oder Laser-Vibrometern erfasst. Über schnelle Fourier-Transformation (FFT) werden dann die Frequenzgänge zwischen Anregung und Antwort (siehe dazu auch Antwortspektrum) berechnet.

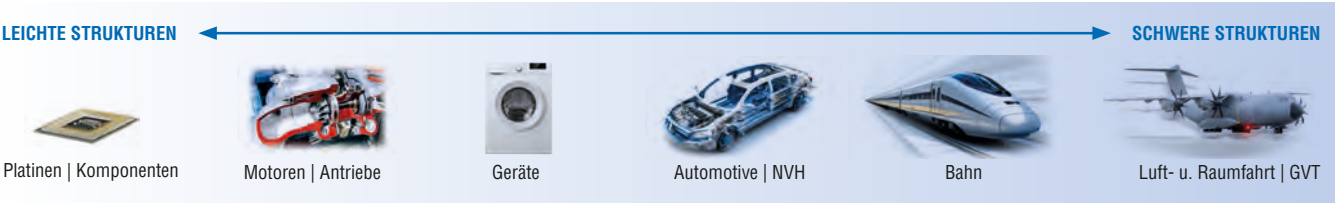
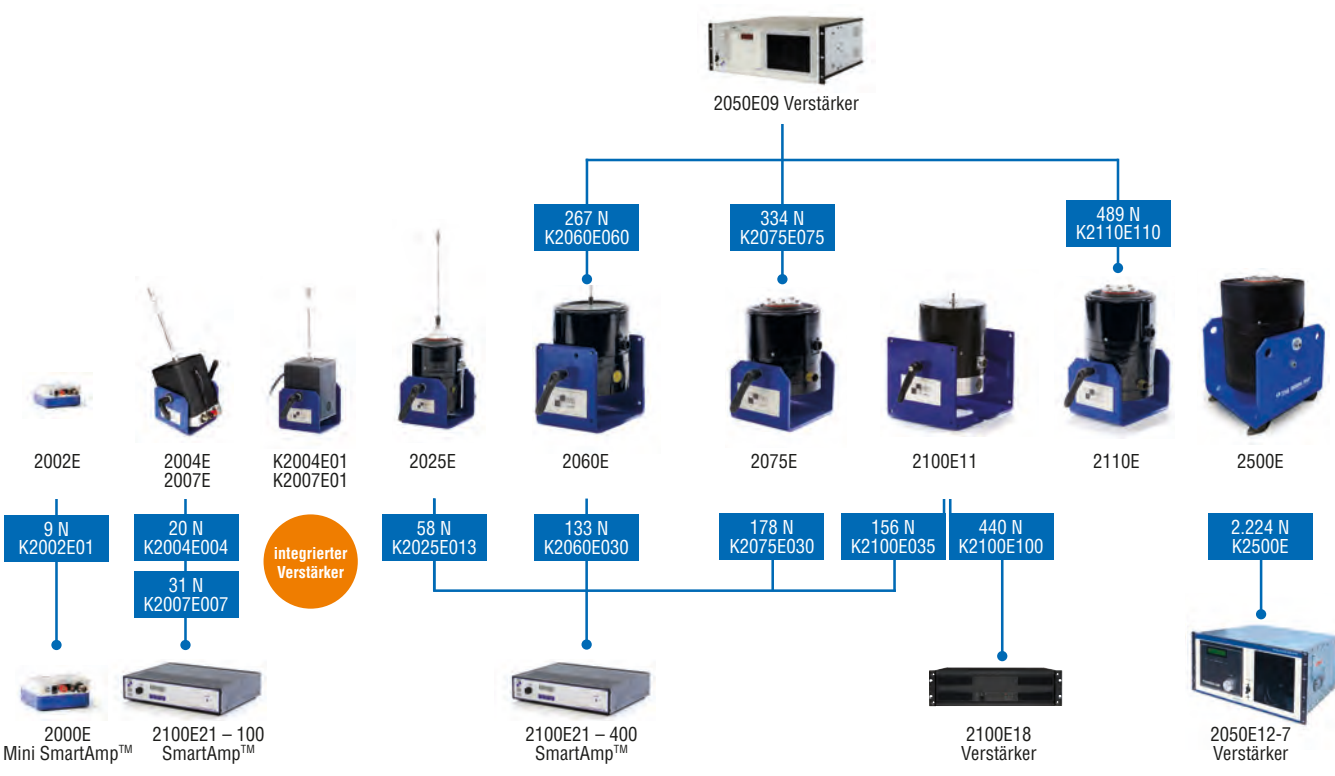
Mit gängigen Softwarepaketen lassen sich die Eigenformen des untersuchten Systems graphisch animiert darstellen. Betriebskritische oder akustisch ungünstige Eigenschwingungsformen der Struktur können dadurch entdeckt werden. Durch gezielte Änderungen der Systemeigenschaften, beispielsweise der Werkstoffdämpfung oder zusätzliche Aussteifungsmaßnahmen, können diese dahingehend verändert werden, dass kritische Frequenzbereiche vermieden bzw. mit reduzierter Amplitude durchfahren werden.

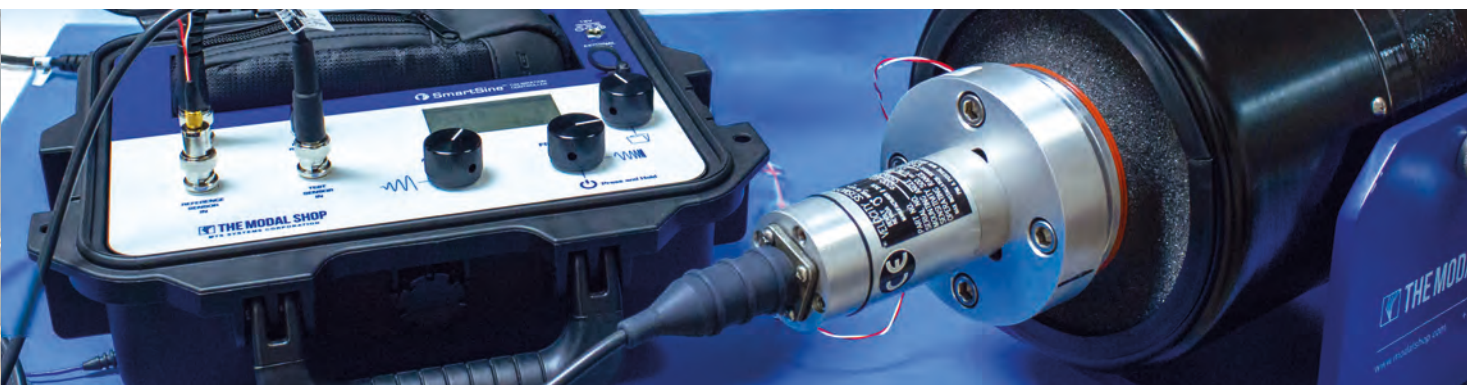
Bei der Modalanalyse handelt es sich um ein experimentelles, analytisches Verfahren der Ingenieurwissenschaften, das häufig zur Validierung von numerischen Verfahren (FEM, auch im Zusammenhang mit BEM) genutzt wird.

Quelle: Wikipedia – Modalanalyse



MODELLÜBERSICHT SHAKER-PROGRAMM





MODELLVERGLEICH

	verfügbare Modell-Kits	Max.Kraft in N pk	Max.Frequenz in Hz ⁽²⁾	Hub in mm pk-pk	Shaker-modell	Verstärker-modell
MINI	K2002E01	9	3.000	n/a	2002E	2000E
	K2004E004	20	11.000	5	2004E	2100E21-100
	K2004E01	20	11.000	5	2004E	Integriert
	K2007E007	31	9.000	13	2007E	2100E21-100
	K2007E01	31	9.000	13	2007E	Integriert
MODAL	K2025E013	58	9.000	19	2025E	2100E21-400
	K2025E013-HF	58	20.000	13	2025E-HF	2100E21-400
	K2060E030	133	6.000	36	2060E	2100E21-400
	K2060E060 ⁽¹⁾	267	6.000	36	2060E	2050E09
DUAL PURPOSE	K2075E040	178	6.500	25	2075E	2100E21-400
	K2075E075 ⁽¹⁾	334	6.500	25	2075E	2050E09
	K2100E110 ⁽¹⁾	489	6.500	25	2100E	2050E09-FS
	K2500E500 ⁽¹⁾	2.224	4.500	25	2500E	2050E12-7
HORIZONTAL SHAKER	K2075E-HT ⁽¹⁾	334	4.500	25	2075E	2050E09
	K2110E-HT ⁽¹⁾	489	4.500	25	2110E	2050E09-FS
	K2500E225-HT ⁽¹⁾	1.000	3.000	25	2500E	2050E09-FS2
	K2500E500-HT ⁽¹⁾	2.224	3.000	25	2500	2050E12-7

⁽¹⁾ Lieferung inkl. aktiver Kühleinheit

⁽²⁾ Abhängig von der Belastung

MINIATUR SmartShaker™ MIT INTEGRIERTEM VERSTÄRKER

Diese SmartShaker™ Modelle **K2004E01** und **K2007E01** sind kleine tragbare Permanentmagnet-Shaker, in deren Basis ein Leistungsverstärker integriert ist.

Durch ihre kompakte Bauweise sind diese elektrodynamischen Schwingerreger der Mini-SmartShaker Serie **K200xE01** von TMS, ideal für mechanische Prüfungen an Kleingeräten, elektronischen Bauelementen und Miniaturmotoren sowie für die Modalanalyse an kleinen und leichten Strukturen.

Mit dem integrierten Leistungsverstärker erreichen diese Shaker eine hohe Flexibilität sowohl im stationären wie auch im mobilen Einsatz. Für die Ansteuerung genügt ein einfacher Signalgenerator (geeignete Apps stehen im Internet zur Verfügung) und der Kopfhörerausgang z. B. eines Mobiltelefons.

Die Spannungsversorgung kann wahlweise über das mitgelieferte Netzteil oder sogar über das Bordnetz eines PKW's erfolgen.

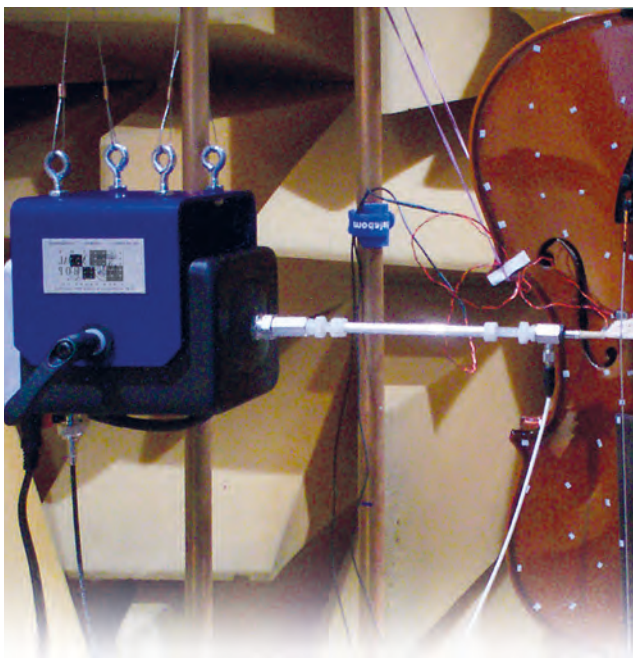
Das Modell **K2004E01** generiert Kräfte von bis zu 20 N pk und eignet sich mit seinem Frequenzbereich bis 11 kHz besonders für höherfrequente Strukturanregungen.

Für niedrigere Frequenzen bis 9 kHz bietet sich hingegen das Modell **K2007E01** an. Dieser Shaker liefert einen Hub von 13 mm und einer maximal möglichen Krafteinleitung von 31 N pk.

Beide Modelle verfügen über einen Übersteuerungsschutz, eine robuste Aufhängung aus Kohlefaserverbundstoff und eine schwenkbare Lagerung. Mit ihren Abmessungen von nur etwa 9 x 9 x 14 cm und ihrem Gewicht von knapp 3 kg lassen sich die Shaker bequem zusammen mit dem externen Netzteil und den zur Grundausstattung gehörenden Stingern im mitgelieferten Koffer transportieren.

TYPISCHE EINSATZBEREICHE

- Vibrationstests an kleinen Bauteilen oder biomedizinischen Komponenten
- Experimentellen Modalanalyse
- Forschung und Entwicklung
- Messung von mechanischen Impedanzen



MODALSHAKER-SERIE

Die Modalshaker von "The Modalshop" finden in einem weiten Feld von Applikationen ihre Anwendung. Dazu gehört die Automobil- und Luftfahrtindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Entwicklung von Windkraftanlagen und in Bereichen der Haushaltsgerätestest. Um nur einige Bereiche zu nennen.

Die Modalshaker sind ein bewährtes Hilfsmittel bei der Strukturuntersuchung. Mit Nennkräften von 9 bis 267 N eignen sich diese Shaker für eine Vielzahl von Modalanalyseanwendungen. Bei der

Durchführung experimenteller Modalanalysen und Strukturtests macht die Wahl der Anregungsfunktion und des -systems den Unterschied zwischen einer guten und einer schlechten Messung aus. Für viele Anwendungen ist ein elektrodynamisches Shaker-system die ideale Wahl.

Die Modal-Shaker-Reihe ist so konzipiert, dass sie robust und einfach einzurichten ist, um die besten Testergebnisse zu ermöglichen.



Modell 2060E



Modell 2025E



Modell 2004E | 2007E



SmartShaker™
K2004E01 | K2007E01



Modell 2002E

ZUBEHÖR FÜR MODALSHAKER

IMPEDANZ MESSKOPF (TLD)288E01

- Piezoelektrischer Impedanz-Messkopf
- Kraft: Messbereich: 222 N, Empfindlichkeit: 22 mV/N
- Vibration: Messbereich 50 g, Empfindlichkeit: 100 mV/g
- Mit TEDS-Option erhältlich



STATIV

- Gewicht: 54,5kg
- Höhe: bis 124,5 cm
- Vertikale Einstellmöglichkeiten grob und fein
- Verwendete Materialien: Aluminium, Stahl, Delrin



MODALSHAKER-STINGER

- Stinger-Materialien Nylon und Edelstahl
- Unterschiedlichen Längen verfügbar
- Praktische Anregungsverbindung zwischen Shaker und Struktur



SENSOREN ZUR MODALANALYSE

Hierzu stehen verschiedenste uniachs- und triaxiale Sensoren speziell für die Modalanalyse zur Verfügung. Sprechen Sie mit uns – wir beraten Sie gerne!



DUAL-PURPOSE-SERIE

Die elektrodynamischen Dual-Purpose-Shaker eignen sich ideal sowohl für Vibrationstests kleiner Komponenten als auch für die Modalanalyse. Die breite Produktpalette dieser leistungsstarken Shaker ermöglicht es dem Anwender Kräfte von bis zu 2,2 kN in die zu testende Struktur einzuleiten.

Die Shaker-Modelle **2025E**, **2075E**, **2110E** und **2500E** verfügen über einen Plattformtisch der ideal zur Montage von Testobjekten ist. Wie die Modalshaker verfügen sie über eine Durchgangsbohrung. Diese ermöglicht bei modalen Anwendungen zusammen

mit dem mitgelieferten Spannfutter, eine einfache Einrichtungsmöglichkeit der verwendeten Stinger.

Die Miniatur-Shaker **2004E** und **2007E** sowie die entsprechenden SmartShaker™ dieser Serie bieten eine Montagefläche mit 10-32-Gewinde, die die Befestigung von Stingern- oder kleineren Testobjekten ermöglicht.

Anwendung finden diese Shaker in der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie sowie in Bereichen der Produktuntersuchung.



Modell 2500E



Modell 2110E



Modell 2075E



Modell 2025E-HF



Modell 2004E | 2007E



SmartShaker™
K2004E01 | K2007E01

ZUBEHÖR FÜR DUAL-PURPOSE-SHAKER

HORIZONTALER SCHWINGTISCH

- Verfügbar für Shaker-Modelle 2075E, 2110E und 2500E
- Erweiterung der dynamischen Testmöglichkeiten für Objekte, die größer oder schwerer sind als das, was direkt auf den Shaker montiert werden kann



MODAL-POD

- Verfügbar für Shaker-Modell 2500E
- Modal-Pod-Testvorrichtung für Vibrationstests von Cube-Satelliten
- Zur Montage von CubeSats unterschiedlicher Größe in verschiedenen Ausrichtungen (bis zu 3U)



HEAD-EXPANDER

- Verfügbar für Shaker-Modelle 2075E, 2110E und 2500E
- Durch die größere Montagefläche ermöglichen die Expander die Anbringung von den Abmessungen her größerer Objekte
- Material: leichte Magnesiumlegierung mit Gewindelöchern (M5 x 0,8) in einem quadratischen Muster
- Messbereiche von 0,045 kN - 22,2 kN Druck- und 0,045 kN bis 2,22 kN Zug-Kraft
- Empfindlichkeit von 112,410 mV/kN bis 224,8 mV/kN



PIEZOELEKTRISCHE ALLROUND-KRAFTSENSOREN DER SERIE 208CXX



Serie 208C
ICP®-Kraftsensoren

VIBRATIONS- UND KRAFTSENSOREN FÜR DIE MODALANALYSE

Modell (TLD)288D01 – ICP®-Impedanzmesskopf



- Empfindlichkeiten
Beschleunigung 100 mV/g
Kraft 22,4 mV/N
- Messbereiche
Beschleunigung 50 g/pk
Kraft 222,4 N/pk
- Frequenzbereich 1 Hz bis 7.000 Hz
- 10-32 Anschlussbuchsen seitlich

Modell 352A24/NC – ICP®-Miniatur-Vibrationssensor



- Empfindlichkeit 100 mV/g
- Messbereich 50 g
- Frequenzbereich 1 ... 8.000 Hz
- 3-56-Anschlussbuchse seitlich
- Masseisoliert

Modelle 333B30, 333B40 und 333B50 – ICP®-Modal-Vibrationssensoren



- Empfindlichkeiten 100, 500 und 1.000 mV/g
- Messbereiche 5 g, 10 g und 50 g
- Frequenzbereich 1 ... 3.000 Hz
- 10-32 Anschlussbuchse seitlich

Modell 356A15 – Triaxialer ICP®-Vibrationssensor



- Empfindlichkeit 100 mV/g
- Messbereich 50 g
- Frequenzbereich 2 ... 5.000 Hz
- 4-Pin-Anschlussbuchse seitlich

Modell 356B18 – Triaxialer ICP®-Vibrationssensor



- Empfindlichkeit 1.000 mV/g
- Messbereich 5 g
- Frequenzbereich 0,5 ... 3.000 Hz
- 4-Pin-Anschlussbuchse seitlich

FAQ's – FRAGEN UND ANTWORTEN ZU MODAL-SHAKERN

WAS IST DER VORTEIL DER DURCHSTECKARMATUR BEI DEN PCB-MODALSHAKERN?

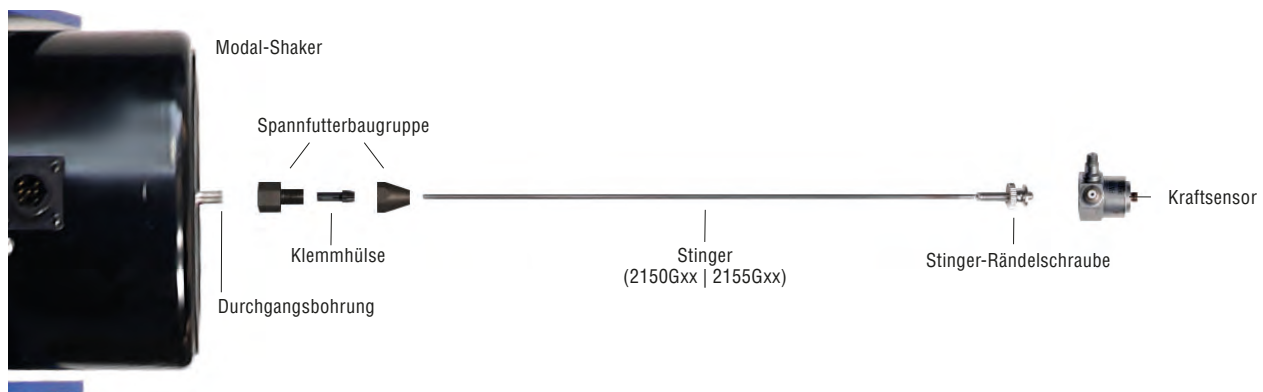
In den Anfängen der Modaltests mit Shaker-Anregung wurden kleinere Shaker verwendet, um eine schwache Anregung zu erzeugen und so eine Frequenzgangfunktion messen zu können. Üblicherweise wurde auf der Montageplattform des Shakers eine lange Stange befestigt, die als Stinger oder Federkiel bezeichnet wurde. Dieser Stinger wurde mit der Struktur verbunden, um so mit Kraft auf die Struktur auszuüben.

Wenn ein Stinger mit einer anderen Länge benötigt wurde, musste der Shaker, nachdem der neue Stinger montiert wurde, neu ausgerichtet werden. Des Weiteren war es notwendig im Vorfeld einen jeden Tests die Position des Shakers und die Länge des benötigten Stingers zu bestimmen. Insgesamt war damit der Aufbau des Shakers für einen Modaltest sehr schwierig und umständlich.

Aufgrund all dieser Probleme wurde nach einer Lösung gesucht, die die Verwendung und damit die Modaltests mit Shakern ein-

facher macht. Daraus entstand die Durchgangsbohrungsarmatur mit Spannfutter und Spannzangen (vergleichbar mit dem Einspannen eines Bohrers in einer Handbohrmaschine), die eine sehr einfache Befestigung des verwendeten Stingers und damit des Shakers am Testobjekt ermöglichte.

Ein langer Stinger kann in die Durchgangsbohrung des Ankers des Shakers geschoben, an den am Testgegenstand befestigten Kraftsensor geschraubt, richtig ausgerichtet und dann mit dem Spannfutter und der Spannzange auf die entsprechende Länge festgeklemmt werden. Die Komponenten werden unten als Explosionsansicht dargestellt und ein Video, das die tatsächliche Installation demonstriert, ist unter http://www.youtube.com/watch?v=VP_X-8TUtOU veröffentlicht. Dieses Design bietet bei Bedarf auch Platz für Stinger unterschiedlicher Länge.



WIE RICHTET MAN DEN SHAKER AM BESTEN AUS?

Beim Einrichten eines Shaker-Tests wird der Stinger normalerweise in die Durchgangslocharmatur des Shakers geschoben, wobei der Kraftsensor oder Impedanz-Messkopf am Ende des Stingers befestigt ist. Wenn die Shaker-Spannvorrichtung gelöst ist, kann der Stinger in die Armatur hinein- und herausgeschoben werden, um die gewünschte Länge zu erhalten. Sobald dies erledigt ist, wird der Kraftsensor oder der Impedanz-Messkopf mittels eines Montagepads an der Struktur befestigt. Natürlich kann der verwendete Sensor auch an die Struktur geschraubt werden, sofern dies möglich ist. Das Montagepad wird häufig mit einem Zweikomponenten-Kleber oder einem sogenannten Sekundenkleber befestigt.

Berücksichtigt werden sollte bei der Wahl des Klebers für das

Montagepad auch das Ablösen des Pads von Oberfläche des Testobjektes. Hierzu muss in jedem Fall ein geeignetes Lösungsmittel verwendet werden. Das Pad nicht einfach abbrechen, denn ggf. kann es danach nicht wiederverwendet werden.

Der Hauptpunkt besteht darin, dass der Shaker so ausgerichtet sein muss, dass der Stinger sehr einfach und ohne jegliche Schwierigkeiten oder Blockaden an dem Kraftsensor oder dem Impedanz-Messkopf befestigt werden kann.

WIE IST DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER STROMABGABE DES VERSTÄRKERS UND DER DAMIT VOM SHAKER ERZEUGTEN KRAFT?

In einigen Fällen kann es sein, dass der Strom und die Kraft proportional verlaufen. Es ist in jedem Fall wichtig, bei der Messung von Frequenzgangfunktionen immer die tatsächliche eingeleitete Kraft zu messen, die während der Prüfung auf die Struktur ausgeübt wird. Für genaue Kraftmessungen sollte ein piezoelektrischer

Kraftsensor verwendet werden, wie z. B. ein Impedanz-Messkopf PCB 288D01. Dieser Sensor hat den Vorteil, dass er sowohl die eingeleitete (ideal für modale Fahrpunktmessungen) oder ein Kraftaufnehmer der Serie PCB 208Cxx.

WARUM SOLLTE MAN EINEN STINGER VERWENDEN?

Zur Durchführung von Modaltests mit Shakern werden, wie schon mehrfach erwähnt, sogenannte Stinger verwendet. Der Grund, der Shaker sollte niemals direkt mit der Struktur verbunden werden. Eine direkte Montage des Shakers an der Struktur führt dazu, dass der Shaker erhebliche dynamische Effekte auf das Objekt ausübt, was zu einer veränderten Frequenzgangfunktion führen würde. Grundsätzlich entkoppelt der Stinger das Shaker-System von der Struktur und nur die von ihm erzeugte Kraft wirkt auf die zu testende Struktur ein. Die Stinger sind so konzipiert, dass sie in axialer Richtung starr und in seitlicher Richtung flexibel sind. Kraftsensoren messen die Axialkraft. Aufgrund der hohen Steifigkeit des Sensorgehäuses, übertragen sie dennoch die generierten Kräfte gut in die Struktur. Daher werden alle Seitenlasten, die vom Stinger über den Kraftsensor auf die Struktur übertragen werden, nicht

gemessen und tragen zu Rauschen bei der Messung bei. Ein richtig konzipierter, ausgewählter und ausgerichteter Stinger verringert oder beseitigt dieses potenzielle Problem. Die Auswirkungen der seitlichen Steifigkeit der Stinger auf das Gesamtsystem hängen stark von der Steifigkeit der zu testenden Struktur ab. Wenn die Struktur selbst steif ist, ist dies oft kein ernstes Problem. Wenn die Struktur jedoch am Befestigungspunkt des Stingers dünn und/oder flexibel ist, können diese seitlichen Belastungen einen großen Einfluss haben und eine Quelle großer Messfehler sein. In diesem Fall ist eine einfache Möglichkeit die Auswirkungen des Stingers auf das Messergebnis zu bestimmen, in dem man mehrere Testläufe durchführt. Dabei wird die Länge des Stingers um +/- 10 % variiert und die Änderung im gemessenen Frequenzgang des Antriebspunkts zu beobachten.

WIE FUNKTIONIEREN DER PIANO-WIRE-STINGER UND WIE WIRD ER VORGESpanNT?

Piano-Draht-Stinger sind eine hervorragende Möglichkeit, die Probleme mit der seitlichen Steifigkeit herkömmlicher Stinger zu umgehen. Grundsätzlich weist die "Klaviersaite" (Stahlseil) keine nennenswerte seitliche Steifigkeit auf. Sie wird mit einer Last vorgespannt, die größer ist als die aufzubringende Wechselast; eine Vorspannung vom 3- bis 4-fachen des Bereichs wird als sinnvoll angesehen. Der Pianodraht wird durch den Kern des Durchgangsloch-Shaker-Ankers geführt; Es ist wichtig, einen Shaker zu haben, der für diese Anord-

nung ausgelegt ist. Eine einfache Vorspannung kann mit Gewichten oder einem elastischen Spanngurt aufgebracht werden. Unter Belastung wird die Spannzange zum Spannen des gespannten Pianodrahtes verwendet. Solange die aufgebrachte Last während der Shaker-Anregung geringer ist als die Vorlast, ist der "Klavierdraht" eine hervorragende Möglichkeit, Kraft zu übertragen und einen Modaltest durchzuführen, wodurch die Auswirkungen der seitlichen Steifheit bei herkömmlichen Stinger eliminiert werden.

WAS IST DIE RICHTIGE MONTAGETECHNIK FÜR DEN KRAFTAUFNEHMER?

Ein wichtiger Punkt bei der Montage von Kraftsensoren ist, dass sie so konzipiert sind, dass sie die Kraft nur auf einer ihrer beiden Montageflächen messen, zum Beispiel mit der Bezeichnung TOP und BASE auf der PCB-Modellreihe 208Cxx.



Gleiches gilt auch für den Impedanz-Messkopf 288D01. Auch hier wird angegeben welche Fläche des Sensors auf die Struktur montiert werden muss. Bitte beachten Sie in jedem Fall die mit allen PCB-Sensoren mitgelieferte Bedienungsanleitung. Ein weiterer wichtiger Aspekt besteht darin, dass der Kraftsensor bzw. Impedanz-Messkopf immer direkt an der Teststruktur, zwischen dieser und der Stinger- und Shaker-Baugruppe, montiert werden sollte. Wird der Sensor auf der Erregerseite montiert, geht die Dynamik des Stingers in die Messfunktion ein.

FAQ's – FRAGEN UND ANTWORTEN ZU MODAL-SHAKERN

WELCHE AMPLITUDE UND FREQUENZ SIND GEFORDERT?

Überprüfen Sie die Amplituden- und Frequenzanforderungen für Ihre Anwendung. Rechnen Sie die geforderte Amplitude in Schwingbeschleunigung um, sofern Sie die Angabe als Schwinggeschwindigkeit oder Schwingweg vorliegen haben. Verwenden Sie als Einheit g-Spitze für sinusförmige Signale

oder g-RMS für Random-Vibration-Untersuchungen. Liegt dieser Wert unterhalb des in der Nutzlastkurve abgelesenen Wertes für die geforderte Nutzlast und Frequenz, so kann der betreffende Shaker verwendet werden.

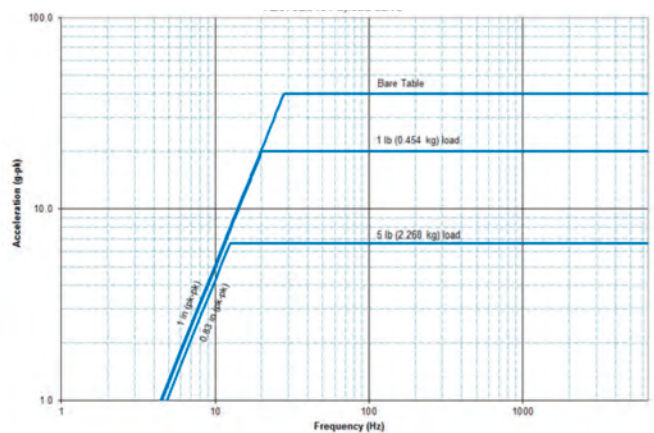
PRÜFEN SIE DEN ERFORDERLICHEN SCHWINGWEG

Prüfen Sie, ob der Hub des Shakers für den geforderten Schwingweg ausreicht. Im Nutzlastdiagramm bestimmt der Hub des Shakers den Anstiegsabschnitt der Kennlinie im niederfrequenten Bereich. Berechnen Sie für die Prüfung den Spitze-Spitze-Wert des Schwingwegs, indem Sie die Zahlenwerte (ohne Einheiten, signalisiert durch die geschweiften Klammern) der Beschleunigung a in g und der Frequenz f in Hz in die folgende Formel einsetzen:

$$d = 19,56 \text{ in} \cdot \{a\} : \{f\}^2 \text{ bzw. } d = 496,82 \text{ mm} \cdot \{a\} : \{f\}^2$$

Weitere Payloadkurven zu den einzelnen Shakermodellen stehen auf der TMS-Homepage zur Verfügung.

www.modalshop.com



Beispiel einer Nutzlastkurve für den Schwingerreger Modell 2075

WARUM KANN EIN SHAKER UNTERSCHIEDLICHE MAXIMALKRÄFTE HABEN?

Shaker haben eigentlich nur einen maximalen Kraftwert die sie in eine Struktur einleiten können. Shaker-Kits (d. h. der elektrodynamische Shaker zusammen mit einem bestimmten Leistungsverstärker sowie ggf. einem Kühlaggregat) ermöglichen es dem Anwender jedoch unterschiedliche Kräfte in eine Struktur einzuleiten. Beispielsweise ist das Shaker-Kit K2075E030 mit dem Shaker 2075E für eine maximale Krafteinleitung von 178 N pk spezifiziert. Um diese spezifizierten Kraftwert zu erreichen, muss der Shaker (das gilt für alle elektrodynamischen Shaker) von einem Verstärker mit ausreichender Leistung angetrieben werden, in diesem Fall mit dem Leistungsverstärker 2100E21, der auf 400 W ausgelegt ist. Damit der Shaker nicht beschädigt, muss

die Wärme die durch den durch die Spulen fließenden Strom erzeugt wird, abgeleitet werden. Hier reicht zunächst die normale Konvektionskühlung aus.

Das gleiche Shaker-Modell wird aber auch in dem Shaker-Kits K2075E075 genutzt. Das Kit ist mit dem Leistungsverstärker 2050E09 und dem Shaker 2075E für eine Krafteinleitung von bis zu 334 N pk spezifiziert. In diesem Fall reicht die Konvektionskühlung nicht mehr aus, der Shaker würde beschädigt. Hier ist eine aktive Kühlung notwendig. Ein Kühlsystem in Form eines passenden Lüftungsgebläses, welches über eine Schlauchverbindung an den Shaker angeschlossen wird, ist Bestandteil des Kits.



MUSS DER STINGER VON DER STRUKTUR ENTFERNT WERDEN, WENN NICHT GETESTET WIRD?

Wenn ein Modaltest mit Shaker-Anregung durchgeführt wird, sollten die Shaker von der Struktur getrennt werden, wenn keine Daten erfasst werden, sei es zwischen verschiedenen Testkonfigurationen oder während Inaktivitätsphasen, beispielsweise während einer Mittagspause oder über Nacht. Dafür gibt es viele Gründe.

Während der Einrichtung des Tests kann es immer zu Verschiebungen des Testobjekts kommen. Normalerweise werden weiche Stützsysteme verwendet, um während des Tests gute Randbedingungen zu schaffen. Diese können z. B. mit Luft gefüllt sein. Verliert ein solches System Luft, wird die Struktur verschoben. Darüber hinaus können sich die oft verwendeten elastischen Gummiseile (Bungees) mit der Zeit längen. Natürlich kommt es im Laufe einer Testreihe zu Neukonfigurationen des Testobjekts.

Beispielsweise kann der Benzintank eines Fahrzeugs in einem Test leer und in der nächsten Testreihe gefüllt sein. Das sind nur einige Beispiele, die zeigen sollen, dass es oft auch durch Kleinigkeiten zwischen zwei Testreihen, immer wieder zu einer Verschiebung des Testobjekts kommen kann. Bleibt der Shaker zwischen den Tests mit der Struktur verbunden, kann der Shaker im schlimmsten Fall beschädigt werden. Darüber hinaus kann es dann schwierig werden, den Stinger von der Struktur zu trennen.

Wenn der Shaker zwischen den Testzyklen getrennt wird, ist es offensichtlich, ob eine Fehlausrichtung aufgetreten ist, wenn die Shaker für die nächste Testreihe wieder angebracht werden. Hat es eine Verschiebung des Shakers gegeben, so muss der Shaker neu ausgerichtet werden, um eine ordnungsgemäße Befestigung am System zu gewährleisten.

WAS SIND DIE HÄUFIGSTEN PRAKTISCHEN FEHLER BEI DER EINRICHTUNG/DEM BETRIEB EINES SHAKERS?

Normalerweise wird ein Shaker-Ständer wie der Lateral Excitation Stand Modell 2050A oder ein gleichwertiger Ständer verwendet. Der Shaker muss an vier verschiedenen Punkten gestützt werden, um eine entsprechende horizontale Bewegung des Shakers zu ermöglichen (wie gezeigt).

Bei sehr niedrigen Frequenzen (unterhalb des Bereichs von 5 bis 10 Hz) wird ein Trägheitsgewicht hinzugefügt, um die Leistung des Shaker-Systems zu verbessern. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um schwere Metallblöcke, die auf die Zapfenbasis geschraubt werden und zusätzliche Trägheitsmasse bieten, gegen die der Erreger drücken kann, während er Kraft auf die Teststruktur ausübt.

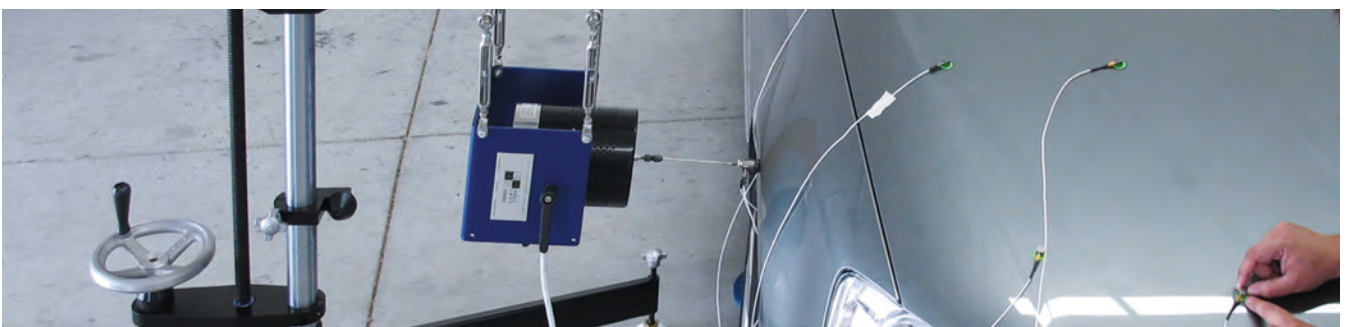
Eine Fehlausrichtung des Stingers ist bei Modaltests häufig ein erhebliches Problem. Bei einer großen Fehlausrichtung kann die Wicklungen der Shaker-Ankerspule durch Kratzen beschädigt werden.

Häufiger führt eine Fehlausrichtung aber zu Verzerrungen und qualitativ schlechten Ergebnissen und damit zu untypischen Darstellungen des tatsächlichen Verhaltens des Systems.

Auch kann es passieren, dass durch die schlechte Ausrichtung des Shakers die gewonnenen Messwerte verfälscht werden.

Diese Art der „Messwert-Verunreinigung“ wird oft genug übersehen, da andere Probleme mit vielen Inkonsistenzen im Teststruktursystem zusammenhängen, wie z. B. Rauschen und Nichtlinearität.

Das Hauptproblem bei einer Fehlausrichtung des Shakers besteht darin, dass der Kraftaufnehmer oder Impedanzkopf Querlasten überträgt, die nicht senkrecht zur Sensorachse, zur Oberfläche ausgerichtet sind. Dies führt zu einer Verzerrung der tatsächlich gemessenen Kraft, die auf die Struktur ausgeübt wird. Es ist sehr wichtig, die bestmögliche Messung durchzuführen und die Ausrichtung ist ein wichtiger Teil dieses Prozesses.



FAQ's – FRAGEN UND ANTWORTEN ZU SMART-SHAKERN

WAS IST EIN SMARTSHAKER

Der Mini SmartShaker mit integriertem Leistungsverstärker ist ein elektrodynamischer Shaker, der für allgemeine Schwingungstests kleiner Komponenten und Baugruppen bis zu 11 kHz

entwickelt wurde. Er kann auch als Anregung für modale Tests kleiner Strukturen verwendet werden. Durch den integrierten Leistungsverstärker fällt ein zusätzlicher Verstärker weg.

WAS SIND DIE VORTEILE EINES SMARTSHAKERS?

Hier handelt es sich um ein All-In-One Gerät. Durch die kompakte Bauweise, bei der der Shaker und der Verstärker eine Einheit bilden, ist ein separater und sperriger Verstärker überflüssig.

Des Weiteren ist der Shaker ideal für Anwendungen wie Produktionsscreening, Zuverlässigkeitstests und die technische Bewertung von Testartikeln unter kontrollierten Vibrationsbedingungen.

WARUM WURDEN SMARTSHAKER ENTWICKELT?

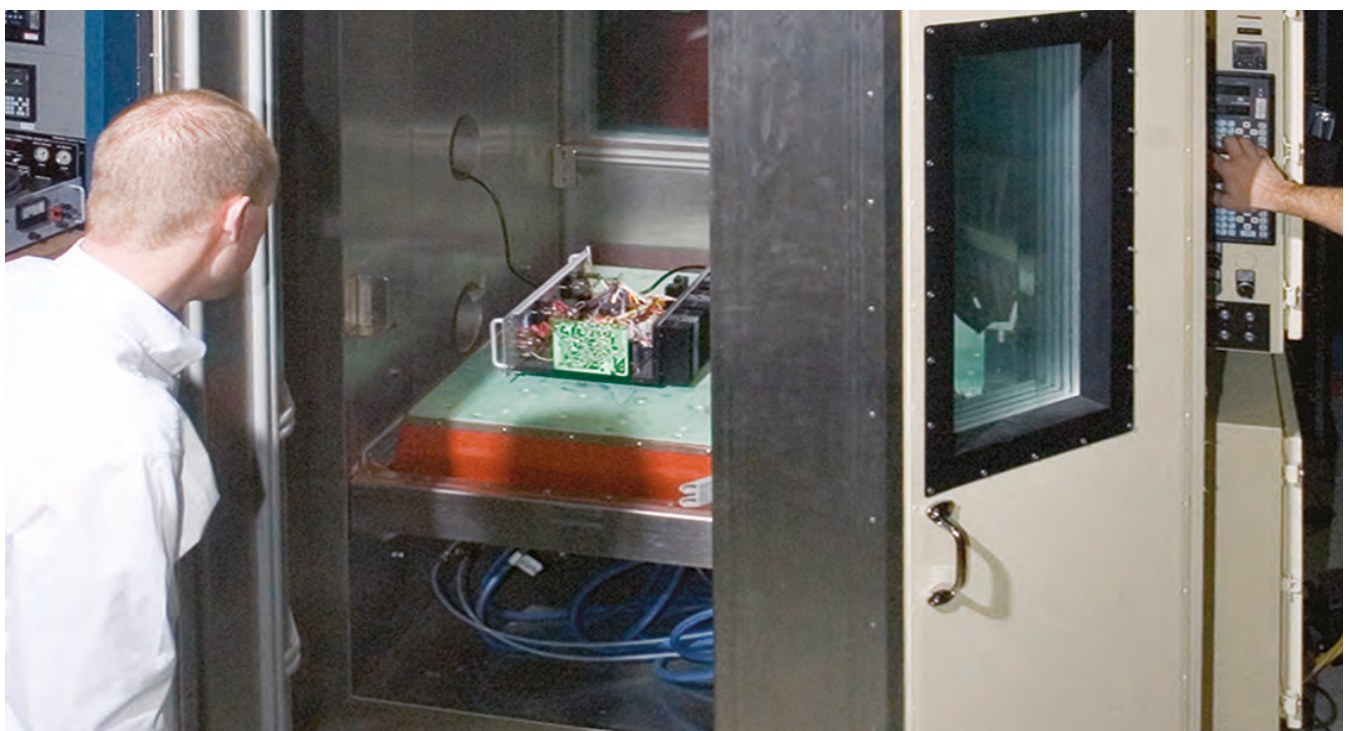
Dieser Shakertyp wurde entwickelt, um dem Anwender ein einfaches und leicht zu bedienendes Werkzeug zur Verfügung zu stellen. Egal, ob Sie ein Gerät testen wollen, ein Experiment durchführen oder ein Forschungsprojekt anstreben, der SmartShaker ist ein

leicht zu handhabender Shaker der z. B. mit einem Mobiltelefon als Signalgenerator verbunden wird. Durch die Verwendung einer geeigneten App (die nicht zum Lieferumfang gehört), erhält der Anwender funktionales Komplettsystem.

WO WERDEN SMARTSHAKER EINGESETZT?

Durch die einfache Handhabung des Shakers, findet der Shaker Einsatzmöglichkeiten in vielen Bereichen, wie beispielsweise

- im Automotivbereich
- in der Forschung und Entwicklung
- in der Medizin
- an Universitäten
- für Tests an Konsumgütern
- in verschiedensten industriellen Applikationen



WAS MUSS ICH TUN, UM MIT DEM SMARTSHAKER ARBEITEN ZU KÖNNEN?

Nachfolgend eine kurze Anleitung:

- Schließen Sie eine Signalquelle an den Shaker-Eingang an
- Schließen Sie das Gleichstromnetzteil an den Shaker an.
Prüfen Sie, ob die grüne LED blinkt
- Wählen Sie den Verstärkungspegel
- Wählen Sie 1 kHz (Kalibrierungston)
- Schalten Sie den Shaker durch einmaliges Drücken des Knopfs stumm, prüfen Sie, ob die grüne LED durchgehend leuchtet

- Durch verschiedene Frequenzen wechseln
- Passen Sie den Signalpegel nach Bedarf an

 Lesen Sie auf jeden Fall vor der ersten Inbetriebnahme das Handbuch!

STOPPT DER SHAKER BEI ÜBERLASTUNG ODER ZU HOHER TEMPERATUR?

Ja. Außerdem leuchtet eine LED rot, um die Abschaltung anzuzeigen.

WOMIT KANN EIN SMARTSHAKER ANGESTEUERT WERDEN?

- Mobiltelefon oder Tablet *
- Digitale oder analoge Funktionsgeneratoren
- FFT Analysator mit Ausgang
- PC Sound Karte **

* Die dafür notwendige App ist nicht Bestandteil des Lieferumfanges

** Die dafür notwendige Software ist nicht Bestandteile des Lieferumfanges

WIE HOCH IST DIE MAXIMALE PAYLOAD EINES SMARTSHAKERS?

Die Payload (Nutzlast) bezieht sich auf das Gesamtgewicht, das sich aus der Masse des Prüflings plus der verwendeten Prüfvorrichtung ergibt. Eine Nutzlast von 0,91 kg für diese Shaker-Serie ist ein allgemeiner Richtwert. Bei vertikalem Betrieb beträgt der Hub des Shakers 12,7 mm pk-pk oder $\pm 6,35$ mm. Jede Last, die

Sie auf den Shaker legen, verschiebt die Armatur (das bewegliche Shakerteil) nach unten. Eine statische Auslenkung der Armatur ist zulässig, solange die Summe aus der erforderlichen Prüfverschiebung und der statischen Auslenkung weniger als 6,35 mm von der Neutralposition beträgt.

WOZU DIENT DER SCHAUMSTOFF OBEN AUF DEM SHAKER?

Der Schaumstoff soll das Innere des Shakers schützen, wie ein Staubfilter, und gleichzeitig Luft durchlassen, um eine natürliche

Kühlung zu gewährleisten.

WIE SIEHT DIE ALLGEMEINE WARTUNG DES SMARTSHAKERS AUS?

Der SmartShaker ist so konzipiert, dass er über lange Zeiträume störungsfrei funktioniert, wenn er innerhalb der spezifizierten Leistungsgrenzen und in einer Umgebung betrieben wird, die frei von übermäßigem Staub, Metallpartikeln und anderen potenziell schädlichen Materialien ist.

Die einzige Wartung, die routinemäßig durchgeführt werden sollte, abgesehen vom Austausch von beschädigten oder defekten Komponenten, ist die Reinigung des Luftfilters. Bei Verdacht auf Betriebsprobleme kann eine Inspektion der beweglichen Elemente des Shakers (Flexturen, Anker und Verkabelung) durchgeführt werden.

