

KISTLER

measure. analyze. innovate.



Hochdruck-Kalibrierung

Kalibrierung und dynamische Prüfung von Drucksensoren
auf Grundlage internationaler Standards

Kalibrierung und dynamische Prüfung von Drucksensoren für ballistische Anwendungen

Die inhärenten anspruchsvollen Bedingungen bei ballistischen Prüfungen setzen eine strikte Qualitätskontrolle und Wartung aller Messgeräte voraus. Besonders die Drucksensoren erfordern eine regelmässige Wartung und Nachkalibrierung.

Kalibrierung piezoelektrischer Drucksensoren

Für die Kalibrierung von Drucksensoren gibt es zahlreiche Richtlinien und Standards, aber nur wenige Richtlinien enthalten quasistatische Verfahren für piezoelektrische Messgeräte. Die ISA-S37.10 fordert beispielsweise ein quasistatisches Kalibrierungsverfahren, bei dem 'die Quelle des Kalibrierungsdrucks entweder kontinuierlich variabel im Bereich des Instruments ist, oder in einzelnen Schritten bereitgestellt werden kann, solange der Druck nach jedem Schritt zurück auf null gesenkt wird.' Dies bildet die Grundlage dreier quasistatischer Verfahren für die Kalibrierung und Prüfung von piezoelektrischen Drucksensoren:

- Schrittweise Kalibrierung
 - zum Kalibrieren von Arbeitsnormalen
- Kontinuierliche Kalibrierung
 - Standardverfahren für die tägliche Kalibrierung von Prüfsensoren
- Dynamische Prüfung
 - zum Bestätigen der Funktionalität eines Prüfsensors unter hoch dynamischer Druckbeanspruchung

Definitionen der wesentlichen Kalibrierungsausdrücke

Schrittweise Kalibrierung

Druck wird in einzelnen Schritten angewendet. Bei jedem Schritt lässt man den angewendeten Druck sich stabilisieren, bevor er dann schnell auf atmosphärische Bedingungen fällt. Der Ladungsausgang eines Prüfling (Unit Under Test, UUT) wird direkt vor und nach dem Druckabfall gemessen, sodass die Änderung des Ladungsausgangs aufgrund der Druckänderung aufgezeichnet wird.

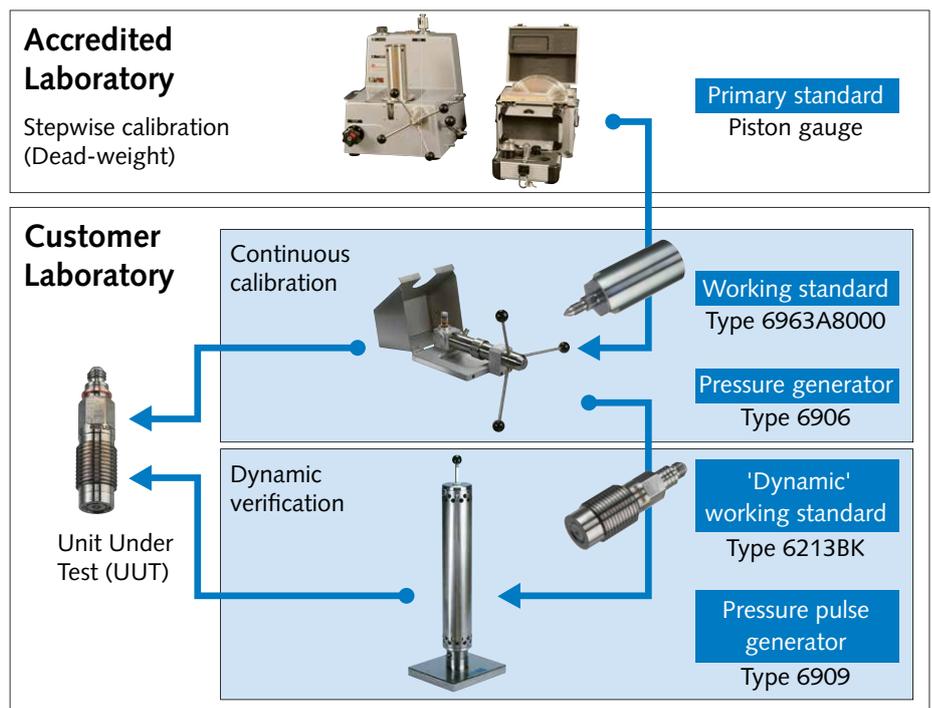
Eine schrittweise Kalibrierung wird normalerweise mit einer Druckwaage durchgeführt (auch bekannt als Kolbendruckmesser), die bekannte nachprüfbare Gewichte für die Ausübung von Druck auf ein Fluid verwendet. Druckwaagen sind primäre Normale, d. h. der von einer Druckwaage gemessene Druck wird von anderen grundlegenden Kenngrößen abgeleitet: Länge, Masse und Zeit. Nationale Eichinstitute und zugelassene Labors verwenden

zur Kalibrierung von Drucknormalen (oder Referenzsensoren) normalerweise hochwertige Druckwaagen.

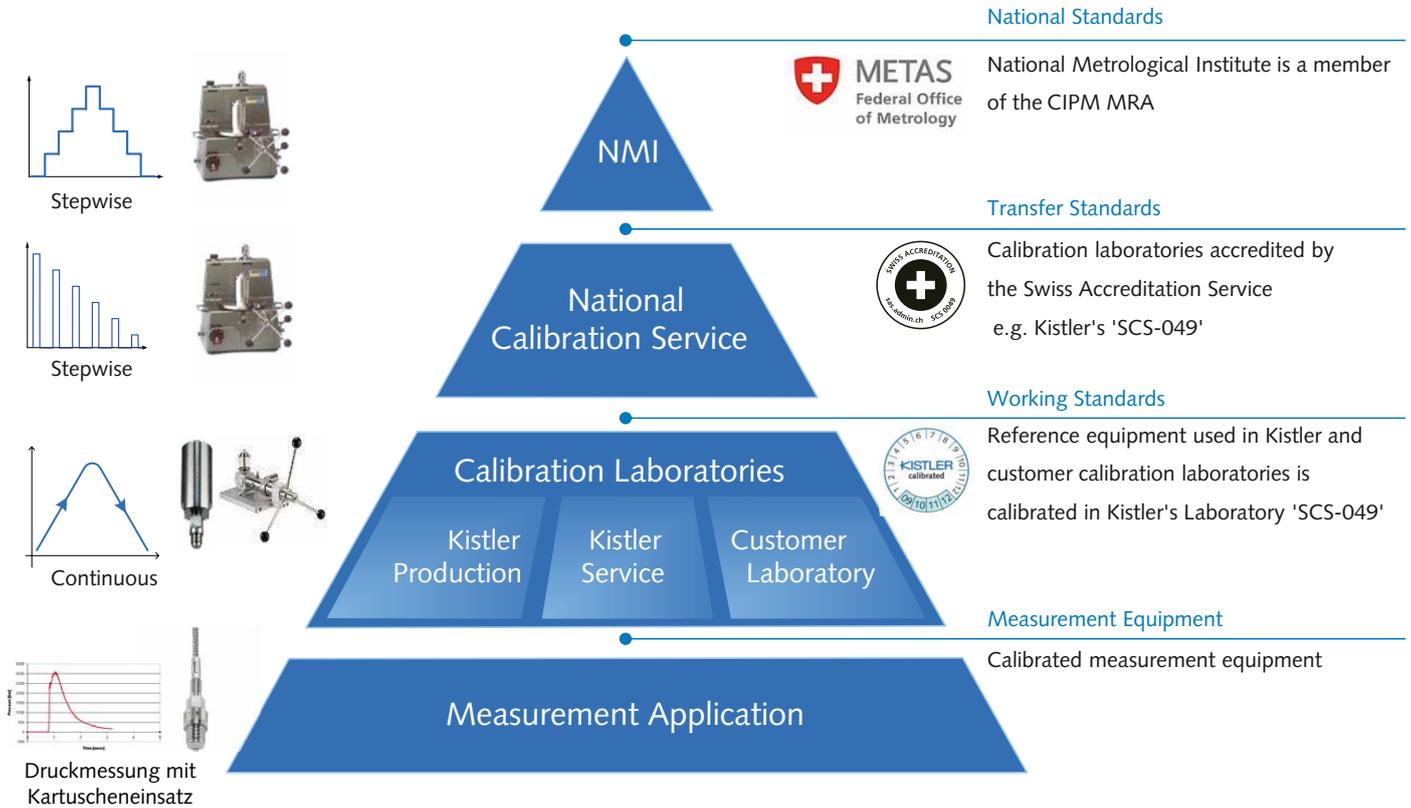
Kontinuierliche Kalibrierung

Piezoelektrische Drucksensoren werden üblicherweise unter Verwendung eines so genannten kontinuierlichen Kalibrierungsverfahrens kalibriert, d. h. das Ausgangssignal des Prüflings wird mit dem eines Referenzsensors verglichen, während der Druck kontinuierlich von null auf Skalenendwert erhöht und anschließend wieder auf null gesenkt wird. Die Empfindlichkeit des Prüfungssensors wird normalerweise definiert als die Steigung einer 'besten Geraden' durch die Kalibrierungskurve (Prüfungssystemausgang im Vergleich zum Referenzsystemausgang).

Eine kontinuierliche Kalibrierung wird normalerweise als das Standardverfahren für die Kalibrierung piezoelektrischer Hochdrucksensoren empfohlen und ist als solches allgemein anerkannt.



Kalibrierungsmethoden und Rückverfolgbarkeit



Dynamische Prüfung

Die Funktionalität eines Sensors wird unter dynamischen Lastbedingungen geprüft, ähnlich der Bedingungen bei internen ballistischen Prüfungen. Der Ausgang des Prüflings wird mit dem Ausgang eines Referenzsensors verglichen, während schnell Druck angewendet und wieder weggenommen wird. Bei einer dynamischen Prüfung werden normalerweise Druckimpulse bis zu 6 000 bar mit Gradienten über $3 \cdot 10^6$ bar/s verwendet.

Eine dynamische Prüfung wird durchgeführt, um die Funktionalität eines Sensors zu bestätigen; sie wird zusätzlich (und nicht als Ersatz) zu einer kontinuierlichen Kalibrierung durchgeführt.

Kalibrierungsvoraussetzungen

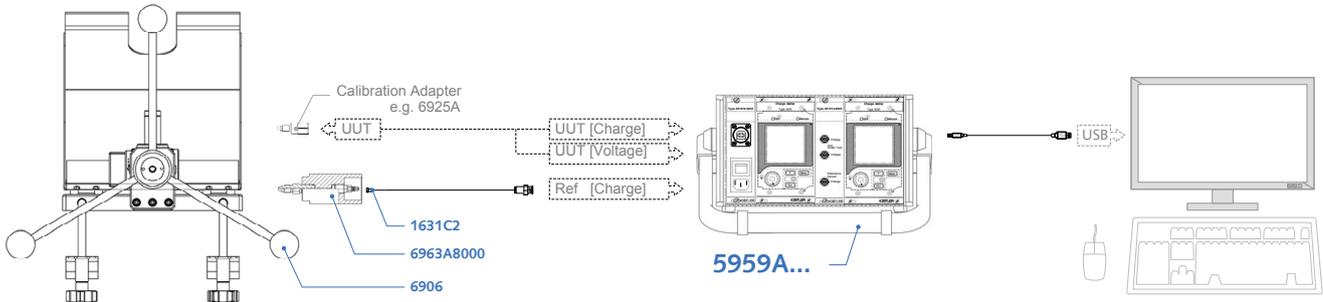
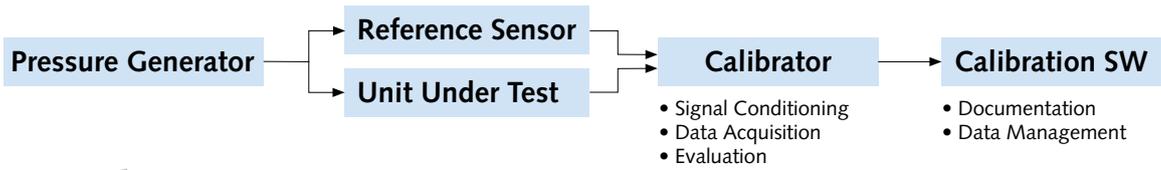
Das Kalibriergerät muss in einem guten Betriebszustand gehalten werden. Generell wird empfohlen, Arbeitsnormale und Verstärker, die in Eichlabors verwendet werden, mindestens einmal pro Jahr zu kalibrieren.

Ebenso muss die Isolierung der stark isolierten Verbindungskabel regelmässig kontrolliert werden. Kabel mit einem Isolationswider-

stand von weniger als $10^{13} \Omega$ sollten nicht mehr für eine Kalibrierung verwendet werden.

- Der Sensor-Isolationswiderstand sollte grösser als $10^{12} \Omega$ sein
- Immer das richtige Montage-Anzugsmoment verwenden, das für jeden Sensortyp angegeben wird
- Beim Montieren und Abnehmen von Sensoren oder Adaptern die richtigen Werkzeuge verwenden
- Immer die richtigen Kalibrierungsadapter verwenden

Typische Systemkonfiguration für kontinuierliche Kalibrierung

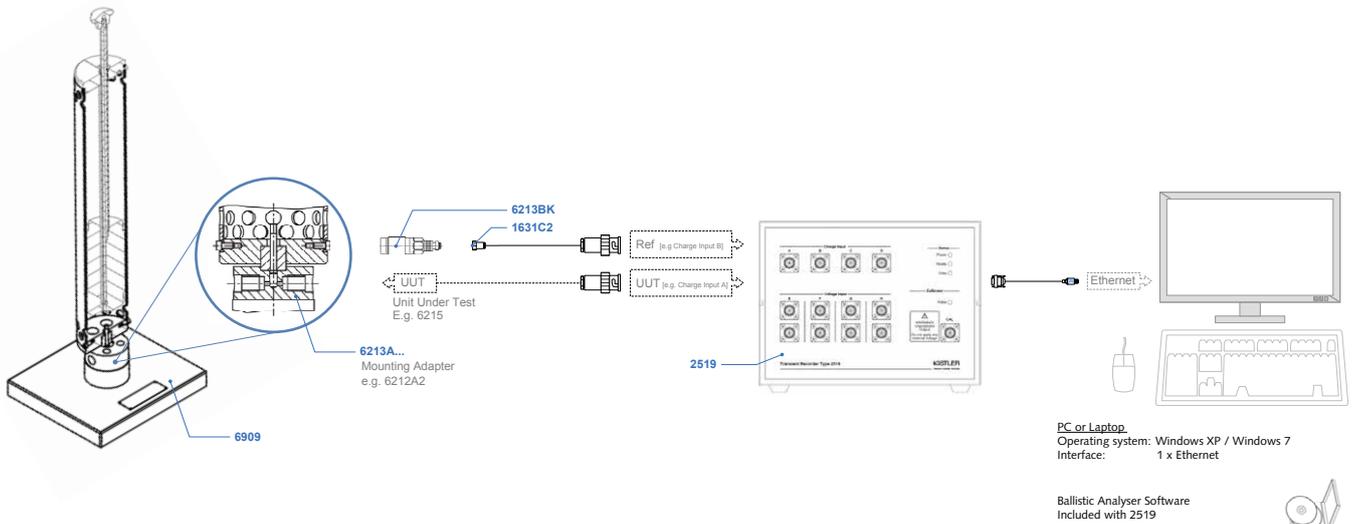
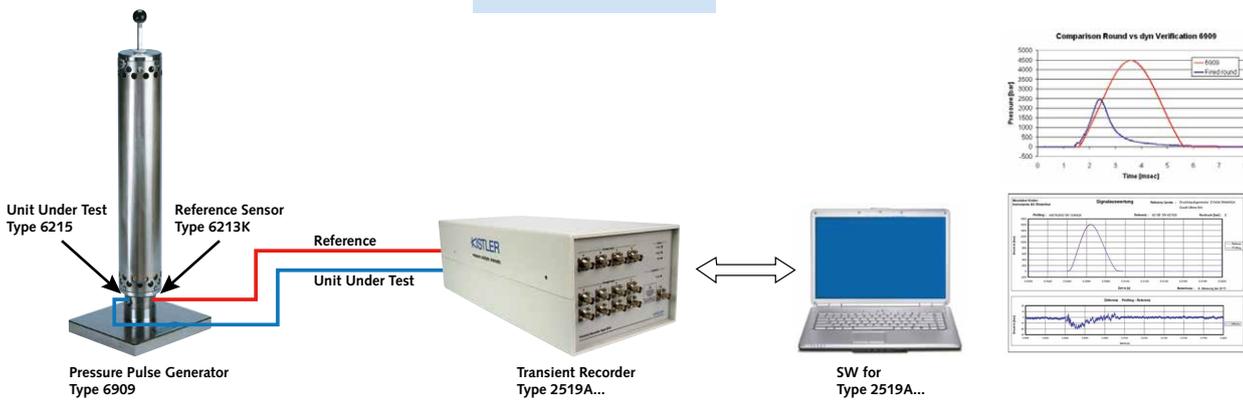
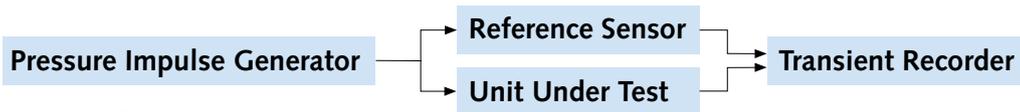


PC or Laptop
 Operating system: Windows XP / Windows 7
 Serial Interface: 1 x USB

Calibrate™ Software
 Included with 5959A...



Typische Systemkonfiguration für dynamische Prüfung



System für die kontinuierliche Kalibrierung piezoelektrischer Drucksensoren

Kalibrierungsverfahren	Kontinuierliche Kalibrierung, Vergleich mit einem Referenzsensor	
Nennbereich	bar	8 000
Grösster Kalibrierbereich	bar	0 ... 8 000
Kleinster Kalibrierbereich	bar	0 ... 800

Systemkomponenten

Typ-Nr.	Beschreibung
6906	Hydraulischer Druckgenerator (8 000 bar)
6963A8000	Referenzdrucksensor (8 000 bar)
5959A...	Kalibrator (mit Kistler Softwarepaket Calibrate™)
1631C2	Verbindungskabel, stark isoliert
Sensorspezifische Kalibrierungsadapter je nach Prüfling(en), z. B.	
6925	Kalibrierungsadapter: M10x1 – M10x1, für Sensortypen 6215... , 6229...
6923A	Kalibrierungsadapter: M10x1 – M12x1, für Sensortypen 6213... , 6217...
6921	Kalibrierungsadapter: M10x1 – M10x1, für Sensortypen 6201... , 6211...
69xx	Für sonstige lieferbare Kalibrierungsadapter wenden Sie sich bitte an Kistler.

System für die dynamische Prüfung piezoelektrischer Drucksensoren

Prüfverfahren	Druckimpulsprüfung, Vergleich mit einem Referenzsensor	
Nennbereich	bar	5 000
Grösste Spitzenamplitude	bar	0 ... 5 000
Kleinste Spitzenamplitude	bar	0 ... 800

Systemkomponenten

Typ-Nr.	Beschreibung
6909	Hydraulischer Druckimpulsgenerator
6213BK	Referenzdrucksensor für Druckimpulsgenerator Typ 6909
2519	Transientenrekorder
1631C2	Verbindungskabel, einadrig, stark isoliert
Sensorspezifische Adapter je nach Prüfling(en), z. B.	
6931A3	Adapter für dynamische Prüfung: M12x1 – M12x1, für Sensortypen 6213... , 6217...
6931A2	Adapter für dynamische Prüfung: M12x1 – M10x1, für Sensortypen 6215... , 6229...
6931A1	Adapter für dynamische Prüfung: M12x1 – M10x1, für Sensortypen 6201... , 6211...
69xx	Für sonstige lieferbare Kalibrierungsadapter wenden Sie sich bitte an Kistler.

Überprüfungs- und Nachkalibrierungsintervalle

Für interne ballistische Druckmessungen wird eine regelmässige Überprüfung der Sensorleistung und eine anschliessende Nachkalibrierung empfohlen.

Das Kalibrierungsintervall hängt jedoch von den jeweiligen Prüfbedingungen und den anwendbaren Standards ab.

Die nachfolgende Tabelle enthält die offiziellen NATO-Richtlinien (Stand Januar 2013) und die allgemeinen Empfehlungen von Kistler zu Überprüfungs- und Nachkalibrierungsintervallen, sowie Kriterien für das Ende der betrieblichen Lebenszeit.

Kriterien	NATO (EPVAT-Richtlinien, Abschnitt 12.5)	Kistler (Typ 6215)	Allgemeine Empfehlung
Überprüfung erforderlich	Gemessene S vor und nach der 'Prüfung', mindestens nach 300 Zyklen (Überprüfung)	Spitzendruck <5 000 bar alle 1 000 Zyklen Spitzendruck <5 000 bar alle 200 Zyklen	Vor jeder Messkampagne (Überprüfung mit dem erwarteten Spitzendruck)
Nachkalibrierung erforderlich	Komplette Kalibrierung (S, L) mindestens alle 1 000 Zyklen	$ \Delta p _{\text{bei Spitze}} > 2,0 \%$ (festgelegt bei dynamischer Prüfung)	$ \Delta p _{\text{bei Spitze}} > 2,0 \%$ (festgelegt bei dynamischer Prüfung) oder Diskontinuitäten in Druckkurve; oder mindestens alle 300 Zyklen oder ein Mal pro Jahr
Ende der betrieblichen Lebenszeit	$ S_{\text{aktuell}} - S_{\text{vorher}} > 2 \%$ oder $ S_{\text{aktuell}} - S_{\text{original}} > 10 \%$ oder $ L_{\text{aktuell}} - S_{\text{vorher}} > 1 \%$	$ L > 1,5 \%$	$ S_{\text{aktuell}} - S_{\text{original}} > 5 \%$ oder $ L > 1,5 \%$

L = Nichtlinearität S = Empfindlichkeit

Übersicht über Kalibrierungsprodukte

Druckgeneratoren

Druckgenerator



Technische Daten	Typ	6906
Anzahl Sensoren		2
Sensoranschluss ¹⁾		M10x1
Druckbereich	bar	0 ... 10 000
Temperaturbereich	°C	Raumtemperatur
Kalibrierungsverfahren		kontinuierlich
Druckmedium		Mineralöl

¹⁾ Montageadapter lieferbar für die meisten Kistler Drucksensoren

Druckimpulsgenerator



Technische Daten	Typ	6909
Anzahl Sensoren		2
Sensoranschluss ¹⁾		sensorspezifisch
Druckbereich	bar	0 ... 5 000
Temperaturbereich	°C	Raumtemperatur
Kalibrierungsverfahren		Impuls
Druckmedium		Mineralöl

¹⁾ Montageadapter lieferbar für die meisten Kistler Drucksensoren

Referenzsensoren

Hochdruck-Referenzsensor



Technische Daten	Typ	6963A8000
Druckbereich	bar	8 000
Überlast	bar	10 000
Linearität	% FSO	0,3
Empfindlichkeit	pC/bar	1,2
Kalibrierung		SCS-zugelassen
Anschluss		KIAG 10-32 neg.
Gewinde		M10x1
Abmessungen	mm	D = 14, L = 115

Kalibratoren

Kalibrierungseinheit



Technische Daten		Typ	5959A...
Eingangssignale	Referenz		Ladung
	Prüfling (UUT)		Ladung oder Spannung
Eingangsbereich	Referenz	pC	±2 ... 2 200 000
	Prüfling (UUT)	pC	±2 ... 2 200 000
		V	±0 ... 10
Sensoranschlüsse			BNC neg.
Anzahl Prüflinge			1
ADC-Auflösung			16
ADC-Abtastrate			400
Versorgungsspannung			110/230
PC-Schnittstelle			USB
Abmessungen			235x135x420
PC-Anforderungen			Windows® XP/7
Kalibrierungsverfahren			kontinuierlich, schrittweise

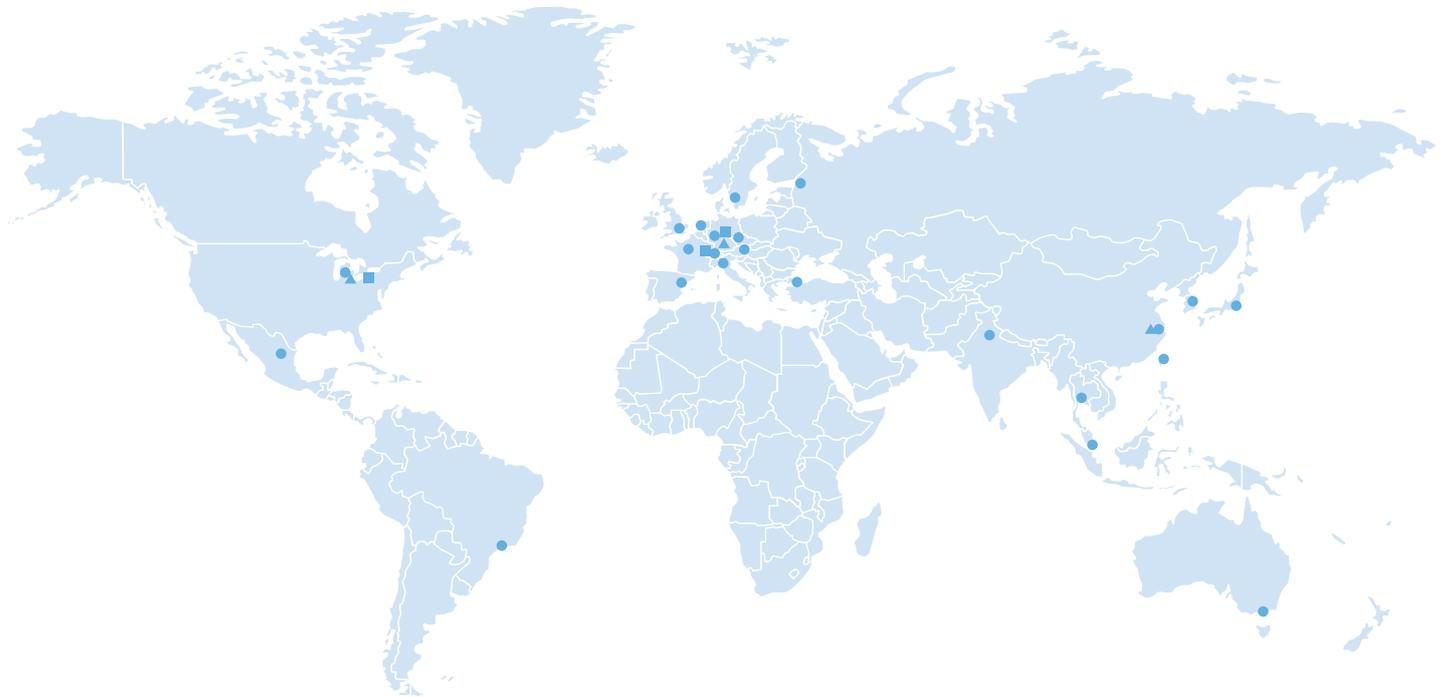
Windows® ist ein registriertes Warenzeichen der Microsoft Corporation

Präzisionsladungskalibrator



Technische Daten		Typ	5395B
Versorgungs-	Ladungsbereich	pC	±100 ... 2 000 000
	Spannungsbereich	mV	±100 ... 10 000
Überwachungsspannungsbereich			V
Messunsicherheit	Ladung	% _{rdg}	<0,03
	Spannung	% _{rdg}	<0,02

Über uns



- Sales Center
- ▲ Tech Center
- Production Center

Die Kistler Gruppe mit Hauptsitz in der Schweiz ist ein weltweit führender Anbieter von dynamischer Messtechnik für Druck, Kraft, Drehmoment und Beschleunigung. Die Technologie von Kistler wird zur Analyse physikalischer Vorgänge, zur Kontrolle industrieller Prozesse und zur Optimierung der Produktqualität eingesetzt.

Kistler verfügt über ein vollständiges Programm von Sensoren, Elektronik und Systemen für die Motorenentwicklung, Fahrzeugtechnik, Kunststoffverarbeitung, Metallverarbeitung und Montagetechnik sowie für Biomechanik.

Die globale Präsenz wird mit 30 Vertriebs- und Produktionsstätten, drei Tech Centern sowie über 30 Vertretungen auf allen Kontinenten sichergestellt. Die Kunden profitieren damit von lokalen Ansprechpartnern und individueller anwendungstechnischer Unterstützung.

Die Kistler Gruppe beschäftigt 1300 Mitarbeitende und erzielte im Geschäftsjahr 2013 einen Umsatz von 285 Millionen CHF.

Kistler Group

Eulachstrasse 22
8408 Winterthur
Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11

Zur Kistler Group gehören die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Ihren Ansprechpartner vor Ort finden Sie unter
www.kistler.com

KISTLER
measure. analyze. innovate.