Kraftsensorik

KRAFTMESSRINGE: WELCHES PRINZIP IN WELCHER MESSSITUATION?

Das Webinar startet um 10:00 Uhr

Public

Technische Hinweise

- Die **Mikrophone** aller Teilnehmer sind für die gesamte Dauer des Webinars **stumm geschaltet**.
- Für die **Tonübertragung** müssen Sie die **Lautsprecher** Ihres Rechners einschalten oder **Kopfhörer** anschließen.
- Wenn Sie Fragen haben, können Sie diese gerne über das Fenster '**Q&A**' stellen.

- Das Webinar wird **aufgezeichnet** und ist demnächst zusammen mit den **Präsentationsunterlagen** auf unserer Website verfügbar.
- Wenn es soweit ist, bekommen Sie eine E-Mail mit weiteren Infos.

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Thomas Hesse

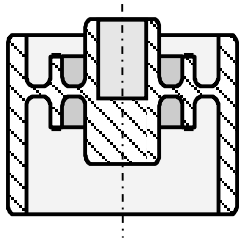
- **Trainer in der HBK Accademy**
- Diplom-Ingenieur für Elektrotechnik
- Mehr als 30 Jahre Erfahrung beim elektrischen Messen mechanischer Größen
- **E-Mail:** Thomas.Hesse@hbkworld.com

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

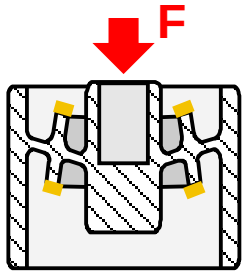
Agenda

1. Grundlagen DMS –basierte Kraftaufnehmer
2. Grundlagen piezoelektrische Kraftsensoren
3. Schnelle Kraftmessungen
4. Welches Prinzip wann? DMS oder Piezo
5. HBM Lösungen

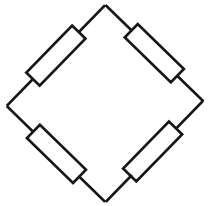
Messringe auf Basis von Dehnungsmesssteifen



Federkörper



Wenn eine Kraft eingeleitet wird, entstehen Dehnungen auf der Oberfläche des Federkörpers DMS wandeln die Dehnungen in eine Widerstandsänderung



Die Wheatstone'sche Brückenschaltung wandelt die Widerstandsänderungen in eine messbare Ausgangsspannung

Beispiel: Dehnung ist 1000 µm/m

$$\frac{U}{U_0} = \frac{k}{4} \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

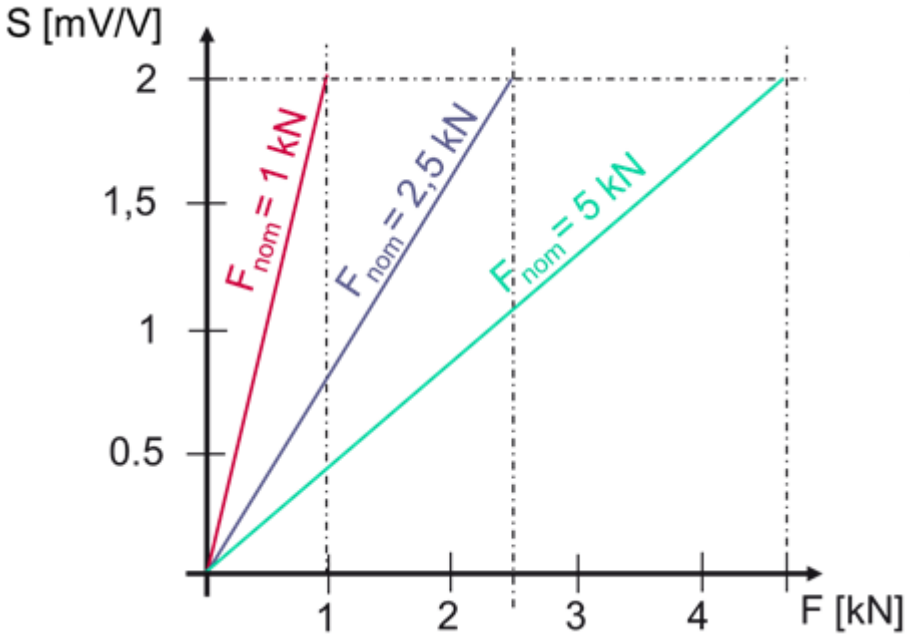
$$\frac{U}{U_0} = \frac{2}{4} \cdot (1000 \cdot 10^{-6} - (-1000 \cdot 10^{-6}) + 1000 \cdot 10^{-6} - (-1000 \cdot 10^{-6}))$$

$$\frac{U}{U_0} = 2mV/V$$

Messringe auf Basis von Dehnungsmesssteifen

DMS Technologie:

- Skalierung erfolgt über Auslegung des Messkörpers.
- Machbar: Sensoren zwischen 10 N und 60 MN
- Kraftmessringe: Zwischen 20 kN und 2 MN
- Jede Nennkraft zeigt eine eigene Kennlinie => Steigungen unterschiedlich, je nach Nennkraft

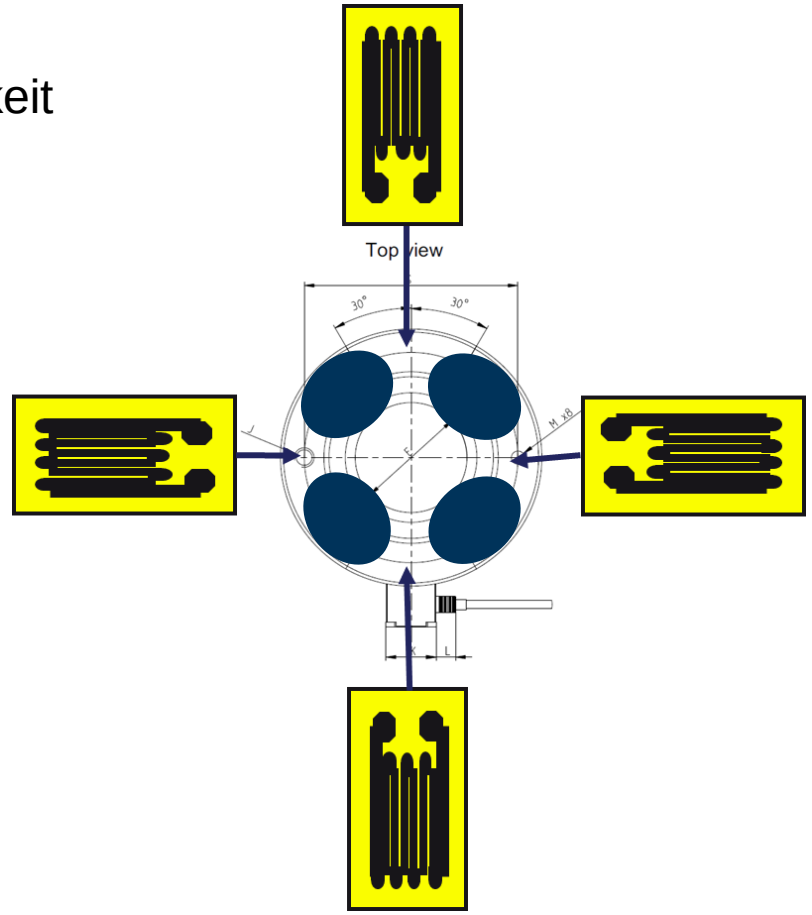


C6B: 2 mV/V @ 10 MN

S2M: 2 mV/V @ 10 N

Messringe auf Basis von Dehnungsmesssteifen

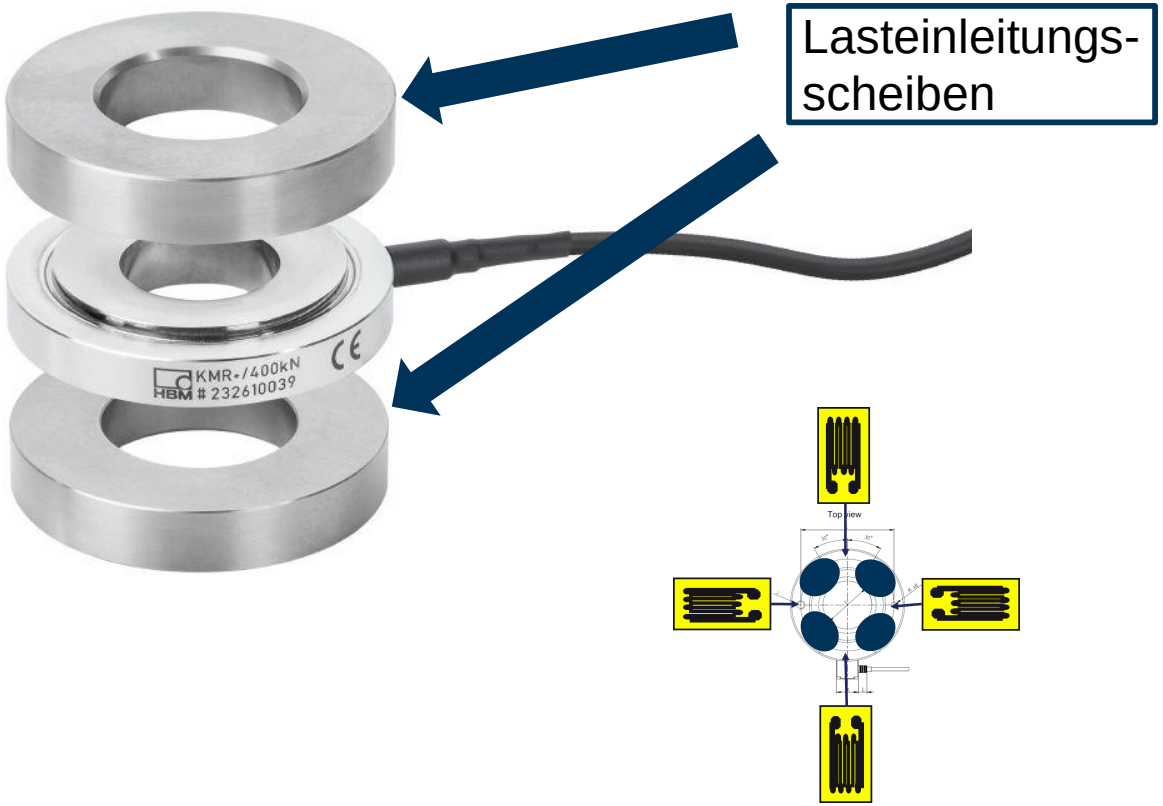
Bereiche mit geringerer Empfindlichkeit



Prinzip der Kraftmessringe:

- DMS – Messstellen an vier Stellen, auf dem Radius verteilt
- Mit KMR+: Maximaler Abdeckung des Messkörpers mit DMS
- An Stellen an denen kein DMS installiert ist: Geringere Empfindlichkeit

Hinweise zum Einsatz von Kraftmessringen auf Basis von DMS

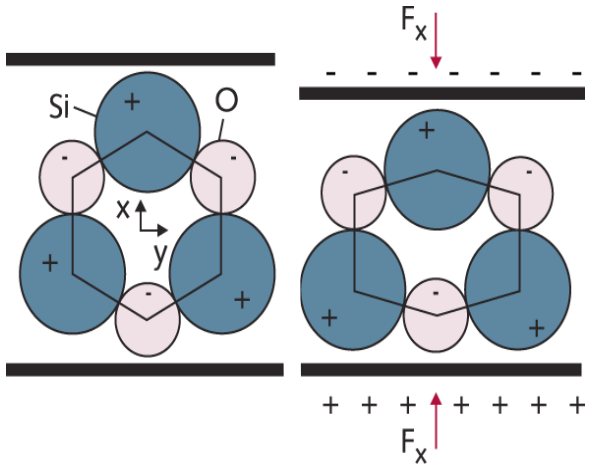


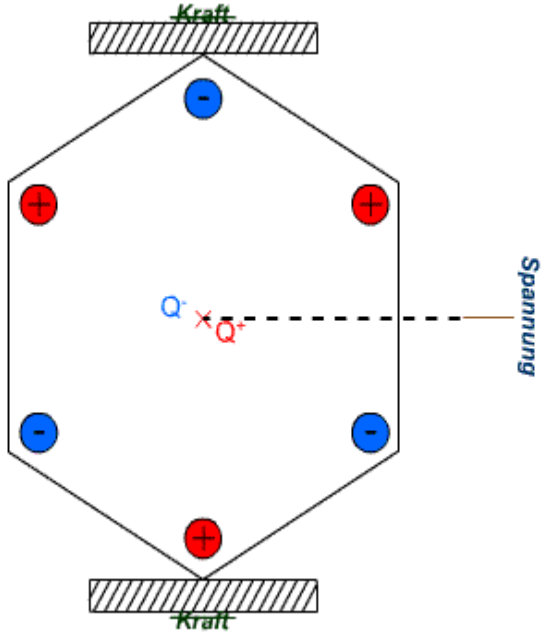
- Lieferung mit Lasteinleitungsscheiben, damit die mechanische Spannung gleichmäßig auf den Ring verteilt wird
- Auf möglichst gute Ebenheit der anschließenden Bauteile achten (Um Ring gleichmäßig zu belasten)
- Kleinste Kraft die gemessen werden kann: Abhängig von der Genauigkeitsanforderung. Typisch: 1…2 % der Nennkraft
- Einmessen vor quantitativer Messung notwendig! (Oft unnötig bei Monitoringaufgaben)
- Schutzart: IP68

Piezoelektrische Kraftmessringe

Wenn eine Kraft auf einen piezoelektrischen Kristall einwirkt:

- Entstehen sehr kleine Deformationen
- Verschieben sich die Ladungsschwerpunkte
- An den Rändern des Kristalls entsteht eine messbare elektrische Ladung



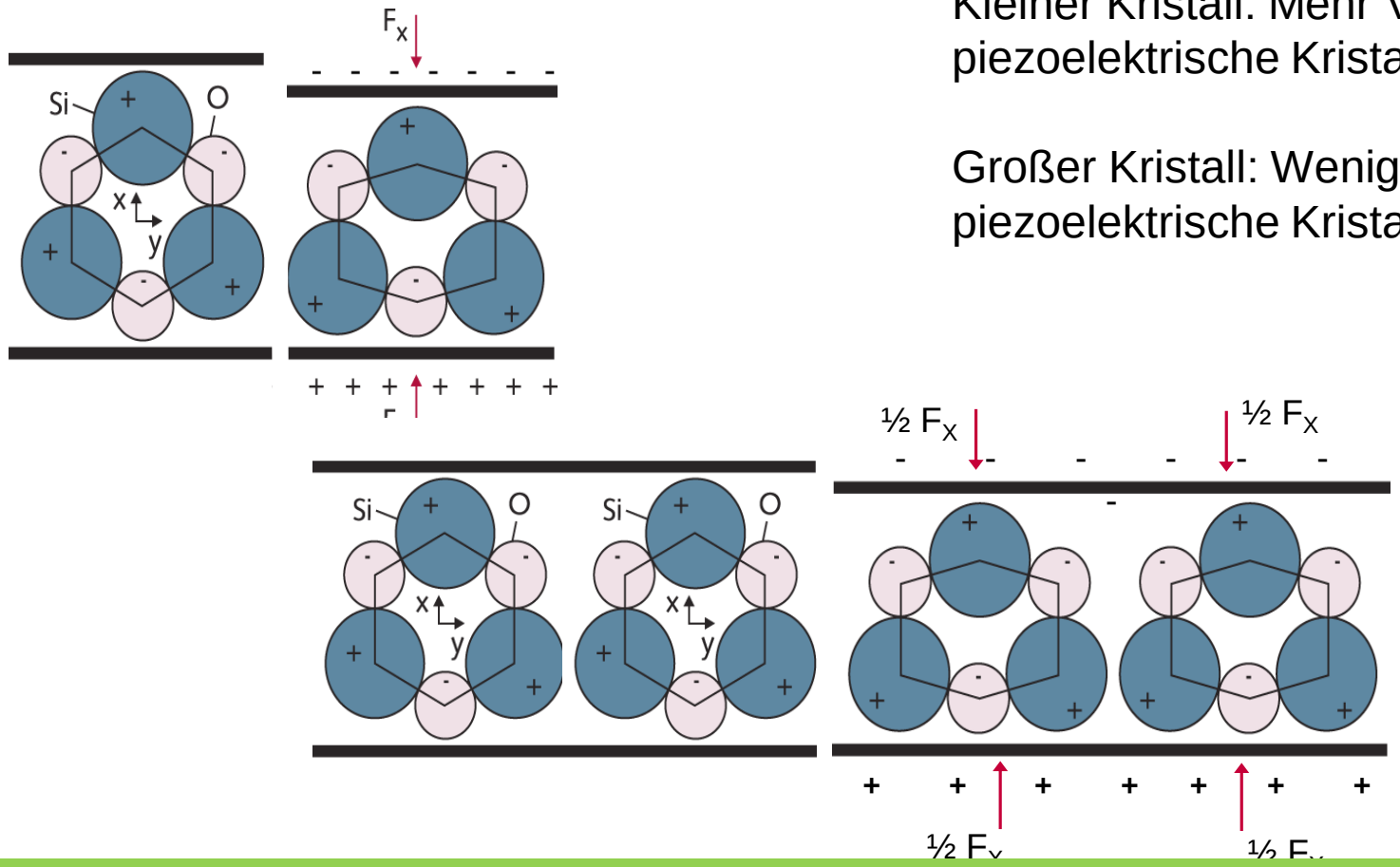


Piezoelektrische Kraftmessringe

Was ist der Einfluss der Kristallgröße?

Kleiner Kristall: Mehr Verformung, weniger piezoelektrische Kristallzellen

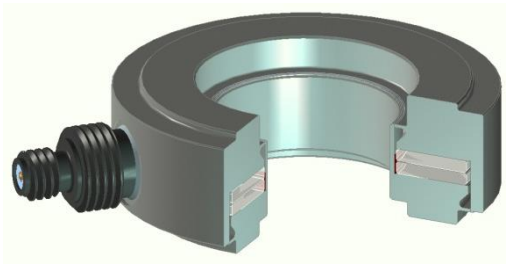
Großer Kristall: Weniger Verformung, mehr piezoelektrische Kristallzellen

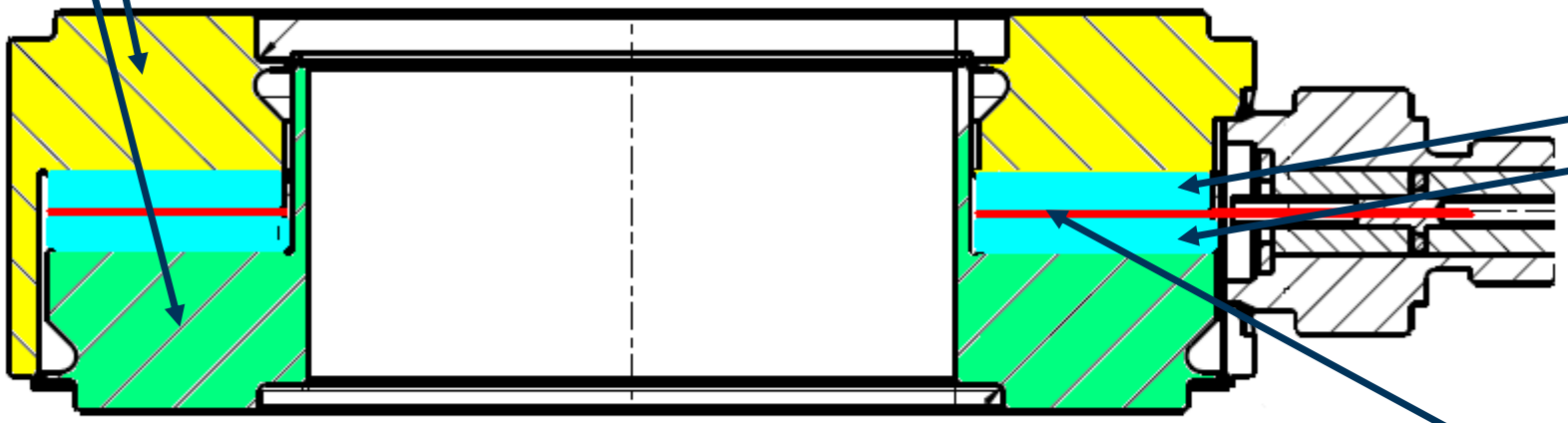


Die Ladung hängt nicht von der Größe des Sensors ab

HBK
HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Piezoelektrische Kraftmessringe



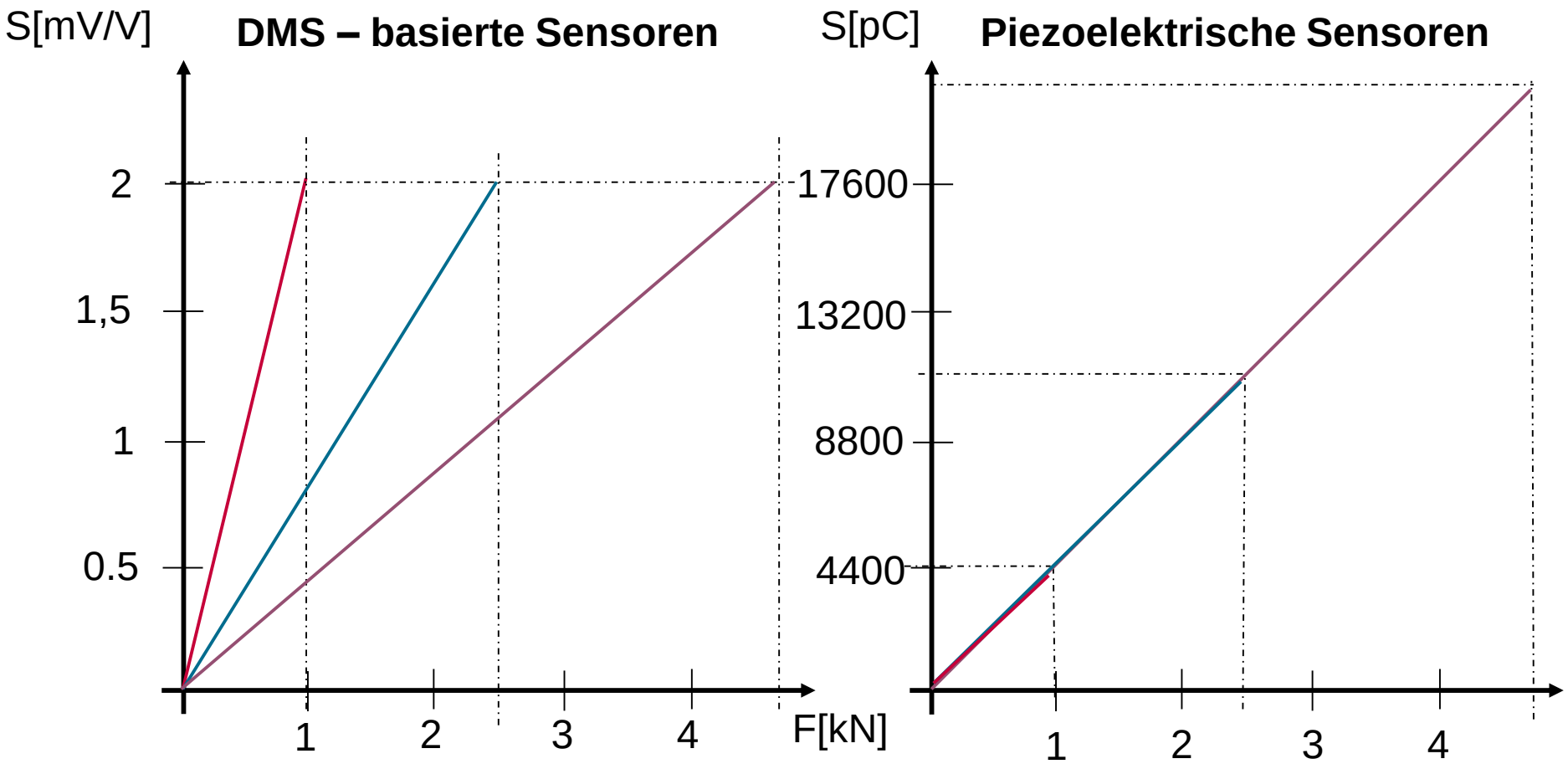


$$Q = q_{11} * F$$

q_{11} = Piezoelektrische Konstante [pC/N]

Piezoelektrische Kraftmessringe dürfen nicht ohne Vorspannung betrieben werden

Piezoelektrische Kraftmessringe



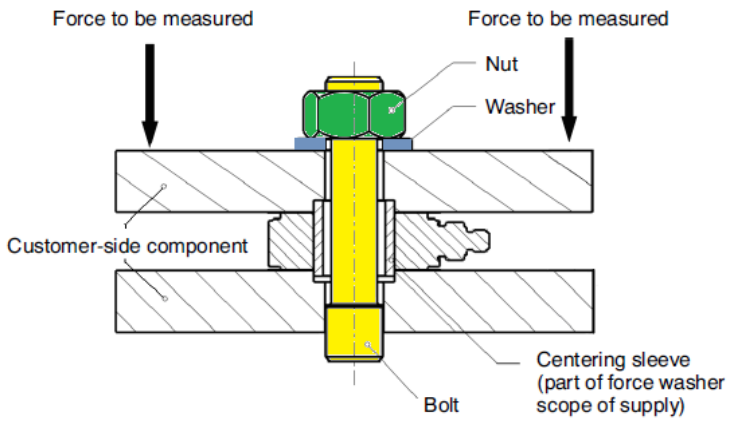
Bei DMS – Kraftaufnehmern hängt die Empfindlichkeit von der Nennkraft ab, bei piezoelektrischen Sensoren <u>nicht</u>

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Hinweise zum Einsatz von piezoelektrischen Kraftmessringen

Vorspannen ist bei piezoelektrischen Sensoren unbedingt erforderlich

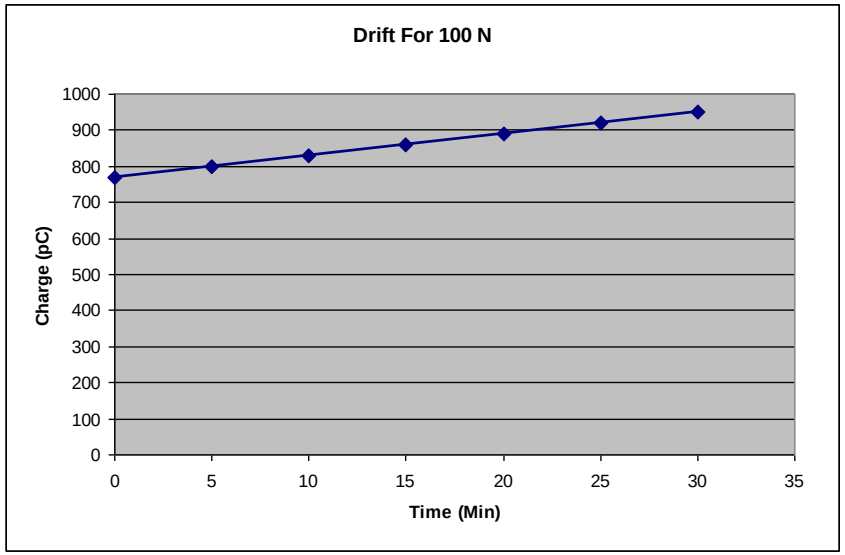
- Gute Linearität
- Geeignete Biegemomentstabilität

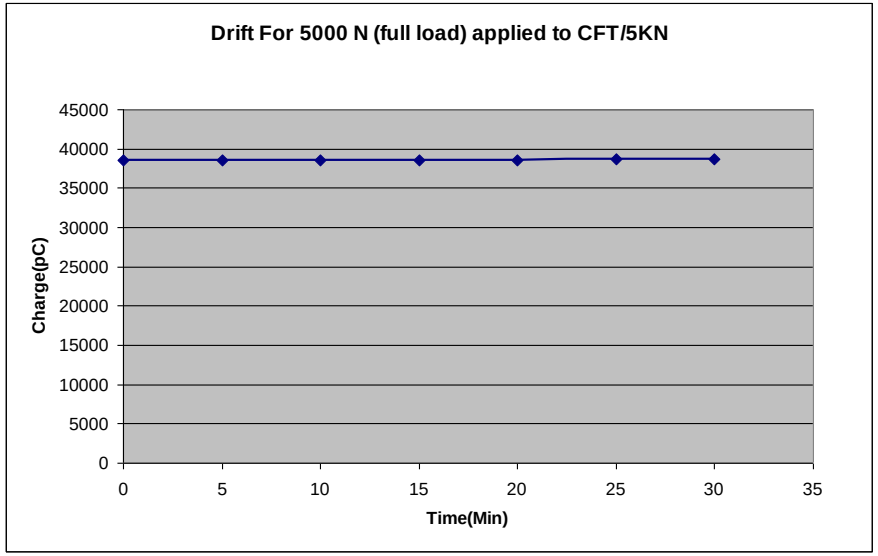


- Vorspannung (10 % der Nennkraft) unbedingt erforderlich!
- Piezoelektrische Sensoren zeigen eine Drift, die statische Messungen unmöglich macht
- Messbereich ist abhängig vom Ladungsbereich des Messverstärkers! Kleinste Messkraft: Wenige Newton
- Nullsetzen heißt, dass Ladung kurz geschlossen wird. Der Verstärkereingang ist dann auf Null gesetzt. Nachweis kleinster Kräfte bei hoher Vorlast kein Problem
- Die gesamte Fläche des Messrings ist gleich empfindlich.
- Einmessen erforderlich (Wegen des Kraftnebenschlusses durch die Schraube)
- Schutzart: IP65

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Hinweise zum Einsatz von piezoelektrischen Kraftmessringen





Anmerkung zur Drift:

Die Drift ergibt sich aus endlichen Isolationswiderständen (Vorwiegend in der Elektronik)

Die Drift macht sich bei längerer Messdauer und / oder kleinen Kräften besonders bemerkbar

Kleine Kraft – lange Messdauert: Anspruchsvolle Messaufgabe

Große Kraft und kurze Messdauer: Problemlos möglich

Ob die Drift relevant ist, ist eine Frage der Messunsicherheit.

Warum driftet die Messkette?	Isolationswiderstände sind nicht perfekt!
Wie groß ist die Drift?	Maximum ist 10 N/min (typisch: 1..3 N/min)

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Hinweise zum Einsatz von piezoelektrischen Kraftmessringen

Wie kann man die Drift unterdrücken?

1. **Reset von außen**

Wird durch eine Steuerung von außen mittels Spannungssignal ausgelöst

2. **Reset mit Grenzwertschalter**

Mit dem digitalen Ladungsverstärker CMD 600 kann der Reset über den integrierten Grenzwertschalter ausgelöst werden

3. **Nutzung des Hochpassfilters**

Drift ist ein niederfrequentes Signal- wenn nur hochfrequente Signale ausgewertet werden sollen, ist der Hochpassfilter die richtige Alternative

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

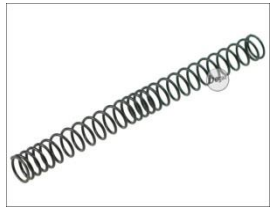
Schnelle Kraftmessungen

Was limitiert die Bandbreite einer Kraftmesskette?

Mechanische Effekte

Ein Kraftaufnehmer ist ein Feder und weist eine Resonanzfrequenz auf!

- Steifigkeit
- Massen



Elektrische Effekte & Einstellung des Verstärkers

Nicht zu unterschätzen

- Messrate
- Filter
- Kabel (R-C- Kreis!)
- Andere Limitationen durch den Verstärker?

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Schnelle Kraftmessungen

- Nennkraft
  Kraft, bei der das Nennausgangssignal erreicht wird ***(F)***

- Messweg
  Verformungsweg bei Nennkraft ***(s)***

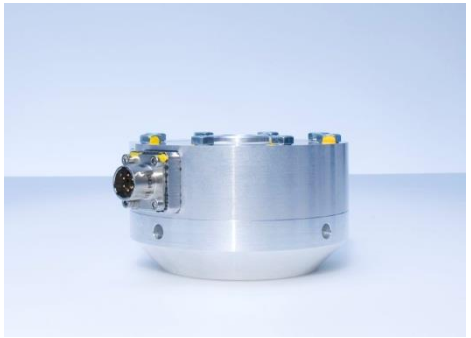
- Steifigkeit:
  Errechnet sich aus Nennkraft und Messweg ***(D)***

- Resonanzfrequenz
  Errechnet sich aus Steifigkeit und oszillierender Masse ***(ω)***

Masse?

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$$D = \frac{F}{s}$$



U10m/25kN:
ω = 9,2 kHz

m=0,3kg

U10m/25kN:
ω = 7,5 kHz

Daumenregel: Bis 20 % der Resonanzfrequenz gilt die statische Kalibrierung

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Schnelle Kraftmessungen

Theoretischer Vorteil der piezoelektrischen Messtechnik: Hohe Steifigkeit

Kleiner Messweg

↓

Hoher Steifigkeit

↓

Hohe Eigenfrequenz

$$D = \frac{F}{s} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{D}{m}}$$

- Angeflanschte Massen sind zu beachten
- Lasteinleitung ändert Steifigkeit

Maximum bending moment with [2] with F_z = 0% with F_z = 50% with F_z = 100%	$M_{b\ perm}$	Nm	0 5 0	0 35 0	0 134 0
Static lateral limit force [3]	F_Q	% of F_{nom}	10		
Nominal (rated) displacement	s_{nom}	µm	3	3.5	4.5
Fundamental resonance frequency	f_G	kHz	105	120	140
Relative permissible oscillatory stress	F_{rb}	% of F_{nom}	100		

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Schnelle Kraftmessungen

High stiffness

High natural frequency

DMS für schnelle Messung großer Kräfte

Piezo für schnelle Kräfte kleiner Kräfte

DMS – Sensoren mit kleiner Nennkraft sind “weich” => geringe Resonanzfrequenz

Bandwidth (–3dB)		
measuring range 50 pC to 60.000 pC	kHz	0 ... 30
measuring range 60.000 pC to 120.000pC	kHz	0 ... 15
measuring range 120.000 pC to 250.000pC	kHz	0 ... 7
measuring range > 250.000 pC	kHz	0 ...3

Die Bandbreite von Ladungsverstärkern hängt von der Ladung, die zu messen ist ab

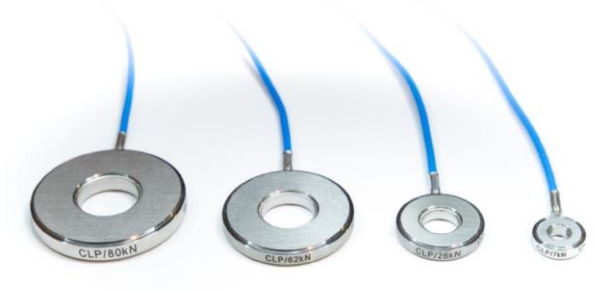
HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Welche Technik wann? Eigenschaften

Auf Basis von Dehnungsmessstreifen

- Frei von Drift
- Sehr gute Wiederholpräzision
- Höhere Empfindlichkeit bei großen Biegemomenten oder außermittigen Lasteinleitungen

Piezoelektrische Messringe



- Sehr klein
- Sehr gute Wiederholpräzision
- Unempfindlich bei Biegemomente oder außermittigen Krafteinleitungen
- Vorspannung unbedingt erforderlich

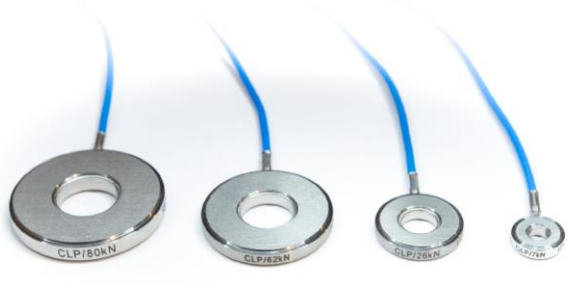
HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Welche Technik wann? Von der Anwendung betrachtet

Auf Basis von Dehnungsmessstreifen

- Langfristiges Monitoring (Schraubenüberwachung)
- Hohe wirtschaftliche Anforderungen
- Kabel läuft über Schleppketten
- Einsatz unter hoher Feuchte (Außeneinsatz, Klimakammern!)
- Schnelle Messung großer Kräfte!
- Betrieb mit wenig Vorspannung gut möglich

Piezoelektrische Messringe



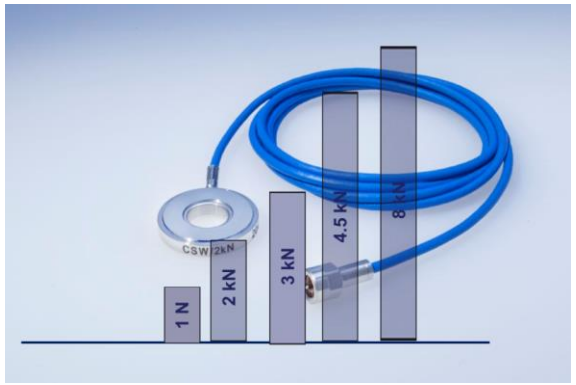
- Hohe Vorlast in Kombination mit kleinsten Messkräften
- Kleinste Kräfte / Riesiger Messbereich
- Schnelle Messungen kleiner Kräfte
- Krafteinleitungspunkt nicht sehr gut definiert.

HBK HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

HBK Lösungen

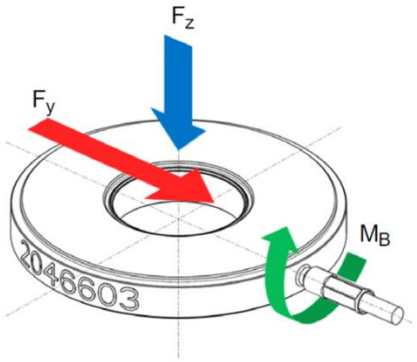
Piezoelektrische Kraftmessringe CLP

- Extrem kompakt: Bauhöhe zwischen 3 und 5 mm
- Mit integriertem Kabel und festem Stecker
- Verschiedene Kabellängen verfügbar



Piezoelektrische Scherkraftsensoren “CSW”

- Sehr kompakt, baugleich mit CLP
- Geeignet zur Messung von Scherkräften (F_y in der Skizze)
- In Kombination mit den CLP zu einem Mehrkomponentensystem ausbaubar



HBK Lösungen

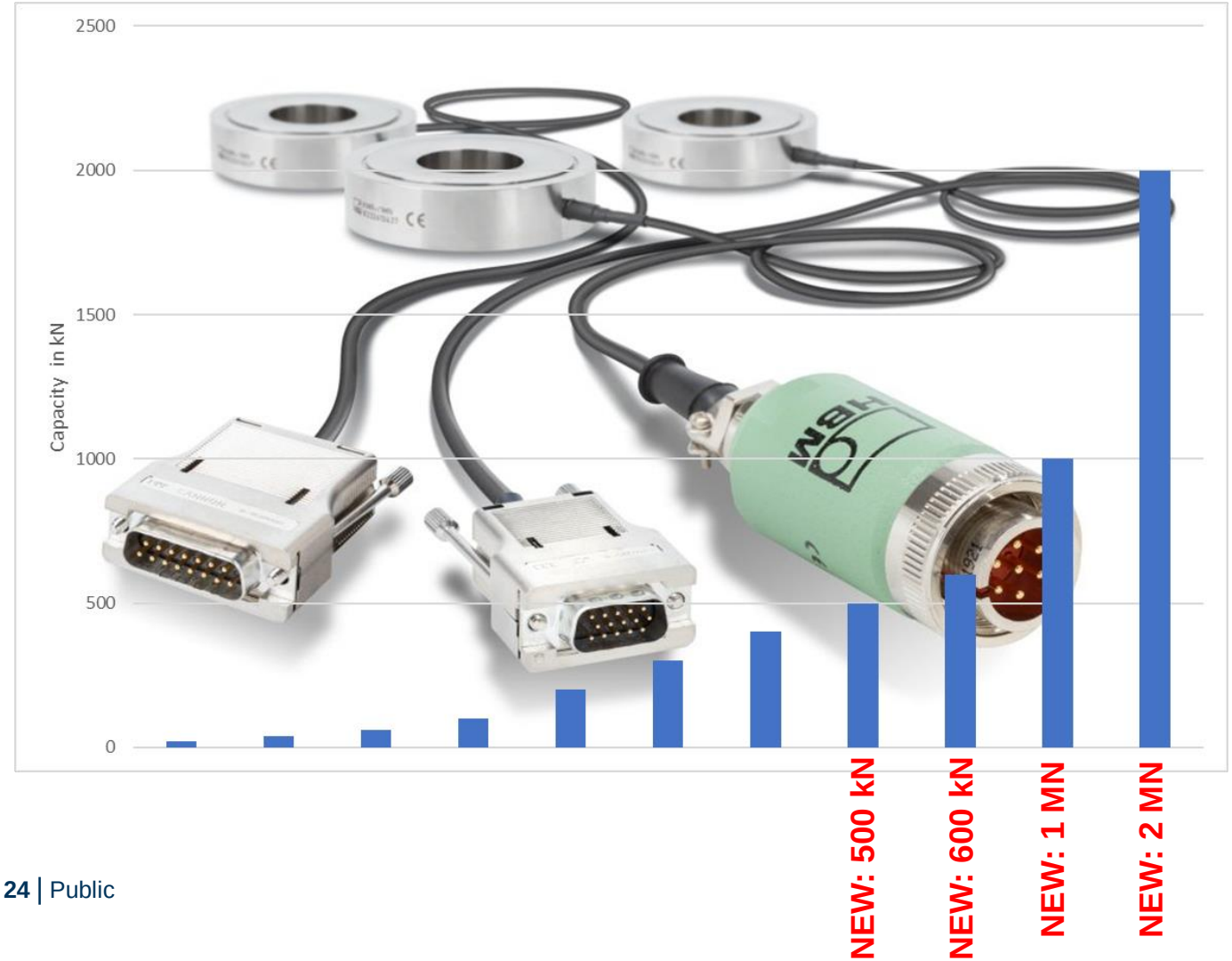
Piezoelektrischer Kraftmessring CFW

- Marktübliche Dimensionen
- Lieferung mit Zentrierhilfe
- Meist verwendeter Sensor

Piezoelektrische Kraftmessringe “CHW”

- Geeignet für Temperaturen bis zu 300 °C
- Hermetisch dicht angeschlossenes Kabel

HBK Lösungen



Neuer KMR+

- Neuer Kraftmessring mit IP68, damit dauerhaft für Außeneinsatz geeignet.
- DMS – Technologie: Driftfrei
- Für Bolzen von M6 bis M42
- Verbesserte Abdeckung des Messkörpers mit Messgittern, deshalb verbesserte Widerholpräzision und geringere Biegemomentempfindlichkeit

HBK PRODUCT PHYSICS CONFERENCE

HBK’s erste virtuelle internationale Konferenz

13. - 15. Oktober 2020

Warum sollten Sie teilnehmen?

Die HBK Product Physics Conference bietet Ihnen eine ideale Plattform und die einzigartige Möglichkeit sich über die aktuellsten Branchenlösungen zu informieren und reale Anwendungsbeispiele von unseren Kunden aus erster Hand zu sehen. Nehmen Sie an dieser dreitägigen, anwenderorientierten, digitalen Konferenz teil, tauschen Sie sich mit anderen Anwendern, Experten und Partnern aus und erfahren Sie, wie sie ihre jeweiligen technischen Herausforderungen und Innovationen in ihrer Branche angehen und lösen.

Vorträge

Unsere Speaker sind das eindeutige Highlight der Konferenz. Sie geben Ihnen nicht nur einen Einblick in Ihre Best-Practice-Anwendungen, sondern teilen auch Ihre Expertise und Ihr Know-how mit Ihnen.

Technologie

Erleben Sie die neuesten Test- und Measurement-Lösungen von HBK. Unsere Experten von HBM, Brüel & Kjær und Prenscia haben Themen wie Electric Power Testing, Smart Sensors und mehr für Sie vorbereitet.

Networking

Connecten Sie sich mit anderen Teilnehmern in unseren virtuellen Networking-Areas. Tauschen Sie Erfahrungen aus und erweitern Sie Ihr persönliches Netzwerk während und nach der Konferenz.

Austausch

Besuchen Sie unseren interaktiven Ausstellungsbereich und nehmen Sie an Live-Diskussionsrunden mit Experten teil.

Sie möchten mehr erfahren? Dann melden Sie sich an!

www.productphysics.com

HBK
HOTTINGER BRÜEL & KJÆR

Vielen Dank!

Public

www.hbkworld.com | © HBK – Hottinger Brüel & Kjær | All rights reserved

HBK
HOTTINGER BRÜEL & KJÆR