



## Kraftsensoren

Transparente Fertigungsprozesse sichern Qualität und reduzieren Kosten



## Absolute Aufmerksamkeit für die Welt von morgen

Kistler entwickelt messtechnische Lösungen, bestehend aus Sensoren, Elektronik, Systemen und Services. Im physikalischen Grenzbereich von Emissionsreduktion, Qualitätskontrolle, Mobilität und Fahrzeugsicherheit erbringen wir Spitzenleistungen für eine zukunftsfähige Welt und schaffen ideale Voraussetzungen für Industrie 4.0. So ermöglichen wir Innovation und Wachstum – für und mit unseren Kunden.



Kistler steht für Fortschritte in der Motorenüberwachung, Fahrzeugsicherheit und Fahrdynamik und liefert wertvolle Daten für die Entwicklung der effizienten Fahrzeuge von morgen.



Kistler Messtechnik sorgt für Höchstleistungen in Sportdiagnostik, Verkehrsdatenerfassung, Zerspankraftanalyse und anderen Anwendungen, wo unter Extrembedingungen absolute Messsicherheit gefragt ist.



Kistler Systeme unterstützen sämtliche Schritte einer vernetzten, digitalisierten Produktion und sorgen für maximale Prozesseffizienz und Wirtschaftlichkeit in den Smart Factories der nächsten Generation.

## Inhalt

Teil eins: Komponenten	
Qualität und Wirtschaftlichkeit im Fokus	4
Kraftsensoren für Forschung und Entwicklung	5
Produktübersicht Kraftsensoren	6
1-Komponenten-Kraftsensoren	7
Mehrkomponenten-Kraftsensoren	26
Dynamometer und Kraftmesselemente Bausätze	33
Dehnungssensoren	36
Kabel und Anschlüsse	44
Zubehör – Kabel	54
Zubehör – Elektronik	55
Teil zwei: Know-how	
Kraftmesstechnik im Fokus	60
Auswahlkriterien	63
Kalibrierung	72
Service: Massgeschneiderte Lösungen von A bis Z	78
Kistler – weltweit im Einsatz für unsere Kunden	79



Montageprozesse sowie die Produktprüfung sind nur einige der vielen industriellen Prozesse, in denen die Sensoren von Kistler zum Einsatz kommen

### Qualität und Wirtschaftlichkeit im Fokus

Die immer höher werdenden Ansprüche an Qualität und Präzision in der industriellen Fertigung und der verschärfte Wettbewerb erfordern die Optimierung und Kontrolle der gesamten Fertigungskette. Der Einsatz von Kistler Mess- und Systemtechnik unterstützt bei der Erfüllung dieser Anforderungen und bildet damit die Basis für die Null-Fehler-Produktion in der industriellen Produktion.

In der Automobilindustrie, der Medizinaltechnik oder der Elektrotechnik, um nur einige Beispiele zu nennen, steht die Sicherung der Qualität des Endproduktes immer an erster Stelle und wird deshalb durch strenge Standards vorgegeben. Vor allem dann, wenn viele einzelne Komponenten zu einem Produkt zusammenfliessen, müssen diese bereits bei den Zulieferern geprüft werden, weil nur dadurch die Qualität des Endprodukts gesichert ist. Dort ist es oftmals unumgänglich, Überwachungssysteme in die Produktion zu integrieren.

- Messung von Kräften, integriert im Produktionsprozess
- Monitoren von Prozessen zur Sicherstellung einer Null-Fehler-Produktion
- Senkung von Qualitätskosten durch frühzeitiges Erkennen von Abweichungen
- Optimierung der Prozesseffizienz durch eine hohe Flexibilität der eingesetzten Messmittel

### Optimierte Prozesseffizienz dank Kistler Technologie

Um dem Streben nach der Null-Fehler-Produktion in der industriellen Fertigung möglichst kostengünstig gerecht zu werden, setzt Kistler auf die integrierte Prozessüberwachung, d. h. auf die Kontrolle direkt während des jeweiligen Prozessschrittes. Eine zentrale Basis hierzu bildet die auf dem piezoelektrischen Prinzip beruhende Sensortechnologie, welche sich für die die Überwachung und Optimierung von Fertigungsprozessen besonders gut eignet.

### Geringere Qualitätssicherungskosten für Anlagenbetreiber

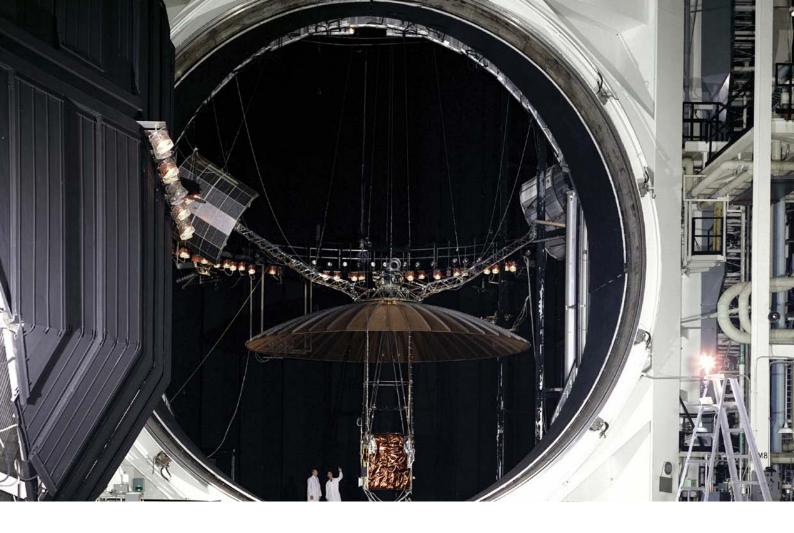
Die prozessintegrierte Überwachung reduziert die Kosten für die Qualitätssicherung. Diese wirtschaftliche Lösung schützt Anlagenbetreiber davor, dass Fehlteile zum Kunden gelangen, und stellt sicher, dass die gegebenenfalls folgende Montage nicht gestört wird.



## Höhere Prozesseffizienz mit Kistler – jetzt online erleben

Überzeugen Sie sich anhand von unserer Animation von den erstklassigen Kistler-Lösungen – für den sichersten Weg zur optimalen Prozesseffizienz:

www.kistler.com/maxymos



## Kraftsensoren für Forschung und Entwicklung

Höher, schneller, weiter. Wer in Forschung und Entwicklung neue Maßstäbe setzen will, braucht maximal zuverlässige und hochpräzise Messtechnik. Bei Kistler entwickeln wir seit über 60 Jahren bahnbrechende Lösungen. Unser stetes Streben nach Perfektion macht uns zum bevorzugten Partner von Industrie und Forschungsanstalten.

In Bereichen wie der Luft- und Raumfahrttechnik gilt es, große Herausforderungen zu meistern und kostspielige Ausrüstungen optimal zu nutzen. In enger Zusammenarbeit mit renommierten Raumfahrtzentren und Flugzeugherstellern haben wir unsere Kompetenz in Mess- und Prüftechnik kontinuierlich weiter perfektioniert. Wir bieten unseren Partnern optimal auf ihre Bedürfnisse abgestimmte Messgeräte und garantieren unseren Kunden die bestmögliche Leistung und Zuverlässigkeit für ihre Prüflabors.

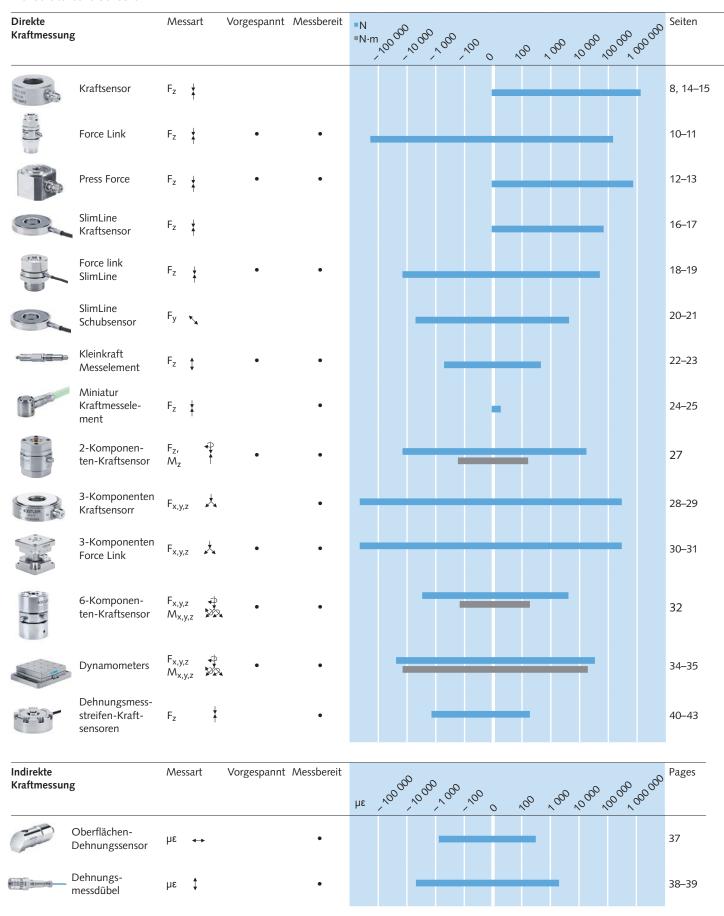
Mit unserer langjährigen Erfahrung im Bereich Forschung und Entwicklung unterstützen wir unsere Kunden bei der Planung und Konstruktion ihrer Messaufbauten. Wir stellen unsere fundierten Fachkenntnisse und die nötige Technologie zur Verfügung, um die Anforderungen und Erwartungen unserer Kunden zu erfüllen.

### Anwendungsbeispiele

- Raumfahrttechnik
- Transport und Verkehr
- Automobiltechnik
- Schiffbau und Seefahrtindustrie
- Energie- und Umwelttechnik
- Öl und Gas
- Chemische Industrie
- Pharmazeutische Industrie
- Halbleiter- und Elektronikindustrie
- Papier- und Zelluloseherstellung
- Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie
- Bau und Bergbau
- Medizintechnik
- Maschinenbau
- Akademische Forschungseinrichtungen

### Produktübersicht Kraftsensoren

#### Piezoelektrische Sensoren





## 1-Komponenten-Kraftsensoren

Unser Kraftsensor-Portfolio nutzt die hervorragenden Eigenschaften von Piezo-Kristallen und Quarzen zum Aufbau unserer Sensortechnik.

Das klassische piezoelektrische Messelement ist die Messunterlagscheibe. In sich selbst nur geringfügig vorgespannt, werden diese Sensorelemente üblicherweise in die an der Messstelle bestehende Struktur integriert und dort mit der erforderlichen Vorspannung eingebaut. Diese Vorspannung entspricht einem Belastungsoffset.

Unsere Force-Links und Press-Force-Sensoren erlauben den direkten kundenseitigen Einsatz und sofortiges Messen. Diese vorgespannten Kraftmesselemente sind werkseitig kalibriert und in Druck- und Zugrichtung verwendbar.

Für extrem kleine Kräfte sind unsere Low-Level-Kraftsensoren vorgesehen. Bedingt durch den inneren Aufbau weisen diese Sensoren eine bis zu 30 mal höhere Empfindlichkeit auf, wodurch selbst kleinste Kräfte zuverlässig gemessen werden können.

### Vorteile

- Hohe Steifigkeit, dadurch hohe Eigenfrequenzen erreichbar
- Hohe Belastbarkeit
- Dauerfestigkeit
- Kompakte Bauform
- Weiter Messbereich
- Direktes Messen im Kraftfluss
- Wegloses Messen möglich
- Umfangreiches Portfolio

## 1-Komponenten-Kraftsensoren

9021C 9031C 9001C 9011C Technische Daten Тур Messbereich 0 ... 7,5 0 ... 15 0 ... 35 0 ... 60 0 ... 482) 0 ... 62) 0 ... 12 2) 0 ... 282) Kalibrierte Messbereiche  $F_z$ kΝ 0 ... 1,2 2) kΝ 0 ... 0,62) 0 ... 2,82) 0 ... 4,82) Empfindlichkeit  $F_z^{(1)}$ pC/N ≈ – 4,1 ≈ – 4,2 ≈ – 4,4 ≈ **- 4,4** Abmessungen D 10,3 14,5 22,5 28,5 d 6,5 10,5 13 mm 4,1 Н mm 6,5 10 11 Steifigkeit kN/µm ≈ 3,3 ≈ 5,2 ≈1,1 ≈1,6 C<sub>A,z</sub> Gewicht 3 7 20 36 Betriebstemperaturbereich 3) °C **-** 70 ... 200 – 70 ... 200 **-** 70 ... 200 – 70 ... 200 KIAG 10-32 neg. KIAG 10-32 neg. KIAG 10-32 neg. KIAG 10-32 neg. max. Schutzart nach IEC/EN 60529 IP65 (Kabelabhängig) IP68 Vorspannschraube 4) Type 9422A01 9422A11 9422A21 9422A31 Gewinde × Steigung/ M3x0,5/19 M5x0,8/25 M8x1,25/38 M10x1,5/45 Länge Vorspannkraft Fv (kN) 2,5 15 30 Zubehör Vorspannelement Тур 9420A01 9420A11 9420A21 9420A31 Gewinde × Steigung/ M3×0,5/22 M5×0,5/28 M8×1/40 M10×1/46 Länge Fv (kN) Vorspannkraft 18 Isolierscheibe Тур 9517 9527 9537 D (mm) 22 Abmessungen S (mm) 0,125 0,125 0,125 Druckkappe Тур 9509 9519 9529 9539 Abmessungen D (mm) 14 22 25 H (mm) 10 15 20 Druckverteilring 9505 9515 9525 9535 Тур Abmessungen D (mm) 10 14 22 28 10 H (mm) 6 11

Kugelscheibe

Abmessungen

Тур

D (mm)

H (mm)

8 www.kistler.com

9513

12

9523

21

6

9533

24

<sup>1)</sup> ohne Vorspannung

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> mit einer Vorlast von 20% des Messbereichs

<sup>&</sup>lt;sup>3)</sup> Betriebstemperaturbereich ist abhängig vom verwendeten Kabel

<sup>4)</sup> im Lieferumfang enthalten













0 90	0 120	0 200	0 400	0 650	0 1 200
0 72 <sup>2)</sup> 0 7,2 <sup>2)</sup>	0 96 <sup>2)</sup> 0 9,6 <sup>2)</sup>	0 160 <sup>2)</sup> 0 16 <sup>2)</sup>	0 320 <sup>2)</sup> 0 32 <sup>2)</sup>	0 650 0 52	0 1 200 0 96
≈ <b>-</b> 4,4	≈ – 4,4	≈ – 4,4	≈ – 4,4	≈ – 2,15	≈ – 2,1
34,5 17 12	40,5 21 13	52,5 26,5 15	77,2 40,5 17	100 40,5 22	145 72 28
≈ 7,5	≈9,8	≈ 15,4	≈ 27,7	≈ 35,7	≈ 52,3
70	80	157	370	910	2 180
- 70 200	- 70 200	- 70 200	- 70 200	- 40 120	- 40 120
KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
•	•	•	•	•	•
9422A41	9422A51				
M12x1,75/52 45	M14x2/59 60				

9420A41	9420A51	9420A61	9420A71	9455	9456
M12×1/60 45	M14×1,5/62 60	M20×1,5/80 100	M27×2/102 200	M40×2 325	M64×3 600 (hydraulic)
<b>9547</b> 34 0,125	<b>9557</b> 40 0,125	<b>9567</b> 52 0,125	<b>9577</b> 75 0,125		
<b>9549</b> 34 30	<b>9559</b> 40 40	<b>9569</b> 52 50	<b>9579</b> 75 60		
<b>9545</b> 34 12	<b>9555</b> 40 13	<b>9565</b> 52 15	<b>9575</b> 75 17		
<b>9543</b> 30 8	<b>9553</b> 36 10	<b>9563</b> 52 14	<b>9573</b> 75 20		

## 1-Komponenten-Kraftmesselemente, Force Link

Technische Daten		Тур	9301C	9311C	9321C
	M M F <sub>F</sub>				
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	-3 3	-66	- 14 14
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>z</sub> F <sub>z</sub> F <sub>z</sub>	kN kN kN	0 3 0 – 3 0 0,03	0 6 0 – 6 0 0,06	0 14 0 – 14 0 0,14
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub>	pC/N	≈ – 3,1	≈ -3.4	≈ – 3,7
Abmessungen	D H M	mm mm	11 25 M5	15 30 M6	23 45 M10
Steifigkeit	C <sub>A,z</sub>	kN/µm	≈ 0,245	≈ 0,398	≈ 0,724
Eigenfrequenz	f <sub>n</sub> (z)	kHz	≈ 58,5	≈ 50,6	≈ 41,2
Gewicht		g	14	28	90
Betriebstemperaturbereich 1)		°C	- 40 120	- 40 120	- 40 120
Anschluss			KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
max. Schutzart nach IEC/EN (Kabelabhängig)	60529	IP65 IP68	•	•	•
Grundisoliert			•	•	•
Vorgespannt			•	•	•
Messbereit			•	•	•
Zubehör					
Druckkappe Abmessungen	D	Typ D (mm) H (mm)	<b>9500A0</b> 8,5 4	<b>9500A1</b> 12,5 6	<b>9500A2</b> 18 9
Flansch Abmessungen		Typ D (mm) H (mm)	<b>9501A0</b> 25 9	<b>9501A1</b> 34 11	<b>9501A2</b> 44 18

 $<sup>^{1)}</sup>$  Betriebstemperaturbereich ist abhängig vom verwendeten Kabel

**–** 160 ... 160 **-** 24 ... 24 – 36 ... 36 **-** 48 ... 48 **-** 80 ... 80 0 ... 24 0 ... 36 0 ... 48 0 ... 80 0 ... 160 0 ... – 24 0 ... – 36 0 ... - 80 0 ... – 48 0 ... – 160 0 ... 0,24 0 ... 0,36 0 ... 0,48 0 ... 0,8 0 ... 1,6 ≈ – 3,9 ≈ – 3,9 ≈ – 3,9 ≈ **-4,0** ≈ – 3,9 29 35 41 53 76 52 62 72 88 108 M20 M24 M12 M16 M30 ≈ 0,550 ≈ 1,51 ≈ 1,756 ≈ 2,597 ≈ 4,794 ≈ 20,7 ≈ 29,7 ≈ 27,9 ≈ 23,8 ≈ 19,9 170 330 480 1 020 2 500 – 40 ... 120 **-** 40 ... 120 – 40 ... 120 – 40 ... 120 **-** 40 ... 120 KIAG 10-32 neg. 9500A3 9500A4 9500A5 9500A6 9500A7 23 31 35 45 64 12 15 22 32 18 9501A3 9501A6 9501A7 9501A4 9501A5 56 70 84 102 136 22 29 37 44 53

9351C

9331C

9341C

9371C

9361C

## 1-Komponenten-Kraftmesselemente, Press Force

Technische Daten		Тур	9313AA1	9313AA2	9323AA	9323A
	D K F <sub>z</sub>					
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	0 5	0 20	0 10	0 20
Erlaubte Zugkraft	F <sub>z</sub>	kN	0 – 0,5	0 – 2	0 – 1	0 – 2
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>z</sub> F <sub>z</sub> F <sub>z</sub>	kN kN kN	0 0,05 0 0,5 0 5	0 0,2 0 2 0 20	0 0,1 0 1 0 10	0 0,2 0 2 0 20
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub>	pC/N	≈ - 10	≈ - 10	≈ − 9,6	≈ -3,9
Ausgangssignal		V				
Abmessungen	D K H	mm mm mm	13 M2,5 10	19 M4 14	20 M5×0,5 26	20 M5×0,5 26
Steifigkeit	c <sub>A,z</sub>	kN/μm	≈ 0,56	≈ 1,50	≈ 1,30	≈ 1,20
Eigenfrequenz	f <sub>n</sub> (z)	kHz	>38	>35	>74,5	>72
Gewicht		g	10	25	50	47
Betriebstemperaturbereich 1	1)	°C	- 40 120	- 40 120	- 40 120	- 40 120
Anschluss			KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg	KIAG 10-32 neg
max. Schutzart nach IEC/EI (Kabelabhängig)	N 60529	IP65 IP68 IP67	•	:	:	:
Vorgespannt			•	•	•	•
Messbereit			•	•	•	•
Zubehör						
Flansch Abmessungen	D D	Typ D (mm)	<b>9580A7</b> 27	<b>9580A8</b> 35	<b>9580A9</b> 40	<b>9580A9</b> 40
		H (mm)	7	8	8	8
Druckkappe Abmessungen	<b>D</b>	Typ D (mm) H (mm)	<b>9500A00</b> 6 3	<b>9500A01</b> 10,5 5	<b>9582A9</b> 20 8,5	<b>9582A9</b> 20 8,5
Montagezapfen Abmessungen		Typ D (mm) L (mm)	<b>9590A7</b> 5 12,5	<b>9590A8</b> 10 20,5		
Innengewindeadapter Abmessungen	D	Typ D (mm) H (mm)			<b>9584A9</b> 20 8	<b>9584A9</b> 20 8
Aussengewindeadapter Abmessungen	D	Typ D (mm) H (mm)			<b>9586A9</b> 20 8	<b>9586A9</b> 20 8

 $<sup>^{1)}</sup>$  Betriebstemperaturbereich ist abhängig vom verwendeten Kabel

9333A 9343A 9363A 9383A 9393A 9337A40 0 ... 50 0 ... 70 0 ... 120 0 ... 300 0 ... 700 0 ... 70 0 ... - 5 0 ... – 10 0 ... – 20 0 ... – 50 0 ... – 120 0 ... 0,5 0 ... 0,7 0 ... 1,2 0 ... 3 0 ... 7 0 ... 5 0 ... 5 0 ... 7 0 ... 12 0 ... 30 0 ... 70 0 ... 50 0 ... 50 0 ... 70 0 ... 120 0 ... 300 0 ... 700 ≈ -3,9 ≈ – 3,9 ≈ – 3,8 ≈ – 1,9 ≈ – 1,9 0 ... 10 30 100 145 50 36 54 M13×1 M20×1,5 M9×0,5 S28×2 31 190 34 42 60 130 45 ≈ 2,30 ≈ 2,60 ≈ 4,40 ≈ 7,90 ≈ 10,0 ≈ 2,34 >55 >47 >35 >17 >11,3 >32 137 240 800 6490 18663 520 **-** 40 ... 120 - 40 ... 120 <del>-</del> 40 ... 120 *-* 40 ... 120 **-** 40 ... 120 **–** 10 ... 70 KIAG 10-32 neg M12×1 8-pole, shielded 9580A0 9580A2 9580A4 9580A6 9580A1 9594A1 70 100 180 220 80 62 11 13 22 30 48 13 9582A0 9582A1 9582A2 9582A4 9582A6 9582A1 30 36,5 56 100 145 36,5 11 13 22 50 80 13 9584A0 9584A1 9584A2 9584A4 9584A6 9584A1 30 36,5 56 100 150 36,5 11 14 21 30 48 14 9586A0 9586A1 9586A2 9586A4 9586A6 9586A1 36,5 30 36,5 56 100 150 21 11 14 30 48 14

## 1-Komponenten-Kraftsensoren

Technische Daten		Тур	9101C	9102C
	D d d d d d d d d d d d d d d d d d d d		SILER SILER SILER	MALES AND
Messbereich	F <sub>z</sub> 1)	kN	0 20	0 50
Kalibrierte Messbereiche	nicht kalibrie	ert		
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub> 1)	pC/N	≈ – 4,4	≈ – 4,4
Abmessungen	D	mm	14,5	22,5
	d	mm	6,5	10,5
C1 :(: 1 : 1	Н	mm	8	10
Steifigkeit	C <sub>A,z</sub>	kN/μm	≈1,6	≈ 3,3
Gewicht  Retriebete vernevet urb eveleb 2)		g °C	7	20
Betriebstemperaturbereich <sup>2)</sup>			- 40 120	- 40 120
Anschluss			KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
Schutzart nach IEC/EN 60529 verschraubt mit Kabel (z.B. 1631C)		IP65	•	•
verschweisst mit Kabel (z.B. 1983AD		IP68	•	•
Vorspannschraube Gewinde×Steigung/Länge Vorspannkraft L	T <sub>n</sub>	<b>Typ</b> Fv (kN)	<b>9422A11</b> M5×0,8/26 5	<b>9422A21</b> M8×1,25/39 10
Vorspannelement Gewinde×Steigung/Länge Vorspannkraft	L	<b>Typ</b> Fv (kN)	<b>9420A11</b> M5×0,5/28 7	<b>9420A21</b> M8×1/40 18
Isolierscheibe Abmessungen	D + s	Typ D (mm) S (mm)	<b>9517</b> 14 0,125	<b>9527</b> 22 0,125
Druckkappe Abmessungen	D	Typ D (mm) H (mm)	<b>9519</b> 14 15	<b>9529</b> 22 20
Druckverteilring Abmessungen		Typ D (mm) H (mm)	<b>9515</b> 14 8	<b>9525</b> 22 10
Kugelscheibe Abmessungen	<b>○</b> ‡H	Typ D (mm) H (mm) (total)	<b>9513</b> 12 4	<b>9523</b> 21 6

<sup>1)</sup> ohne Vorspannung

14 www.kistler.com

(total)

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Betriebstemperaturbereich ist abhängig vom verwendeten Kabel

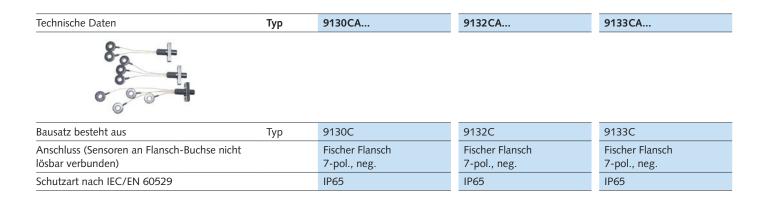
9103C	9104C	9105C	9106C	9107C
STER CONTRACT	STLER (6).	COLLA COLLA	STIER CONTRACT	KSTLER ETA STANDARD
0 100	0 140	0 190	0 330	0 700
≈ <b>-</b> 4,4	≈ <b>- 4,4</b>	≈ <b>-</b> 4,4	≈ <b>-</b> 4,4	≈ – 4,4
28,5	34,5	40,5	52,5	≈ - 4,4 77,5
13	17	21	26,5	40,5
11	12	13	15	17
≈ 5,2	≈ 7,5	≈ 9,8	≈ 15,4	≈ 27,7
36	70	80	157	370
- 40 120	- 40 120	- 40 120	- 40 120	- 40 120
KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
•	•	•	•	•
9422A31	9422A41	9422A51		
M10×1,5/46	M12×1,75/53	M14×2/60		
20	30	40		
9420A31	9420A41	9420A51	9420A61	9420A71
M10×1/46 30	M12×1/60 45	M14×1,5 / 62 60	M20×1,5/80 100	M27×2/102 200
30	.5		100	200
9537	9547	9557	9567	9577
28 0,125	34 0,125	40 0,125	52 0,125	75 0,125
-,	-,	57.25	57.25	-,
<b>9539</b> 28	<b>9549</b> 34	<b>9559</b> 40	<b>9569</b> 52	<b>9579</b> 75
25	30	40	50	60
9535	9545	9555	9565	9575
28	34	40	52	75 47
11	12	13	15	17
9533	9543	9553	9563	9573
24 7	30 8	36 10	52 14	75 20
		10	17	20

## 1-Komponenten-Kraftsensen, SlimLine

Technische Daten		Тур	9130C	9132C	9133C
	D d F <sub>1/2</sub>				25202
Messbereich	F <sub>z</sub> 1)	kN	0 3	0 7	0 14
Kalibrierte Messbereiche	nicht kalibriert				
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub> 1)	pC/N	≈ – 3,7	≈ −3,8	≈ −3,8
Abmessungen	D d H	mm mm mm	8 2,7 3	12 4,1 3	16 6,1 3,5
Steifigkeit	C <sub>A,Z</sub>	kN/μm	≈1	≈ 2,3	≈ 3,2
Gewicht (ohne Kabel)		g	1	2	3
Betriebstemperaturbereich		°C	- 40 120	- 40 120	- 40 120
Anschluss (mit integriertem Kabel)			KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int.
Schutzart nach IEC/EN 6052	!9	IP65	•	•	•
Zubehör					
Vorspannscheibe Abmessungen	G HI	Typ G L (mm) D (mm) H (mm)	9410A0 M2 8 8 3,5	<b>9410A2</b> M2,5 8 12 3,5	<b>9410A3</b> M3 10 16 4,25

<sup>1)</sup> ohne Vorspannung

## 1-Komponenten-Kraftsensor Bausätze bestehend aus 2, 3 oder 4 Sensoren



9134C...

9135C...

9136C...

9137C...









0 26	0 36	0 62	0 80
≈ −3,8	≈ − 3,8	≈ -3,8	≈ −3,8
20	24	30	36
8,1	10,1	12,1	14,1
3,5	3,5	4	5
≈ 5,9	≈ 8,2	≈ 13,2	≈ 19
5	7	14	27
- 40 120	- 40 120	- 40 120	- 20 120
KIAG 10-32 pos. int.			
•	•	•	•

9410A4	9410A5	9410A6	9410A7
M4	M5	M6	M8
10	10	14	16
20	24	30	36
4,25	4,25	5,5	7

9134CA	9135CA	9136CA	9137CA

9134C	9135C	9136C	9137C
Fischer Flansch	Fischer Flansch	Fischer Flansch	Fischer Flansch
7-pol., neg.	7-pol., neg.	7-pol., neg.	7-pol., neg.
IP65	IP65	IP65	IP65

## 1-Komponenten-Kraftmesselemente, SlimLine

Technische Daten		Тур	9173C	9174C
H H	G D			
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	-3 12	- 5 20
Kalibrierter Messbereich	$F_z$	kN	0 12	0 20
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub>	pC/N	≈ −3,5	≈ − 3,5
Abmessungen	D H h G	mm mm mm	18 22 14 M12×1,25	22 24 16 M16×1,5
Steifigkeit	c <sub>A,z</sub>	kN/μm	≈0,7	≈1,2
Eigenfrequenz	f <sub>n</sub> (z)	kHz	≈74	≈66
Gewicht (ohne Kabel)		g	28	40
Betriebstemperaturbereicl	'n	°C	- 20 80	- 20 80
Anschluss 1) (mit integriertem Kabel)			KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
Schutzart nach IEC/EN 60	)529		IP65	IP65
Grundisoliert			•	•
Vorgespannt			•	•
Messbereit			•	•
Anschluss Typ 1729A inkl (KIAG 10-32 pos. – 10-32			•	•
<b>Druckkappe</b> Abmessungen		Typ D (mm) H (mm)	<b>9416A3</b> 14 6	<b>9416A4</b> 18 8

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> mitgelieferte Steckerkupplung 1729A2 montiert

9175C

9176C

9177C



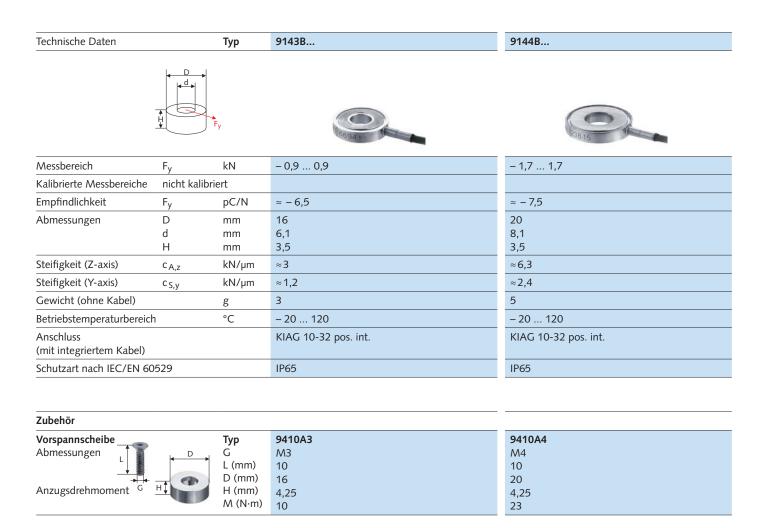




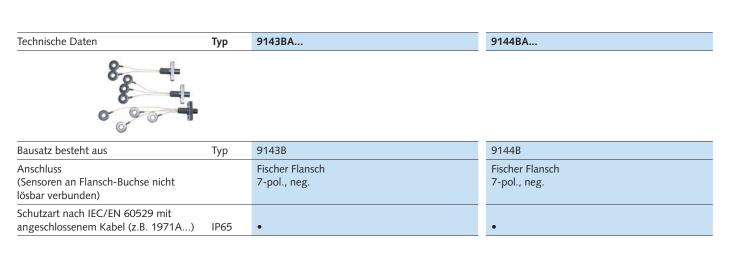
-8 30	<b>- 16 60</b>	– 20 75
0 30	0 60	0 75
≈ -3,5	≈ − 3,5	≈ − 3,5
26 28 19 M20×1,5	32 34 23 M24×2	38 38 28 M30×2
≈1,6	≈2,4	≈3,4
≈57	≈ 47	≈40
81	147	227
- 20 80	- 20 80	- 20 80
KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
IP65	IP65	IP65
•	•	•
•	•	•
•	•	•
•	•	•

ĺ	9416A5	9416A6	9416A7
	22	28	34
	9	9	9,8

## 1-Komponenten-Kraftsensoren, SlimLine für Schubkraft



# 1-Komponenten-Kraftsensor Bausätze für Schubkraft bestehend aus 2, 3 oder 4 Sensoren



9145B...

9146B...

9147B...







- 2,7 2,7	- 4 4	-8 8
≈ – 7,5	≈ – 7,5	≈ − 8,1
24	30	36
10,1	12,1	14,1
3,5	4	5
≈7,8	≈12,8	≈ 18,8
≈3,1	≈5,1	≈ 7,1
7	14	27
– 20 120	– 20 120	– 20 120
KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int.
IP65	IP65	IP65

9410A5	9410A6	9410A7
M5	M6	M8
10	14	16
24	30	36
24 4,25 46	5,5	7
46	79	135

9145BA	9146BA	9147BA
--------	--------	--------

9145B	9146B	9147B
Fischer Flansch	Fischer Flansch	Fischer Flansch
7-pol., neg.	7-pol., neg.	7-pol., neg.
•	•	•

## 1-Komponenten-Kraftmesselement, Kleinkraft

Technische Daten Typ		Тур	9205	9207
↑ - H	G F <sub>z</sub>			
Messbereich	F <sub>z</sub>	N	<b>-</b> 50 50	<b>-</b> 50 50
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>z</sub> F <sub>z</sub> F <sub>z</sub>	N N N	0 0,5 / 0 0,5 0 5 0 5 0 50 0 50	0 0,5 / 0 0,5 0 5 0 5 0 50 0 50
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub>	pC/N	≈ <b>–</b> 115	≈ – 115
Abmessungen	D H G	mm	M10×1 28,5 M3 (Innengewinde)	M10×1 28,5 M3 (Innengewinde)
Steifigkeit	c <sub>A,z</sub>	N/µm	≈ 4	≈ 4
Eigenfrequenz	f <sub>n</sub> (z)	kHz	>10	>10
Gewicht		g	19	19
Betriebstemperaturbereich 1	1)	°C	<b>-</b> 50 150	<b>-</b> 50 150
Anschluss			KIAG 10-32 neg., radial	KIAG 10-32 neg., axial
max. Schutzart nach IEC/El (Kabelabhängig)	N 60529		IP65	IP65
Vorgespannt			•	•
Messbereit			•	•
Zubehör				
<b>Koppelelement</b> Abmessungen		Typ D (mm) H (mm)	<b>9405</b> 6,3 18	<b>9405</b> 6,3 18
Kugelvorsatz Abmessungen		Typ D (mm) H (mm)	<b>3.220.139</b> <sup>2)</sup> 6,3 7	<b>3.220.139</b> <sup>2)</sup> 6,3 7

 $<sup>^{\</sup>mbox{\tiny 1)}}$ Betriebstemperaturbereich ist abhängig vom verwendeten Kabel

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> im Lieferumfang enthalten

### 9215A 9217A





<b>-</b> 20 200	<b>-</b> 500 500
0 2 0 20 0 200	0 5 0 – 50 0 50 0 – 500 0 500
≈ – 95	≈ – 105
M5×0,5 12,5 M2 (Innengewinde)	M10×1 28,5 M3 (Innengewinde)
≈ 100	≈ 15
>50	>20
2,5	16
<b>-</b> 50 180	<b>-</b> 50 150
M4×0,35 neg.	KIAG 10-32 neg.
IP65	IP65
•	•
•	•

	<b>9405</b> 6,3 18
3.220.2172)	3.220.139
4	6,3
3,8	7

## 1-Komponenten-Kraftmesselement, Miniatur

Technische Daten		Тур	9211	9213sp	9212
<u> </u>	F <sub>2</sub>		91.128	No. of the second secon	KISTLER
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	0 2,5	0 2,5	- 2,2 22,2
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>z</sub> F <sub>z</sub>	kN kN	0 0,25 0 2,5	0 0,25 0 2,5	0 2,2 0 22,2
Steifigkeit	c <sub>A,z</sub>	kN/μm	0,4	0,26	0,87
Eigenfrequenz	f <sub>n</sub> (z)	kHz	≈200	≈ 200	≈70
Empfindlichkeit	Fz	pC/N	≈ <b>-</b> 4,4	≈ <b>-</b> 4,4	≈ – 11.2
Abmessungen	D H G	mm mm	6	6 8,5 M2,5 (Innengewinde)	17,8 12,7 10-32 UNF
Gewicht		g	1,5	2	19
Betriebstemperaturbereich 1)		°C	- 40 200	<b>-</b> 40 200	<b>-</b> 196 150
Anschluss			KIAG 10-32	KIAG 10-32 BNC pos.	KIAG 10-32
Kabeltechnik Single wire mit/ohne Stecker Koaxial Auswechselbares Kabel	-		•	•	•
max. Schutzart nach IEC/EN (Kabelabhängig)	60529		IP65	IP65	IP65
Vorgespannt					•
Messbereit			•	•	•
Zubehör					
<b>Druckscheibe</b> <sup>2)</sup> Abmessungen		Typ D (mm) H (mm)	<b>9411</b> 5,5 2	<b>9413</b> 5,5/2,8 2	

 $<sup>^{\</sup>mbox{\tiny 1)}}$ Betriebstemperaturbereich ist abhängig vom verwendeten Kabel

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> im Lieferumfang enthalten



## Kistler als Entwicklungspartner

Wir sehen in jeder Anwendung eine spannende Herausforderung: ob beim Räumen, Sägen, Gewinden, Polieren, Hohnen oder bei klassischen Anwendungen wie beim Fräsen, Bohren, Drehen und Schleifen. Gerne finden wir als Entwicklungspartner gemeinsam mit Ihnen individuelle Lösungen für Ihre Messaufgaben. Hierbei können wir auf eine langjährige Erfahrung als Spezialist für die Messgrößen Kraft, Beschleunigung und akustische Emission zurückgreifen. Unsere Dienstleistungen reichen von der Beratung bis hin zum Engineering einer einbaufertigen Lösung

## Zerspanuntersuchung von Außenrundschleifen

Beim Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb an der TU Berlin wurden Schleifprozesse mit einem Sonderdynamometer analysiert. Bauteilqualität, Verschleißmechanismen oder das Grenzzeitspanvolumen konnten ermittelt und verbessert werden.

## Erfassen hochdynamischer Kräfte bei Schneidprozessen

Die piezoelektrischen Sensoren von Kistler zeichnen hochdynamische Prozesse in optimaler Signalqualität auf. Sie liefern aussagekräftige Prozessdaten, die wiederum als Grundlage für zuverlässige, effektive und reproduzierbare Fertigungsverfahren dienen.





### Mehrkomponenten-Kraftsensoren

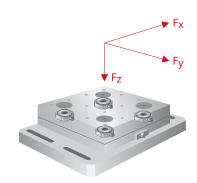
Die piezoelektrischen Sensoren von Kistler mit mehreren Messrichtungen stellen die Königsklasse der piezoelektrischen Kraftmessinstrumente dar. Im Gehäuse aus hochwertigen, ausgewählten Stählen sind die hochempfindlichen Messelemente kompakt eingebettet.

Die Mehrkomponenten-Messunterlagscheiben sind das Basiselement der Messtechnik. In sich selbst nur geringfügig vorgespannt, werden diese Sensorelemente in die Kundenstruktur integriert und mit der erforderlichen Vorspannung eingebaut. Diese Vorspannung entspricht einem Belastungsoffset. Unsere Force-Links erlauben den direkten kundenseitigen Einsatz und sofortiges Messen. Diese vorgespannten Kraftmesselemente sind werkseitig kalibriert. Sie sind entlang aller Mess-Achsen in beiden Richtungen verwendbar.

Mehrkomponenten-Kraftsensoren werden meist in Gruppen zu vier Stück in so genannte Dynamometer oder Messplattformen eingebaut. Einzelsignale der piezoelektrischen Sensoren können dabei durch Zusammenfassen der einzelnen Anschlüsse summiert werden. Die ermöglicht den Aufbau von Dynamometern mit 3-Komponenten-Kraftmessung bis zu 6-Komponenten-Kraft/ Momentenmessung. Kistler bietet dazu vorbereitete Sensor-Kits und auch einsatzfertige Dynamometer an.

### Vorteile

- Mehrkomponenten-Messung
- Hohe Steifigkeit, dadurch hohe Eigenfrequenzen erreichbar
- Dauerfestigkeit
- Hohe Belastbarkeit
- Kompakte Bauform



## 2-Komponenten-Sensoren, Miniatur

Technische Daten		Тур	9345B	9365B
	P <sub>z</sub>		There is a second of the secon	STILER
Messbereich	F <sub>z</sub> M <sub>z</sub>	kN N∙m	– 10 10 – 25 25	- 20 20 - 200 200
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>z</sub> M <sub>z</sub>	kN N·m	0 1 0 10 0 – 2,5/0 2,5 0 – 25/0 25	0 2 0 20 0 20/0 20 0 200/0 200
Steifigkeit (calculated)	C <sub>A,z</sub> C <sub>T,z</sub>	kN/μm N·m/μm	≈ 1,7 ≈ 0,19	≈ 2,8 ≈ 0,92
Eigenfrequenz	$f_n(z)$ $f_n(M_z)$	kHz kHz	>41 >32	>33 >25
Empfindlichkeit	F <sub>z</sub> M <sub>z</sub>	pC/N pC/N·m	≈ - 3,7 ≈ - 190	≈ - 3,6 ≈ - 140
Abmessungen	D H	mm mm	39 42	56,5 60
Gewicht		g	267	834
Betriebstemperaturbereich		°C	- 40 120	- 40 120
Anschluss			V3 neg.	V3 neg.
max. Schutzart nach IEC/EN 60529 (Kabelabhängig)			IP68	IP68
Vorgespannt			•	•
Messbereit			•	•



Mehrkomponenten-Kraftkalibrierung: Messen von Zylinderpositionen

## 3-Komponenten-Kraftsensoren

Tanknisaka Datan		T	00476/00496	9027C/9028C	
Technische Daten		Тур	9017C/9018C	9027C/9028C	
	D d F <sub>2</sub>	x y			
Messbereichs	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub>	kN kN	– 1,5 1,5 – 3 3 Standardeinbau mit 9,5 kN Vorspannung	- 4 4 - 8 8 Standardeinbau mit 20 kN Vorspannung	
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub> F <sub>z</sub> (ohne Vorspannung)	kN kN kN	0 1,5 0 3 0 12,5	0 4 0 8 0 28	
Empfindlichkeit	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub>	pC/N pC/N	≈ - 25 ≈ - 11	≈ - 7,8 ≈ - 3,8	
Abmessungen	D d H	mm mm mm	19 6,5 10	28 8,1 12	
Steifigkeit	C <sub>S,xy</sub> C <sub>A,z</sub>	kN/μm kN/μm	0,3 1,4	0,6 2,2	
Gewicht		g	14	30	
Betriebstemperaturbereich	1	°C	- 40 120	- 40 120	
Anschluss			V3 neg.	V3 neg.	
max. Schutzart nach IEC/ (Kabelabhängig)	EN 60529		IP68	IP68	
Zubehör	100000000000000000000000000000000000000				
Vorspannelement Gewinde × Steigung/Läng Vorspannkraft	re e	<b>Typ</b> Fv (kN)	<b>9460</b> M6×0,75/29 9,5	<b>9461</b> M8×1/40 20	
Schlüsseleinsatz		Тур	9479	9475	
Vorspannelement Gewinde × Steigung/Läng Vorspannkraft	e C	<b>Typ</b> Fv (kN)			
Schlüsseleinsatz		Тур			
Vorspannelement Gewinde × Steigung/Länge Vorspannkraft  Fv (kN)					
Schlüsseleinsatz		Тур			

### 9077D/9078D





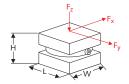


SSTLER 7	SSTER 900/10 900/10 93415 31211	SN1531217
<b>-</b> 15 15	- 30 30	- 75 75
- 30 30	- 60 60	<b>–</b> 150 150
Standardeinbau mit 70 kN Vorspannung	Standardeinbau mit 140 kN Vorspannung	Standardeinbau mit 350 kN Vorspannung
0 15	0 30	0 75
0 30	0 60	0 150
0 100	0 200	0 500
≈ − 8,1	≈ -8,1	≈ <b>-4,2</b>
≈ − 3,7	≈ – 3,9	≈ -2
45	65	105
14,1	26,5	40,5
14	21	26
1,9	2,4	8,4
6,1	8	26
91	285	1 040
– 40 120	- 40 120	- 40 120
V3 neg.	V3 neg.	V3 neg.
IP68	IP68	IP68
9465	9451A	
M14×1,5/57	M20×1,5/78	
70	140	
9472	9471	
		0.455

9465	9451A	
M14×1,5/57	M20×1,5/78	
70	140	
9472	9471	
		9455
		M40×2/105
		350
		9473
	9459	
	M26×0,75/76	
	140	
	9477	

## 3-Komponenten-Kraftmesselemente, Force Link

Technische Daten Typ 9317C 9327C







F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub>	kN kN	- 0,5 0,5 - 3 3	-11 -88
F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub>	kN kN	0 0,05 / 0 0,5 0 0,3 / 0 3	0 0,1 / 0 1 0 0,8 / 0 8
F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub>	pC/N pC/N	≈ - 25 ≈ - 11	≈ - 7,8 ≈ - 3,8
L×W×H	mm	25×25×30	42×42×42
C <sub>S,xy</sub> 1) C <sub>A,z</sub>	kN/μm kN/μm	0,19 0,9	0,39 1,4
$f_n(x), f_n(y)$ $f_n(z)$	kHz kHz	≈5,6 ≈20	≈3,2 ≈12
	g	85	380
	°C	- 40 120	- 40 120
		V3 neg.	V3 neg.
EN 60529		IP68	IP68
		•	•
		•	•
		•	•
	$F_{z}$ $F_{x}, F_{y}$ $F_{z}$ $F_{x}, F_{y}$ $F_{z}$ $L \times W \times H$ $C_{S,xy}^{(1)}$ $C_{A,z}$ $f_{n}(x), f_{n}(y)$ $f_{n}(z)$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$

<sup>1)</sup> ohne Berücksichtigung der Biegung

9347C

### 9367C

### 9377D/9378D

### 9397D/9398D









- 10 10 - 60 60	- 30 30 - 150 150	- 60 60 - 200 450
0 1 / 0 10	0 3 / 0 30	0 4,5 / 0 45 0 30 / 0 300
≈ – 7,6	≈ -3,9	≈ - 3,7 ≈ - 1,95
80×80×90	120×120×125	1,55
1,2 3,8	3,2 8,2	2,37 11,58
≈ 2,4 ≈ 6	≈2 ≈6	≈10,3 ≈12,7
3 000	10 500	13 840
– 40 120	- 40 120	- 40 80
V3 neg.	V3 neg.	V3 neg.
IP68	IP68	IP68
•	•	•
•	•	•
•	•	•
- C C - « - 8 - 1 3 - « - 3 1	660 60 2 1 / 0 10 3 6 / 0 60 2 - 7,6 3 - 3,9 30×80×90 ,2 3,8 42,4 46 3 000 4 40 120 /3 neg.	- 60 60

# Innovativer piezoelektrischer 6-Komponenten-Kraft-Moment-Sensor

Kistler ist stolz darauf, der erste Sensorentwickler zu sein, der einen piezoelektrischen 6-Achsen-Kraft-/Momenten Sensor im Portfolio hat - speziell optimiert für hochdynamische Messungen mit großem Messbereich. Er ist in der Lage, drei Kräfte und drei Momente präzise, direkt und ohne Berechnung zu messen. Außerdem ist es möglich die Momentenbereiche unabhängig vom Kraftbereich einzustellen. Dank des piezoelektrischen Messprinzips können sehr kleine Momente und Kräfte bei hohen statischen Vorlasten zuverlässig gemessen werden. Basierend einer technologischen Innovation unseres Forschungs- und Entwicklungsteams haben wir ein wirklich einzigartigen 6-Komponenten-Kraft-Momenten-Sensor.

linstallation mit nur 2 Steckern. Im Vergleich zu einem piezoelektrischen Dynamometer ist der 6-Achsen-Kraft-Momenten-Sensor wesentlich kompakter. Der 6-Achsen-Kraft-/Momenten-Sensor Typ 9306A ist idealerweise zusammen mit dem Ladungsverstärker LabAmp Typ 5167A zu kombinieren.

Zudem ermöglicht die Anschlusstechnik eine sehr einfache Kabe-

Typ 9306A kann zum Beispiel für Folgendes verwendet werden:

- Zum Prüfen von Bauteilen wie z.B. Federn
- Zur Analyse von Transferwegen in der Automobilindustrie
- In der Robotik an den Gelenken
- Für Windkanalanwendungen in der Luft- und Raumfahrtindustrie
- Mikro-Vibrationstests
- Messungen an Reaktionsrädern
- Flattermessungen



			9306A	9306A31	9306A41
Messbereiche	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub>	kN	-5 5	-1 1	5 5
	F <sub>z</sub>	kN	-5 10	<b>-</b> 2 2	- 5 10
	$M_x$ , $M_y$ , $M_z$	Nm	± 200	± 100	± 150
Kalibrierte Messbereiche	$F_x$ , $F_y$	kN	± 10	± 4	± 5
	$F_z$	kN	± 30	± 4	± 10
	$M_x$ , $M_y$	Nm	± 400	± 100	± 300
	$M_z$	Nm	± 400	± 100	± 200
Eigenfrequenz	$fn(F_x, F_y, F_z)$	kHz	>18	>13	>12
	$fn(M_x, M_y, M_z)$	kHz	>11	>11	>8,5
Empfindlichkeiten	$F_x$ , $F_y$	pC/N	≈ – 7,3	≈ – 6,9	≈ – 7,0
	$F_z$	pC/N	≈ – 3,6	≈ – 3,7	≈ – 3,5
	$M_x$ , $M_y$	pC/Nm	≈ – 255	≈ – 265	≈ – 250
	$M_z$	pC/Nm	≈ – 225	≈ – 205	≈ – 220
Abmessungen	D	mm	62	83	86
	h	mm	90	45	62
Gewicht	kg		1,5	0,94	1,75
Betriebstemperaturbereich	°C		- 40 80	- 40 80	- 40 80
Anschlüsse (2x)			V3 neg.	V3 neg.	V3 neg.
maximale Schutzart nach IEC/EN 60529 (Kabelabhängig)			IP68	IP68	IP 68
Messbereit			•	•	•
Zubehör					
	Тур		1698ABB	1698ABB	1698ABB
	Тур		1698ABW	1698ABW	1698ABW

## Dynamometer und Kraftmesselemente Bausätze

Neben den klassischen Dynamometern bietet Kistler auch auch Quarzkraftglieder-Bausätze an.

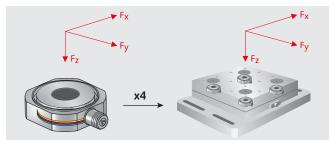
Je nach Anwendung ist eine der beiden folgenden Versionen geeignet:

- Leistungsbremsen
- 3-Komponenten-Quarz-Kraftmessbolzen-Bausätze

Beide Versionen ermöglichen sowohl 3-Komponenten-Kraftmessungen ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) sowie 6-Komponenten-Kraft-/Drehmomentmessung ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ); die Drehmomente werden in diesem Fall nicht gemessen, sondern aus den Kraftkomponenten und den geometrischen Abmessungen der Leistungsbremse berechnet.

### Dynamometer

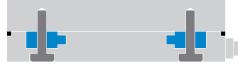
Der Dynamometer besteht aus vier einzelnen 3-Komponenten-Kraft Sensoren, die mit hoher Vorspannung zwischen einer Grundplatte und einer Deckplatte eingebaut sind. Die Dynamometer sind bereits vorgespannt und kalibriert für die 3-Komponenten-Kraftmessung ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ), daher ist es sehr einfach, sie in die Anwendung zu integrieren und sofort zu nutzen.



Aufbau eines Dynamometers aus vier 3-Komponenten-Kraftsensoren

Es gibt zwei verschiedene Ausführungen von Dynamometern: Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Vorspannung (horizontal oder vertikal).

Die **vertikale Vorspannung** ist die klassische Methode für den Aufbau eines Dynamometers. In diesem Fall werden Vorspannschrauben verwendet 3-Komponenten-Kraftsensoren in vertikaler Richtung zwischen Grundplatte und Deckplatte vorgespannt.



Schematische Darstellung eines vertikal vorgespannten Dynamometers

#### Vorteile von Dynamometern mit vertikaler Vorspannung

- Größerer Messbereich
- Praktisch keine Begrenzung der Gesamtabmessungen

Weit weniger verbreitet ist die von Kistler patentierte, horizontale Vorspannung. In diesem Fall wird der klassische Aufbau mit Grund- und Deckplatte nicht mehr verwendet, sondern es werden zwei 3-Komponenten-Kraftsensoren zwischen den beiden Seiten- und Deckplatten in horizontaler Richtung vorgespannt.



Schema vertikal vorgespanntes Dynamometer

#### Vorteile von Dynamometern mit horizontaler Vorspannung

- Thermische Einflüsse auf Signale werden deutlich minimiert
- Kompakte Bauweise
- Höhere Eigenfrequenzen

### 3-Komponenten-Kraftbrücken-Bausätze

Ein 3-Komponenten-Quarzkraftglieder-Bausatz besteht aus vier bereits vorgespannten 3-Komponenten-Quarz-Kraftgliedern, deren Ausgänge auf eine Summierbox geführt sind. Bausätze sind ideal für Kunden, die ihre eigenen Kraftmessplatten mit spezifischen Abmessungen für die Grund- und Deckplatten herstellen wollen. Zudem sind die Bausätze bereits werkseitig als Kraftmessplatten (F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub>) kalibriert. Im Gegensatz zu Dynamometern sind die 3-Komponenten Quarzkraftbrücken-Bausätze nur in der Ausführung mit vertikaler Vorspannung erhältlich.

### Dynamometer



- + Vorgefertigtes Standard-Dynamometer
- sofort messbereit
- + Geprüfte Spezifikationen (in F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub>)
- Geometrische Abmessungen sind vorgegeben und können nicht verändert werden

### 3-Komponenten-Quarz-Kraftschluss-Bausätze



- + Montagesatz für Anwender zum Zusammenbau ihrer eigenen applikationsspezifischen Kraftmessplatte
- + Kundenspezifische Abmessungen für Grund- und Deckplatte
- + Bausatz ist vorkalibriert
- Der Kunde ist verantwortlich für die Einhaltung der Spezifikationen
- Erheblicher Aufwand ist erforderlich bevor die Kraftmessplatte komplett und messbereit ist (Konstruktion und Fertigung der Grund- und Deckplatte, sowie der Montage); dies erfordert das entsprechende Know-how

## Mehrkomponenten-Dynamometer/Kraftmessplattformen

Technische Daten		Тур	9109	9119AA1	9119AA2	9129AA	9139AA
			H O Fy	H RISTLER	H KISTLER	W F <sub>2</sub> L F <sub>X</sub>	H SISTER
Messbereich	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub> M <sub>z</sub>	kN kN N·m	- 0,5 0,5 - 0,5 0,5 - 50 50	-4 4 -4 4	- 4 4 - 4 4	- 10 10 - 10 10	- 30 30 - 30 30
Kalibrierte Messbereiche	F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> F <sub>z</sub> M <sub>x</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> -M <sub>z</sub>	kN  kN  N·m  N·m  N·m  N·m	0 0,5 0 0,05 0 0,01 0 0,5 0 0,05 0 0,05	0 0,04 0 0,4 0 4 0 0,04 0 0,4 0 4	0 0,04 0 0,4 0 4 0 0,04 0 0,4 0 4	0 0,1 0 1 0 10 0 0,1 0 1	0 0,3 0 3 0 30 0 0,3 0 3 0 3
Eigenfrequenz		kHz kHz kHz kHz	>15 >15 >15 >15	≈ 6,0 ≈ 6,4 ≈ 6,3	≈ 4,3 ≈ 4,6 ≈ 4,4	≈ 3,5 ≈ 4,5 ≈ 3,5	≈ 2,9 ≈ 2,9 ≈ 3,0
Empfindlich- keit	F <sub>x</sub> F <sub>y</sub> F <sub>z</sub> M <sub>z</sub>	pC/N pC/N pC/N pC/Nm	≈ - 12,5 ≈ - 12,5 ≈ - 20	≈ - 26 ≈ - 13 ≈ - 26	≈ - 26 ≈ - 13 ≈ - 26	≈ - 8 ≈ - 4,1 ≈ - 8	≈ - 8,2 ≈ - 4,2 ≈ - 8,2
Abmessungen	L W H D	mm mm mm mm	30 30 29	39 80 26	55 80 26	90 105 32	140 190 58
Gewicht		kg	1,04	0,93	1,35	3,2	12,9
Betriebstemper bereich	ratur-	°C	- 20 70	- 20 70	- 20 70	- 20 70	- 20 70
Anschluss			Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer flange, 9-pole, neg.
Schutzart nach 60529 mit ang senem Kabel		IP67	•	•	•	•	•
Messbereit			•	•	•	•	•
Zubehör							
Anschlusskabe		Тур	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)
	2	Тур	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)

 $<sup>^{1)}</sup>$  Abhängig von Deckplattengrösse und -material

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> Montiert auf Stahldeckplatte 300×300×35 mm

9255C	9257B	9272	9236A1	9236A2	9366CC
H F <sub>2</sub>	H F <sub>z</sub>	F <sub>x</sub>	H M <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\$	F <sub>X</sub>
- 30 30 - 10 60	-5 5 -5 10	-55 -520 -200200	-5 5	-5 5	- 25 25 <sup>1)</sup> - 25 60 <sup>1)</sup>
0 3 0 30	0 0,5 0 5	0 0,5 0 5	0 0,2	0 0,1	0 2,5 <sup>1)</sup> 0 25 <sup>1)</sup>
0 6 0 60	0 1 0 10	0 2 0 20	0 0,2	0 0,1	0 6 <sup>1)</sup> 0 60 <sup>1)</sup>
		0 ±20 0 ±200	0 30 0 30 0 30	0 19,5 0 – 19,5 0 19,5	
≈ 2,2 ≈ 2,2 ≈ 3,3	≈ 2,3 ≈ 2,3 ≈ 3,5	≈ 3,1 ≈ 3,1 ≈ 6,3 ≈ 4,2	≈ 2,6 ≈ 2,6 ≈ 4,5	≈ 1,9 ≈ 1,9 ≈ 2,5	≈ 0,2 ≈ 1,6 <sup>2)</sup> ≈ 0,2 ≈ 1,6 <sup>2)</sup> ≈ 0,2 ≈ 1,6 <sup>2)</sup>
≈ - 7,9 ≈ - 7,9 ≈ - 3,9	≈ - 7,5 ≈ - 7,5 ≈ - 3,7	≈ - 7,8 ≈ - 7,8 ≈ - 3,5 ≈ - 160	≈ - 7,8 ≈ - 7,8 ≈ - 3,8	≈ - 7,8 ≈ - 7,8 ≈ - 3,8	≈ - 7,8 ≈ - 7,8 ≈ - 308
260 260 95	170 100 60	70 100	260 260 95	400 400 95	90 72
52	7,3	4,2	31,5	72	7
- 20 70	0 70	0 70	0 60	0 60	- 20 70
Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer Flansch, 9-pol., neg.	Fischer flange, 9-pole, neg.
•	•	•	•	•	•
•	•	•	•	•	•
1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)	1687B5 (3-Komp.), 1677A5 (6-Komp.)
1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)	1689B5 (3-Komp.), 1679A5 (6-Komp.)



## Dehnungssensoren

Mit piezoelektrischen Sensoren von Kistler können die an einer Struktur auftretenden Dehnungen hochauflösend gemessen werden.

Dazu wird der Sensor an einer geeigneten Stelle montiert. Soll indirekt eine Kraft gemessen werden, wird eine Kalibrierung des Sensors durchgeführt. Relevant sind dabei die Geometrie der Struktur und der E-Modul des Materials sowie die mechanische Spannung.

$$\sigma\!=\!\frac{F}{A}\quad\text{und die Dehnung}\quad \epsilon\!=\!\frac{\Delta I}{I_0}$$

Die Oberflächendehnungssensoren werden mit der Montageschraube an die Struktur geschraubt. Durch Haftreibung wird die Dehnung der Struktur als Schubkraft an das Messelement übertragen.

Die Dehnungs-Messdübel erfordern für die Montage eine zylindrische Bohrung, in welcher der Sensor dann eingesetzt und verspannt wird Kistler bietet Sensoren zur Dehnungsmessung in axialer und radialer Ausrichtung zur Bohrungsachse an.

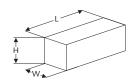
### Vorteile

- Dauerfestigkeit, kein Kriechen
- Überlastsicher
- Preis-Leistungs-Verhältnis
- Hohe Belastbarkeit
- Einfache Montage
- Störungsresistent
- Problemloses Nachrüsten möglich



# Oberflächen-Dehnungssensor

Technische Daten Typ 9232A... 9237B... 9238B...









	με	- 600 600	- 800 800	- 20 20 to - 800 800
*	με	0 – 300 0 300	0 500	0 50 0 500
	ρC/με	≈ -80	≈ – 34	
	V			±10 (programmierbar ±1 10)
L W H	mm mm mm	40 17 15	51,5 25,4 26,7	68,1 26,9 27,5
f <sub>n</sub>	kHz	≥12	≥6	
	g	50	165/190	190
ch	°C	0 70	- 30 120	- 10 70
		KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	M12×1 8-pol., geschirmt
Serielle Schnittstelle				RS-232C
maximale Schutzart nach IEC/EN 60529 (Kabelabhängig)		IP67	IP65	IP67
		•	•	•
	L W H fn	PC/με V  L mm W mm H mm f <sub>n</sub> kHz g	$^*$ με $0300$ $0300$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$	$^*$ $με$ $0 300$ $0 500$ $pC/με$ $≈ - 80$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$ $^*$

<sup>\*</sup> Angaben gelten nur für den bei Kistler verwendeten Prüfaufbau. Für eine genaue Kraftmessung muss der Sensor nach der Montage neu kalibriert werden.



Oberflächendehnungssensor für die indirekte Messung der Prozesskräfte an der Messunterlagsscheibe

# Dehnungsmessdübel

Technische Daten	Tvp	92404	9241C
recinisene Daten	ıyp	J240A	J241C







Messbereich		με	0 500	0 500
Kalibrierte Messberei	che*	με	0 200	0 200
Empfindlichkeit*		ρC/με	≈ −9,5	≈ – 15
Abmessungen	D L	mm mm	8 14,5	10 18
Vorspannhohlschraub	pe			
Eigenfrequenz	f <sub>n</sub>	kHz		
Gewicht		g	34	38
Betriebstemperaturbe	ereich	°C	- 40 200	- 40 200
Anschluss			M3 pos. KIAG 10-32 pos.	Mini-Coax neg. KIAG 10-32 pos.
max. Schutzart nach (Kabelabhängig)	IEC/EN 60529		IP64	IP64

Zubehör			
Montagewerkzeug	Тур	1300A161A100	1393B
	Тур	1300A163A300	1393Bsp100-300
Kalottendruckstück	Тур		
Masseisolationsset	Тур		
Ausreibwerkzeug	Тур		
Gewindebohrer	Тур		

<sup>\*</sup> Angaben gelten nur für den bei Kistler verwendeten Prüfaufbau. Für eine genaue Kraftmessung muss der Sensor nach der Montage neu kalibriert werden.







– 1 500 1 500 (bei Nennvorspannung)	– 1 500 1 500 (bei Nennvorspannung)	- 1 400 1 400 (bei Nennvorspannung)
0 350	0 350	nicht kalibriert
≈ – 15	≈ <b>1</b> 5	≈8,6
8 13	M10×1 29	M5×0,5 23,7
M10×1		
>110	>50	
4,8 (ohne Kabel und Vorspannschraube)	36	2,5
- 40 200	- 40 350	- 40 200
M4×0,35 neg.	Fischer KE 102 neg.	M4×0,35 neg.
IP67	IP67	IP67

1385B200		1300A9
1385Bsp100-800 / 1387sp100-800		
9841		
9487A		
1300A21	1300A21	1300A79/1300A79Q01
		1357A

# 1-Komponenten-DMS Kraftsensoren



Tvn	4576A	

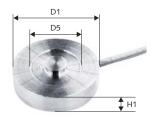
Technische Daten		Тур	4576A0,5	4576A1	4576A2
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	- 0,5 0,5	-11	-2 2
Abmessungen	Н	mm	16	16	16
Ü	D1	mm	54,5	54,5	54,5
	TK	mm	45	45	45
	X	mm	4,5	4,5	4,5
	Υ	mm	8	8	8

Technische Daten		Тур	4576A5	4576A10	4576A20
Messbereich	Fz	kN	-5 <b>5</b>	- 10 10	- 20 20
Abmessungen	Н	mm	16	16	25
	D1	mm	54,5	54,5	79
	TK	mm	45	45	68
	X	mm	4,5	4,5	4,5
	Υ	mm	8	8	8

Technische Daten		Тур	4576A50	4576A100	4576A200
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	- 50 50	- 100 100	- 200 200
Abmessungen	Н	mm	35	50	50
_	D1	mm	119	155	155
	TK	mm	105	129	129
	X	mm	6,6	13,5	13,5
	Υ	mm	11	20	20

Allgemeine technische Daten				
Nennkennwert	mV/V	1,5 (optional: 1,0)		
Gewicht	Kg	0,25 5,0		
Betriebstemperaturbereich	°C	15 70		
Gebrauchstemperaturbereich	°C	- 30 80		
Brückenwiderstand	Ω	350		
Anschluss für maXYmos Familie		D-Sub 9-pol. plug		
Schutzart nach IEC/EN 60529		IP52 (0 10 kN) IP67 (20 200 kN)		

Zubehör	
Verbindungskabel, 5 m, Typ 6-pol./6-pol.	KSM071860-5
Verbindungskabel, 5 m, Typ 6-pol./frei	KSM103820-5



Тур 4577А...

Technische Daten		Тур	4577A0,1	4577A0,2	4577A0,5	4577A1
Messbereich	Fz	kN	0,1	0,2	0,5	1
Brückenwiderstan	d	Ω	350	350	350	350
Abmessungen	H1	mm	9,9	9,9	9,9	9,9
	D1	mm	31,8	31,8	31,8	31,8
	D5	mm	19	19	19	19

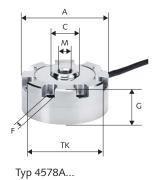
Technische Daten		Тур	4577A2	4577A5	4577A10	4577A20
Messbereich	$F_z$	kN	2	5	10	20
Brückenwiderstan	d	Ω	350	700	700	700
Abmessungen	H1	mm	9,9	9,9	9,9	16
	D1	mm	31,8	31,2	31,2	37,6
	D5	mm	19	19,5	19,5	25,7

Technische Daten		Тур	4577A50	4577A100	4577A200
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	50	100	200
Brückenwiderstan	nd	Ω	700	700	350
Abmessungen	H1	mm	16	25,4	38,1
	D1	mm	37,6	50,3	76,2
	D5	mm	25,7	34,7	45

Allgemeine Technische Daten				
Nennkennwert	mV/V	1		
Gewicht	Kg	0,04 1,2		
Betriebstemperaturbereich	°C	15 70		
Gebrauchstemperaturbereich	°C	- 20 100		
Anschluss für maXYmos Famil	ie	D-Sub 9-pol. plug		
Schutzart nach IEC/EN 60529		IP64		

Zubehör	Zubehör						
Verbindungskabel, 5 m, 6-pol./6-pol.	Тур	KSM071860-5					
Verbindungskabel, 5 m, 6-pol./free	Тур	KSM103820-5					

# 1-Komponenten-DMS Kraftsensoren



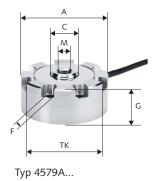
Technische Daten		Тур	4578A0,1	4578A0,2	4578A0,5	4578A0,5	
Messbereich	$F_z$	kN	- 0,1 0,1	- 0,2 0,2	- 0,5 0,5		
Abmessungen	Α	mm	70	70	70		
	C	mm	20	20	20		
	F	mm	6,4	6,4	6,4		
	M	mm	M12	M12	M12		
	G	mm	28	28	28		
	TK	mm	60	60	60		

Technische Daten		Тур	4578A1	4578A2	4578A5
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	-11	-2 2	-5 5
Abmessungen	A C F M G TK	mm mm mm mm mm	70 20 6,4 M12 28 60	70 20 6,4 M12 28 60	70 20 6,4 M12 28 60

Technische Daten		Тур	4578A10
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	<b>- 10 10</b>
Abmessungen	А	mm	70
_	C	mm	20
	F	mm	6,4
	M	mm	M12
	G	mm	28
	TK	mm	60

Allgemeine technische Daten					
Nennkennwert	mV/V	2,0±0,005			
Gewicht (ohne Kabel)	Kg	≤0,5			
Betriebstemperaturbereich	°C	15 50			
Gebrauchstemperaturbereich	°C	- 20 50			
Brückenwiderstand	Ω	350			
Anschluss für maXYmos Fami	lie	9-pol. D-Sub-Stecker			
Schutzart nach IEC/EN 60529		IP42			

Zubehör					
Krafteinleitungskalotte	Тур	4578AZ01			



Technische Daten		Тур	4579A20	4579A50	4579A100
Messbereich	$F_z$	kN	- 20 20	<b>-</b> 50 50	- 100 100
Abmessungen	Α	mm	150	150	165
_	C	mm	40	40	50
	F	mm	11	11	13
	M	mm	M24×2	M24×2	M36×3
	G	mm	40	40	42
	TK	mm	130	130	145

Technische Daten		Тур 4579А200		4579A300	4579A500	
Messbereich	F <sub>z</sub>	kN	- 200 200	- 300 300	- 500 500	
Abmessungen	A	mm	165	203	203	
	C	mm	50	94	94	
	F	mm	13	13	13	
	M	mm	M36×3	M45×3	M45×3	
	G	mm	42	64	64	
	TK	mm	145	165	165	

Allgemeine technische Daten										
Nennkennwert	mV/V	2,0±0,005								
Gewicht (ohne Kabel)	Kg	3,7 14,4								
Betriebstemperaturbereich	°C	15 50								
Gebrauchstemperaturbereich	°C	- 20 50								
Brückenwiderstand	Ω	350								
Anschluss für maXYmos Famil	ie	D-Sub 9-pol. plug								
Schutzart nach IEC/EN 60529		IP67								

Zubehör		
Krafteinleitungskalotte, Messbereich 20/50 kN	Тур	4579AZ20/50
Krafteinleitungskalotte, Messbereich 100/200 kN	Тур	4579AZ100/200
Krafteinleitungskalotte, Messbereich 300/500 kN	Тур	4579AZ300/500

### Kabel

Für piezoelektrische Kraftsensoren und Ladungsverstärker ist ein Anschluss mit hochisolierenden Kabeln zwingend (Isolationswiderstand  $>10^{13} \Omega$ ).

Im Gegensatz zu herkömmlichen Koaxialkabeln ist die innerste Ader eines hochisolierenden Kabels mit PTFE isoliert. So lässt sich der Drifteffekt auf ein Minimum reduzieren. Eine spezielle Graphitummantelung minimiert darüber hinaus den triboelektrischen Effekt. Für die äußere Isolierung stehen zahlreiche Ausführungen mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung (siehe Abschnitt Kabelvarianten).

### Kabeltypen

### Single-wire

### PFA Kabel (ø2 mm/ø0,08 in)

Die äußere Isolierung eines hochisolierenden PFA-Kabels besteht aus einem PTFE-ähnlichen Material mit hervorragender thermischer und chemischer Beständigkeit. PFA-Kabel eignen sich für die meisten Anwendungen mit Temperaturen bis zu 200°C (392°F).

PFA-Kabel

#### FKM Kabel (ø2 mm/ø0,08 in)

Auch FKM-Kabel zeichnen sich durch eine hohe thermische und chemische Beständigkeit aus und können für Temperaturen bis zu 200°C (392°F) eingesetzt werden. Im Gegensatz zu PFA-Kabeln werden die Anschlüsse jedoch vulkanisiert. Durch das Verschweißen von Kabel- und Sensoranschluss lässt sich eine Schutzklasse bis zu IP68 erreichen.

FKM-Kabel

#### Mehrfachdraht

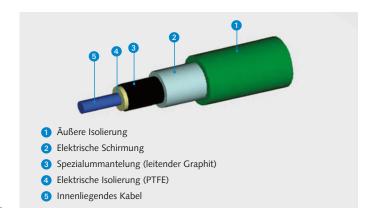
### TPE Kabel (ø3,6 mm/ø0,14 in)

Dieses TPE Kabel besteht aus 3 hochisolierenden Einzelkabeln mit einer TPE-Ummantelung aus einem thermoplastischen Elastomer. Sie eignen sich für Anwendungen mit Temperaturen bis zu 120°C (248°F) unter harten Einsatzbedingungen (z. B. Staub und Spritzwasser).

TPE-Kabel

#### Spezielle PI-Kabel

PI-Kabel werden für Anwendungen mit hohen Temperaturen bis zu 260°C (500°F) empfohlen. Da PI-Kabel nur selten verwendet werden und ihr Einsatz spezielle Fachkenntnisse erfordert, sind sie in diesem Katalog nicht aufgelistet. Für ausführliche Informationen wenden Sie sich bitte an Ihr Kistler Sales Center.



Aufbau eines hochisolierenden Kabels von Kistler

### Kabelvarianten

#### Kunststoffgeflecht

Einzeldrahtkabel (zumeist aus PFA), die zu Kabelbäumen zusammengefasst werden, müssen durch ein Kunststoffgeflecht zusammengehalten werden, wobei das Geflecht keinerlei Einfluss auf die Kabeleigenschaften hat.

PFA-Kabel mit Kunststoffgeflecht

### Edelstahlgeflecht

Ein Edelstahlgeflecht schützt die Kabel vor mechanischer Beanspruchung unter widrigen Umgebungsbedingungen (z. B. vibrationsbedingte Reibung, scharfe Kanten etc.). Je nach Kabel- und Anschlussausführung sind diese Installationen hoch temperaturbeständig und reichen bis zur Schutzart IP68.



Edelstahlgeflecht

### Flexibler Edelstahlschlauch

Flexible Edelstahlschläuche werden zur Dynamometerverkabelung verwendet und können bis zu 8 Kabel aufnehmen. Dank ihrer robusten Bauweise eignen sie sich – je nach angeschlossener Ausrüstung – für die Schutzart IP67 und widerstehen sehr rauen Betriebsbedingungen.



Edelstahlschlauch

#### Kabellängen

Die Kabel von Kistler sind in Standard- und Sonderlängen erhältlich. Standardlängen sind vorrätig und deshalb auch kurzfristig lieferbar.

### Anschlüsse

Nachstehend finden Sie eine Übersicht der Anschlüsse und Anschlussvarianten der hochisolierenden Kabel von Kistler.

#### Anschlusstypen

Die unterschiedlichen Anschlusstypen lassen sich nur mithilfe von Adaptern untereinander kombinieren. Kistler deckt folgende Anschlusstypen in der Kraftmesskette ab:

• 1-Komponente: KIAG 10-32

M4x0,35 BNC TNC

2-/3-Komponenten: V3 (3-pol.)
Mehrfachkomponenten: Fischer (7-/9-pol.)

Die einpoligen Anschlüsse KIAG 10-32 pos. int. und M4x0,35 pos. int. mit integriertem Gewinde sind fest mit dem Kabel verbunden, so dass sich das Kabel beim Festziehen bzw. Lösen des Anschlusses mitdreht. Diese Anschlüsse eignen sich besonders für raue Betriebsbedingungen und Einmal-Installationen. Für Labor- und Prüfstandanwendungen mit häufig wechselnden Prüfaufbauten ist dagegen ein Standardanschluss (mit Überwurf- oder Sechskantmuttern) zu empfehlen.

### **Anschlusstypen**

#### **BNC**

Der BNC-Kabelanschluss wird häufig für Ladungsverstärker verwendet. Die meisten Kabel sind in dieser Ausführung erhältlich. Für Anwendungen mit kleinen Kabeldurchführungen sind sie jedoch nicht geeignet.

### TNC

Der TNC-Anschluss ist eine besondere Variante des BNC-Anschlusses, der nur für bestimmte Anwendungen verwendet wird und für piezoelektrische Sensoren nur selten zum Einsatz kommt.

#### KIAG 10-32

KIAG 10-32 ist der Standardanschluss für die meisten Einzelmessgrößensensoren. Es handelt sich um einen schlanken Koaxialanschluss nach dem angelsächsischen Messsystem.

#### M4x0.35

M4x0,35 ist eine Alternative zu KIAG 10-32, basiert jedoch auf dem metrischen Messsystem.

#### ٧3

V3 ist ein geschützter 3-Komponenten-Anschluss für triaxiale Sensoren von Kistler. Er ist verdrehsicher und verhindert Fehler bei der Kabelführung.

#### Fischer

Mit einem Fischer-Anschluss lassen sich mehrere Kabel in einem Anschluss verlegen. Dieser Anschlusstyp wird häufig für Dynamometer verwendet. Das Routing erfolgt entweder 1-zu-1 oder durch das Zusammenlegen mehrerer Signale. Fischer-Anschlüsse sind mit unterschiedlichen Polanzahlen lieferbar.



KIAG 10-32 pos. – Anschluss mit verdrehbarer Überwurfmutter



KIAG 10-32 pos. int. - Anschluss mit integriertem Gewinde

### **Anschlussvarianten**

### Pos./neg.

Damit Sensor und Kabel zusammenpassen, muss ein negativer Anschluss mit einem positiven Anschluss kombiniert werden. Voraussetzung dafür ist die Verwendung desselben Anschlusstyps.

### Int. (verschweißbar)

Diese Anschlussvariante besitzt ein integriertes Gewinde und ist der einzige Kabelanschluss, der mit dem Sensor verschweißt werden kann. Das Verschweißen ermöglicht eine höhere Schutzart und verhindert ein Ablösen des Kabels, wenn die Messkette starken Vibrationen ausgesetzt ist. Ob ein Verschweißen möglich ist, hängt auch vom Sensorgegenstück ab.

### Hex/6kt

Die Sechskantvariante wurde speziell für Einzelsignalanschlüsse entwickelt und erreicht auch ohne Verschweißen die Schutzart IP68. Diese Anschlüsse können gelöst und mit einem Schraubenschlüssel wieder angezogen werden.

### 90°

Die 90°-Variante ist die abgewinkelte Ausführung des jeweiligen Anschlusses. Wenn der Anschlusstyp mehr als einen Pol hat (V3, Fischer), ist auf die horizontale bzw. vertikale Ausrichtung zu achten.

# 1-Komponenten-Sensoren

## Kabelübersicht

Sensor- familie	Kabel		Kabeleigenschaften	Länge [m]	Temp. Bereich [°C]
		1631C	PFA	0,1 100	
		1641B	PFA	0,1 100	
		1633C	PFA	0,1 50	– 55 200
		1635C	PFA	0,115	- 55 200
		1945A	PFA	0,1 5	
		1957A	PFA mit Stahlgeflecht	0,1 10	
	======================================	1900A23A12	PFA hochflexibel, schleppkettentauglich	0,3 20	- 40 200
	8=	1900A23A11	PFA hochflexibel, schleppkettentauglich	0,3 20	- 40 200
90x1C 90x1B	B-6-00000000000000000000000000000000000	1900A21A12x	FPM mit flexiblem Metallschlauch	0,4 20	
910xC 917xC	3 - 6 - 100	1900A21A11x	FPM mit flexiblem Metallschlauch	0,4 20	- 20 200
93x1C 9313AA	=======================================	1983AD	FPM	0,1 5	
93xA		1939A	PFA	0,1 20	
		1941A	PFA	0,1 20	– 55 200
		1969A	PFA mit Stahlgeflecht	0,5 10	- 55 200
		1967A	PFA mit Stahlgeflecht, isoliert	0,5 10	
		1979A	FPM	0,1 20	<b>–</b> 20 200
		1983AC	FPM	0,1 5	
		1937A	Adapterkabel, PFA, Ø 2 mm	0,3 100	
		1637C	Adapterkabel, PFA, Ø 2 mm	0,1 5	– 55 200
	<b>3</b>	1721	Adapter für Kabel mit KIAG 10-32 pos. i	nt.	] <del>-</del> 99 200
		1729A	Durchführung für Kabel mit KIAG 10-32	pos. int	

Sensor- familie	Kabel		Kabeleigenschaften	Länge [m]	Temp. Bereich [°C]
		1651C	PFA	0,3 10	- 55 200
		1655C	PFA	0,3 10	- 55 200
9215A		1645C	PFA	0,1 5	
9243B	3 <b>3</b>	1926A	PFA	0,110	– 55 200
9247A	3E 5E	1923A	PFA	0,1 5	- 55 200
		1983AB	FPM	0,5 5	
		1951A	Kapton mit Stahlgeflecht	0,1 5	- 55 300

							In	dustr	ie Vei	rstärk	er	ı	Labor	Vers	tärker					
						Тур	5030A	5039A	5073A	5074A	5877B	5015A	5018A	5080A	5165A	5167A	KiDAQ			
						Kanäle	_	_	1- 4	1- 4	1	1	1	1–8	1,4	4,8	4, ,52			
	IEC/ 605		Stecker Sensor	Stecker Verstärker	IEC/EN 60529		IP65	IP65	1P60	IP67	IP53	IP20	IP40	IP40	IP20	IP20	IP20			
			KIAG 10-32 pos.	BNC pos.			-			-										
			KIAG 10-32 90° pos.	BNC pos.	IP40		_			_										
		10.00	KIAG 10-32 pos.	TNC pos.			-			-	_	-	-	_	_	-	-			
	یا	IP65	KIAG 10-32 pos.	KIAG 10-32 pos.	10.65	ubt		_	_		_	-	-	_	_	-	-			
	hraub		KIAG 10-32 pos. int.	Mini-Coax neg.	IP65	schra	-	_	_	-	_	-	-	_	_	-	-			
	gescl		KIAG 10-32 pos.	KIAG 10-32 pos.		Stecker geschraubt		-	_		_	-	-	-	_	-	-			
	Stecker geschraubt		KIAG 10-32 pos. hex	BNC pos.	IP40	Stecl	-			_										
	<del> </del>	ID 67	KIAG 10-32 pos. hex	KIAG 10-32 pos. 6kt	IP67			_	_		_	-	-	-	-	-	-			
		IP67	KIAG 10-32 pos. hex	BNC pos.	IP40		-			-										
			KIAG 10-32 pos. hex	KIAG 10-32 pos. 6kt	IP67			-	_		_	1	-	-	-	-	-			
		IP68	KIAG 10-32 pos. int.	BNC pos.	IP40		-			_										
			KIAG 10-32 pos. int.	BNC pos.	IP40		-			-										
	sst 1)		KIAG 10-32 pos. int.	TNC pos.		ıbt	-			-	_	-	-	-	-	-	-			
	hwei	IP67	KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int. <sup>2)</sup>		chrau		_	_		_	-	-	-	-	-	-			
	versc		KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int. <sup>2)</sup>	IP65	er ges		_	_		_	-	-	-	-	-	-			
	Stecker verschweisst 1)		KIAG 10-32 pos. int.	Fischer 9-pol. neg.		Stecker geschraubt	-	-	_	_	-	-	-		-		_			
		IP68	KIAG 10-32 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int. <sup>2)</sup>				_	_		_	_	_	-	_	_	_			
			Mini-Coax neg.	BNC pos.	IP40		-			-										
	ıraubt	IP65	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 pos.	IP65	ubt		_	_		_	-	-	-	-	_	-			
	geschraubt	1165	KIAG 10-32 neg.	BNC pos.	IP40	geschraubt	-			-										
			KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	IP65	ge	-	-	-	-	_	-	-	-	-	-	-			
	IEC/ 605		Stecker Sensor	Stecker Verstärker	IEC/EN 60529		IP65	IP65	IP60	IP67	IP53	IP20	IP40	IP40	IP20	IP20	IP20			
	geschraubt	IDCE	M4x0,35 pos.	BNC pos.	IP40		-			-										
	gesch	IP65	M4x0,35 pos.	KIAG 10-32 pos.	IP65	)t		_	-		_	-	-	-	-	-	-			
_	it 1)		M4x0,35 pos. int.	Fischer Coax neg.		hrauk	-	-	-	_	-	-	-	-	-	_	-			
	weiss		M4x0,35 pos. int.	M4x0,35 pos. int.		gesc.		-	-		-	-	_	_	-	-	-			
	M4x0,35 pos. int. Fischer Coax neg.  M4x0,35 pos. int. M4x0,35 pos. int.  M4x0,35 pos. int. KIAG 10-32 pos. int.²  M4x0,35 pos. int. KIAG 10-32 pos. int.²  M4x0,35 pos. int. KIAG 10-32 pos. int.²  M4x0,35 pos. int. KIAG 10-32 pos. int.²	KIAG 10-32 pos. int. <sup>2)</sup>						Stecker geschraubt		-	_		-	-	_	-	-	-	-	
											St		-	-		-	-	-	-	-
	Ste		M4x0,35 pos. int.	KIAG 10-32 pos. int. <sup>2)</sup>				-	_		_	_	_	-	-	-	-			

<sup>1)</sup> geschraubt: IP65

<sup>&</sup>lt;sup>2)</sup> verschweisst: IP67

# 1-Komponenten-Sensoren-Bausätze

## Kabelübersicht

Sensor- familie	Kabel/Adapter	Ausg signa	angs- I	Kabel/Adapter	Kabeleigenschaften	Länge [m]	Temp. Bereich [°C]
		ert		1971A1x			
	L	rtmi		1971A3x	DEA	0.4 20	55 200
		summiertmiert	1	1971A4x	PFA	0,1 20	– 55 200
		sur		1971A5x			
913xCA 914xBA			2	1973A21x			
) 14xb/		_	3	1973A31x	PFA mit Schutzschlauch (PUR)	0,1 20	- 55 200
		einzeln	4	1973A41x			
		e.	4	1973A419Q01		0,6 5	- 55 200
	<b>—</b>		4	1692A	PFA mit Stahlgeflecht	0,1 5	- 5 70
	<b>E</b>				Adapter für Kabel mit KIAG 10	-32 pos. int.	- 55 200
				1729A	Durchführung für Kabel mit KIA	G 10-32 pos. int.	- 99 200

							ln	dustr	ie Vei	stärk	er	ı	Labor	Vers	tärkei	,	
						Тур	5030A	5039A	5073A	5074A	5877B	5015A	5018A	5080A	5165A	5167A	KiDAQ
						Kanäle	1	-	1- 4	1-4	1	1	1	1–8	1,4	4,8	4,,52
	IEC/ 605		Stecker Sensor	Stecker Verstärker	IEC/EN 60529		IP65	IP65	1P60	IP67	IP53	IP20	IP40	IP40	IP20	IP20	IP20
				BNC pos.	IP40		-			-							
		IP65	Fischer 7-pol pos.	Fischer KE102A014-14			zusätzliches Kabel notwendig										
	ı	IF65		TNC pos.	IP65		_			-	ı	_	-	-	-	-	-
	ıraub.			KIAG 10-32 pos. int.				-	ı		ı	_	-	-	-	-	-
	Stecker geschraubt							_	ı		ı	_	ı	_	ı	-	-
	ecker			KIAG 10-32 pos. int.				_	ı		-	-	-	-	-	-	-
	St	IP65	Fischer 7-pol pos.	κιλά 10-32 μας. Ιπτ.	IP65			_	-		_	-	_	-	-	-	-
								_	-		-	_	_	-	-	-	-
	Incs WAS 40 22	Fischer 9-pol. pos.			_	_	_	_	-	_	-		_		-		
		BNC pos.	IP40		_			-									
		IP65 KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.	IP65			_	_		-	-	_	-	-	-	-	

# Mehrkomponenten Kraftsensoren

Sensor- familie	Kabel/Adapter	Ausg signa	angs-	Kabel/Adapter	Kabeleigenschaften	Länge [m]	Temp. Bereich [°C]		
93x5B		einzeln	2	1698AD	PFA mit Kunststoffgeflecht	0.2 20	- 40 120		
93X5B	200	einz	2	1698AP	PFA mit Kunststoffgeflecht	0,2 20	- 40 120		
				1698AA	PFA mit Kunststoffgeflecht	0,2 20			
	100			1698AH	PFA mit Kunststoffgeflecht	0,2 20			
				1698AE	PFA mit Kunststoffgeflecht	0,2 20			
	4 49 4 49	1698AV PFA ohne Kunststoffgeflecht		0,2 20					
(02),ED)		드		1698AN					
(93x5B) 90x6C		einzeln	3	1698AK	TPC schwarz Ø3,6mm	0,5 20	<b>-</b> 40 120		
90x7C 90x8C	==-			1698AF	TPC SCHWarz Ø3,6HIIII				
93x7C (9306A)	===			1698AL					
				1698AM	PFA with steel braiding	0,3 10			
	=e			1698AB	TPC schwarz Ø3,6mm	0,5 20			
				1698AI	PFA mit Stahlgeflecht	0,3 20			
		einzeln	3	1698AG <sup>1)</sup>	PFA mit Stahlgeflecht	2 5	- 40 120		
		einz		1698AC <sup>1)</sup>	TIA mit stanigeneont	2 9	- 40 120		
93064		einzeln	6	1698ABW	TPC Ø3,6mm, Y-Kabel	0,5 20	- 40 120		
9306A —		einz	6	1698ABB	TEC \$25,0111111, 1-Napel	0,5 20	- 40 120		

 $<sup>^{1)}</sup>$  passt nicht zu 9306A (Sensor nicht schweissbar)

						In	dustr	ie Ver	stärk	er	ı	Labor	Vers	tärker		
					Тур	5030A	5039A	5073A	5074A	5877B	5015A	5018A	5080A	5165A	5167A	KiDAQ
					Kanäle	1	1	1-4	1–4	1	1	_	1–8	1,4	4,8	4, ,52
IEC/ 6052		Stecker Sensor	Stecker Verstärker	IEC/E		59d1	IP65	1P60	1P67	IP53	IP20	IP40	IP40	IP20	IP20	IP20
Stecker geschraubt	IP65	V3 pos.	2x BNC pos.	IP40		_			-							
Stec gesch	IFOS	va pos.	2x KIAG10-32 pos.	IP65			_	-		-	-	-	-	-	-	_
			3x BNC pos.	IP40		_			-							
			3x SMC neg.	1740		_	_	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IDCE	V3 pos.	3x KIAG 10-32 pos.				_	-		_	-	-	_	-	-	_
ıbt	IP65		3x KIAG 10-32 pos. (3x BNC mit mitgelieferten Adaptern)	IP40												
chrau		V3 pos. 90°	3x KIAG10-32 pos.	IP65	lbt		_	-		-	-	-	-	-	-	-
Stecker geschraubt		v3 pos. 90	Fischer 9-pol. pos.	11-05	Stecker geschraubt	-	-	-	-	-	-	-		-		_
Steck			3x Mini Coax neg.	IP40	er ge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_
			3x KIAG 10-32 pos.		Steck		_	-		-	-	-	-	_	-	_
	IP68	V3 pos.	3x N/AG 10-32 pos.	IP65			_	-		-	-	-	-	-	-	_
			Fischer 9-pol. pos.			-	-	-	-	-	-	-		-		_
						-	_	-	-	-	-	-		-		_
ver- schweisst	IP67	V3 pos.	3x mini Coax neg.	IP40		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_
			Fischer 9-pol. pos.	IP65		-	-	-	-	-	-	-		-		_
geschraubt	IP65	2x V3 pos. 90°	Fischer 9-pol. pos.	IP65		-	-	-	-	-	-	-		-		_
gesch	IP68	2x V3 pos.	7.55.0. 7 60.1 600.	05		-	_	-	-	-	-	-		-		_

# **Dynamometer & Kraftmessplatten**

## Kabelübersicht

Sensor- familie	Kabel/Adapter Ausgangs- signal Kabel/Adapter Kabeleigenschaften		Kabeleigenschaften	Länge [m]	Temp. Bereich [°C]		
				Z15141sp	PFA	1 20	
				1683Asp	PFA mit flexiblem Stahlschlauch	2 20	
		summiert	3	1687BQ01	TPC schwarz Ø3,6 mm	1 20	5 70
		sumi	3	1687BQ02	PFA mit Stahlgeflecht	1 5	
	HIMMORE AMERICAN			1687B	PFA mit flexiblem	2 20	
				1689B	Stahlschlauch	1 20	
	The state of the s			Z16620sp	PFA	1 20	
9109 9119AA 9129AA				1685B	TPC schwarz Ø5,6 mm	1 20	
	-			1686A	TPC schwarz Ø5,6 mm	1 20	
9139AA 9255A		einzeln		1681B	PFA mit flexiblem Stahlschlauch	1 20	5.70
9257B 9272 9366C		einz	8	1677AQ01	TPC schwarz Ø5,6 mm	1 20	
	<b>-</b>			1677AQ02	TPC mit Stahlgeflecht	1 20	
	paramanin mananani = (1)			1677A	PFA mit flexiblem	1 20	
				1679A	Stahlschlauch	2 20	
			3	Z13705sp	PFA	1 20	5 70
		gur	5	1688B	TPC schwarz Ø3,6 mm	1 20	<del> 570</del>
		Verlängerung		Z16634sp	PFA	1 20	
		Verl	8	1656Asp	PFA	1 20	- 570
				1678A	TPC schwarz Ø5,6 mm	1 20	

						In	dustr	ie Ver	stärk	er	ı	Labor	Vers	tärkei		DAQ		
					Тур	5030A	5039A	5073A	5074A	5877B	5015A	5018A	5080A	5165A	5167A	KiDAQ		
					Kanäle	_	_	1-4	1-4	1	1	_	1–8	1,4	4,8	4, ,52		
IEC/ 6052		Stecker Sensor	Stecker Verstärker	IEC/EN 60529		IP65	IP65	IP60	IP67	IP53	IP20	IP40	IP40	IP20	IP20	IP20		
gesteckt	IP40	9-pol. pos.	3x BNC pos.	IP40		-			-									
gest	IP65	9-pol. pos. 90°				_	_	-	_	_	-	-		_		-		
	IP65	Flansch 9-pol. pos.				_	-	1	-	-	-	-		-		-		
verschraubt	IP67	Flansch 9-pol. pos.	Fischer 9-pol. pos.	IP65		_	_				-	_		-		_		
>	0,	Flansch 9-pol. pos. 90°				_	_	1	-	1	-	_		_		_		
	IP40	9-pol. pos.	8x BNC pos.	IP40		_			_									
gesteckt		9-pol. pos.				_	-	-	-	-	-	-		-		_		
gest	IP65	9-pol. pos. 90°	Fischer 9-pol. pos.		<b>.</b>	_	-	-	_	-	-	-		-		_		
		9-pol. pos.			gesteckt	_	_	_	_	-	-	-		-		_		
	IP65	Flansch 9-pol. pos.		Fischer 9-pol. pos.	Fischer 9-pol. pos.	IP65		_	_	-	-	-	-	-		-		_
verschraubt	IP67	Flansch 9-pol. pos.				-	_	-	-	-	-	-		-		_		
		Flansch 9-pol. pos. 90°				_	_	-	_	_	_	_		_		_		
	IP40	9-pol. neg.	3x BNC pos.	IP40		_			_									
	IP65	9-pol. neg.	Fischer 9-pol. pos.	IP65		-	-	_	_	-	-	-		-		-		
gesteckt	ID40	O not no -	8x BNC pos. IP40 8x KIAG 10-32 neg.	IP40		-			_									
33	IP40	9-pol. neg.				-	ı		ı	ı	-	ı	ı	ı	-			
	IP65	9-pol. neg.	Fischer 9-pol. pos.	IP65		-	_	-	_	-	_	_		_		-		

## Zubehör - Kabel

### Kupplungen

Тур	Anschluss	
	links	rechts
1701	BNC neg.	BNC neg.
1705	BNC pos.	M4x0,35 neg.
1721	BNC pos.	KIAG 10-32 neg.
1729A	KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 neg.
1733	BNC pos.	Banana jacks

Тур		Anschluss		
		links	rechts	
1743		BNC pos.	2 x BNC neg.	
1749		KIAG 10-32 pos.	2 x KIAG 10-32 neg.	
1700A29		KIAG 10-32 neg.	KIAG 10-32 pos. int.	
1703		BNC neg.	BNC neg.	

## Kunststoffschutzkappen

Тур	Zur Verwendung für
1851	BNC neg.
1861A	BNC pos.
1891	KIAG 10-32 neg.

Die Kunststoffschutzkappen schützen die Stecker und Buchsen zuverlässig vor Verschmutzung. Es wird empfohlen bei Nichtgebrauch bzw. Aufbewahrung der Sensoren und Ladungsverstärker die Anschlüsse stets mit Schutzkappen zu schützen.

### Verteilkasten hochisolierend

Тур		Eingang	Ausgang	Bemerkungen
5405A	30 666	Fischer 9-pol. neg.	8 x BNC neg.	8 Einzel- kanäle
5407A	666	Fischer 9-pol. neg.	3 x BNC neg.	3 Kanäle summiert: F <sub>x</sub> , F <sub>y</sub> , F <sub>z</sub>

Mit den Verteilkästen können die Kanäle von Sensoren mit Fischer 9-pol. pos. Kabelstecker auf einzelne BNC-Buchsen verteilt werden:

- Typ 5405A führt alle 8 Einzelkanäle auf separate BNC-Buchsen
- Typ 5407A führt die 8 Kanäle summiert auf 3 BNC-Buchsen (F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, F<sub>z</sub>)

### BNC-Kabel, hochisolierend

Тур	Anschluss		Länge (standard) [m, ft] 1)	Länge (k spezifisc [m, ft] 1)	h)	Material Kabel- ummantelung	Betriebe peratur [°C, °F]	bereich	Schutz nach IE 60529	
	links	rechts		min.	max.		min.	max.	links	rechts
1601B	BNC pos.	BNC pos.	0,5/1/2/5/10/20/1,6/ 3,3/6,6/16,4/32,8/65,6	0,1 0,3	50 164	PVC	- 25 - 13	70 158	IP40	IP40

<sup>1)</sup> Kabelbestellung erfolgt in Metern

# Zubehör – Elektronik

### Ladungsteiler

Technische Daten	Тур	5361A
------------------	-----	-------



Teilungsverhältnis	n	wahlweise: 2:1/5:1/10:1/20:1/100:1/200:1/1000:1
Isolationswiderstand	Ω	>1014
Ladungseingang		BNC neg.
Ladungsausgang		BNC pos.
Abmessungen (BxHxT)	mm in	57x29x35 (ohne Stecker) 2,24x1,14x1,38 (ohne Stecker)

Bei Kraftsensoren mit sehr grossem Kraftbereich kann die durch den Sensor abgegebene Ladung, die vom Ladungsverstärkereingang maximal zulässige Ladung, überschreiten. In solchen Fällen kann ein Ladungsteiler zwischen den Sensor und den Ladungsverstärker geschaltet und somit die am Verstärker anliegende Ladung reduziert werden. Die Ladung wird um das Teilungsverhältnis n reduziert.

## Isolations-Prüfgerät

Technische Daten	Тур	5493	
------------------	-----	------	--



Anzahl Kanäle		1
Signaleingang		BNC neg.
Messbereich	Ω	10 <sup>11</sup> 4·10 <sup>13</sup>
Messspannung	V	5
Max. Parallelkapazität	nF	10 (entspricht Kabellänge ≈ 100 m/ ≈ 328 ft)
Spannungsversorgung		9 V Batterie
Bedienung		Display und Folientaste
Gehäuse		Handgerät
Schutzart (IEC/EN 60529)		IP50
Abmessungen (WxHxD)	mm in	80x150x35 (ohne Stecker) 3,15x5,91x1,38 (ohne Stecker)

Isolations-Prüfgerät für die Isolationskontrolle von piezoelektrischen Messketten. Misst die Isolation von Sensoren, Ladungsverstärkern und Kabeln.

# 1-Komponenten-Sensoren

### Messketten

	Messen	Verbinden	Verstärken
ren	90x1C 90x1B 910xC	1631C 1641B 1939A 1983AD etc.	Ladungsverstärker ohne integrierte Datenerfassung 5074
1-Komponenten-Kraftsensoren	913xC2 914xB2	Kabel im Sensor integriert  -> Anschluss an Ladungsverstärker mit Kupplung 1721	
1-Kc	913xCA 914xBA	1971A1 1973Ax1	
1-Komponenten-Kraftmesselemente	9203 9205 9207 9217A 93x1C 9313AA	1631C 1641B 1939A 1983AD etc.	Ladungsverstärker mit integrierter Datenerfassung 5867
1-Komponenten-k	917xC	Kabel im Sensor integriert  -> Anschluss an Ladungsverstärker mit Kabel 1631C 1641B etc.	

<sup>&</sup>lt;sup>1)</sup> Sensor 9215A kann ausschliesslich mit Kabel 1651C... verwendet werden

# 2-Komponenten- und 3-Komponenten-Sensoren

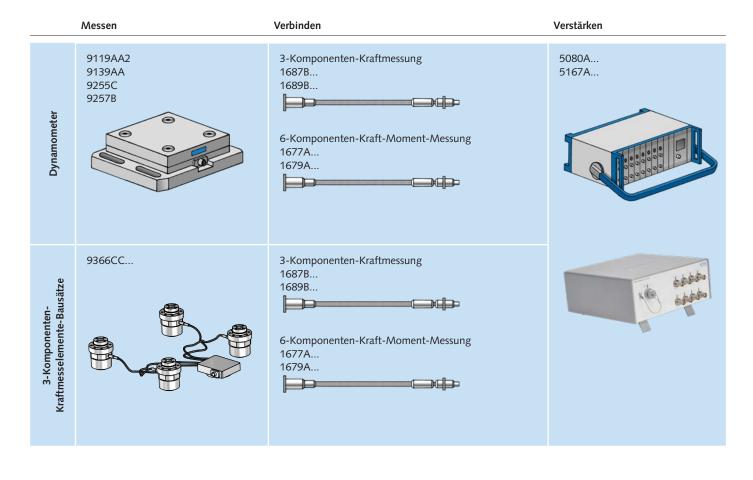
### Messketten

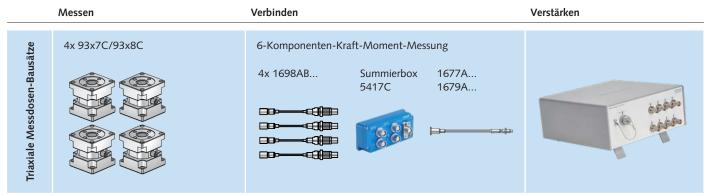
	Messen	Verbinden	Verstärken
3-Komponenten- Kraftsensoren	90x7C, 90x8C <sup>1)</sup>	1698AA 1698ACsp	Ladungsverstärker ohne integrierte Datenerfassung 5015A 5018A
3-Komponenten- Kraftmesselemente	93x7C		Ladungsverstärker mit integrierter Datenerfassung 5167A 5165A
2-Komponenten-Kraft- Reaktionsmoment-Messelemente	93x5B	1698AD 1698ACsp	

Die Sensoren des Typs 90x8C sind technisch identisch mit den Typen 90x7C, haben aber ein gedrehtes Koordinatensystem (siehe Datenblatt)

# Dynamometer und Kraftmesselemente-Bausätze

### Messketten





# Dehnungssensoren

## Messketten

		Messen	Verbinden	Verstärken
	Opernachen-Dennungssensoren	9232A 9237B	1631C 1641B 1939A 1983AD etc.	Ladungsverstärker ohne integrierte Datenerfassung 5074
nessdübel	Längsmessdübel	9243B 9247A	1651C 1923A 1983AB	Ladungsverstärker mit integrierter Datenerfassung 5867
Dehnungsmessdübel	Quermessdübel	9240AA3	Kabel im Sensor integriert  -> Anschluss an Ladungsverstärker mit Kupplung 1721	

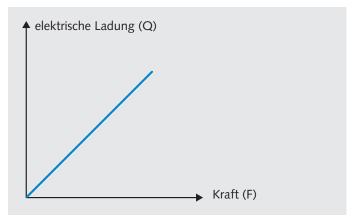


Kristallscheiben als Messelement

## Kraftmesstechnik im Fokus

In der Kraftmesstechnik kommen verschiedene Messprinzipien zum Einsatz. In der Praxis durchgesetzt haben sich jedoch zwei Prinzipien: piezoelektrische Sensoren und Kraftsensoren basierend auf Dehnungsmessstreifen (DMS). Dieser Katalog umfasst ausschliesslich piezoelektrische Kraftsensoren für T&M-Anwendungen und nennt die wichtigsten Vorteile.

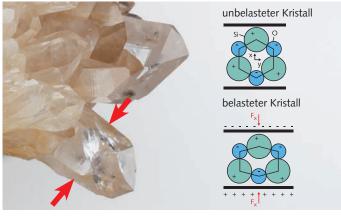
Bei den piezoelektrischen Kraftsensoren basiert das Messelement auf einem Kristall, der unter Belastung eine zur Kraft proportionale elektrische Ladung abgibt. Das Messelement bei der DMS-Technologie besteht aus einem Dehnungsmessstreifen, der unter Krafteinwirkung minimal gedehnt wird und deshalb den elektrischen Widerstand ändert.



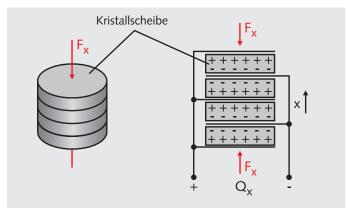
Die elektrische Ladung (Q) ist proportional zur Kraft (F)

### Grundlagen der piezoelektrischen Messtechnik

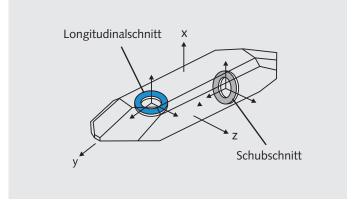
Der piezoelektrische Effekt äussert sich, indem piezoelektrische Materialien (z.B. Quarz) bei mechanischer Belastung auf den Aussenflächen positive bzw. negative elektrische Ladungen erzeugen. Die Ladung wird dadurch generiert, dass sich die positiven und negativen Kristallgitterbausteine gegeneinander verschieben, wodurch ein elektrischer Dipol entsteht. Die Ladung, welche dabei generiert wird, ist proportional zur Kraft, die auf den Kristall einwirkt.



Die mechanische Belastung eines Kristalls erzeugt eine elektrische Ladung



Möglichkeit zur Erhöhung der Ladungsausbeute



Mögliche Schnitte im Kristall

#### Kristallscheiben als Messelement

Die meisten piezoelektrischen Kraftsensoren arbeiten mit einem Messelement, das aus dünnen Kristallscheiben besteht. Je nachdem, ob der Sensor Druck- oder Schubkräfte messen soll, werden die Scheiben mittels unterschiedlicher Schnitte aus dem Kristall geschnitten. Mit dem Longitudinalschnitt entstehen Kristallscheiben, welche für Sensoren zur Erfassung von Druckkräften eingesetzt werden, wohingegen mit dem Schubschnitt Messelemente zur Messung von Schubkräften gewonnen werden.

#### Piezoelektrische Messkette

Eine piezoelektrische Messkette besteht aus dem Sensor, einem hochisolierenden Verbindungskabel zum Transport der kleinen Ladungen und einem Ladungsverstärker zur Wandlung des Ladungs-

in ein Spannungssignal.

### Piezoelektrische oder DMS-Kraftsensoren?

In der Kraftmesstechnik haben sich piezoelektrische und DMS-Sensoren durchgesetzt. Beide Technologien ergänzen sich, und je nach Anwendung ist der Einsatz eines piezoelektrischen oder eines DMS-Kraftsensors zu bevorzugen.

Folgende Abschnitte zeigen die wichtigsten Unterschiede beider Technologien auf und sollen Ihnen die Entscheidungsfindung vereinfachen.

### Statische Kraftmessung

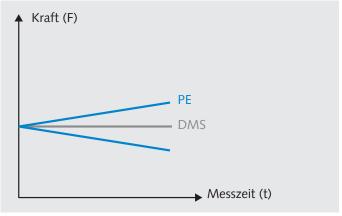
Piezoelektrische Kraftsensoren weisen bei statischer Belastung prinzipbedingt eine kleine Drift auf. DMS-basierte Sensoren hingegen arbeiten weitestgehend driftfrei.

Da bei piezoelektrischen Kraftsensoren der Driftwert bei statischer Belastung unabhängig von der gemessenen Kraft immer gleich bleibt, ist der relative Messfehler, der durch die Drift verursacht wird, immer dann besonders ungünstig, wenn kleine Kräfte über einen langen Zeitraum gemessen werden sollen. Die Messung von grossen statischen Kräften über eine längere Messzeit ist jedoch kein Problem. Bei piezoelektrischen Kraftsensoren hängt die Messzeit somit von den Anforderungen an die Genauigkeit und der zu messenden Kraft ab.

#### Piezoelektrische Kristalle - PiezoStar versus Quarz

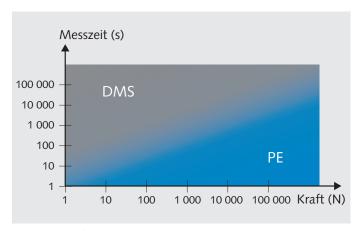
Die elektrische Ladung, die eine einzelne Kristallscheibe generiert, ist nur vom piezoelektrischen Material abhängig, nicht jedoch von dessen geometrischen Abmessungen. Um Sensoren mit einer höheren Empfindlichkeit herzustellen, können mehrere Kristallscheiben aufeinander gestapelt und elektrisch parallel geschaltet werden. Alternativ kann ein piezoelektrisches Material mit höherer Empfindlichkeit eingesetzt werden (z.B. PiezoStar Kristalle). Kistler züchtet eigene PiezoStar Kristalle, welche sich gegenüber Quarz durch höhere Empfindlichkeiten und bessere Temperaturstabilitäten auszeichnen. PiezoStar Kristalle werden typischerweise in Sensoren zur Messung kleinster Kräfte verbaut und erweitern somit den Einsatzbereich von gängigen Kraftsensoren basierend auf Quarz. Kistler bietet sowohl piezoelektrische Kraftsensoren auf Basis von Quarz wie auch von PiezoStar an.

Folgende Grafik soll Ihnen als Entscheidungshilfe dienen und aufzeigen, ob für Ihre statische Messung ein piezoelektrischer Kraftsensor eingesetzt werden kann oder nur der Einsatz eines DMS-Sensors Sinn macht. Die Grafik zeigt sehr deutlich, dass bei genügend grossen Kräften auch mit piezoelektrischen Kraftsensoren lange Messzeiten kein Problem sind. Für langfristige Monitoring-Aufgaben sind DMS-Kraftsensoren jedoch klar vorzuziehen.



Statische Kraftmessung: piezoelektrisch (PE) versus DMS

### Dynamische Kraftmessung



Messzeit und Kraftbereich: piezoelektrisch (PE) versus DMS (Basis: Drift  $\pm 0.05$  pC/s und Messfehler von 1%)

Für dynamische Anwendungen sind piezoelektrische Kraftsensoren klar vorzuziehen, da sie bei Belastung wegen ihrer Steifheit eine sehr geringe Verformung aufweisen. Hieraus ergibt sich eine hohe Resonanzfrequenz, die grundsätzlich sehr günstig ist für dynamische Anwendungen.

### Übersicht piezoelektrische und DMS-Kraftsensoren

Neben dem wichtigsten Kriterium, ob eine statische oder dynamische Kraft zu messen ist, gibt es noch weitere Aspekte, welche bei der Wahl des Messprinzips zu beachten sind. Die folgende Übersichtstabelle zeigt verschiedene Kriterien, bei denen eine Messtechnologie der anderen vorzuziehen ist, und dient so als weitere Entscheidungshilfe.

Sollten Sie sich nicht sicher sein, ob sich die piezoelektrische Messtechnik für Ihre Anwendung eignet, nehmen wir uns gerne Zeit für eine neutrale und unverbindliche Beratung. Unser T&M Sales-Team freut sich auf Ihre Kontaktaufnahme.

Kriterium	Piezoelektrische Technologie	DMS- Technologie
Dauerhaft statische Messung*		<b>Ø</b>
Dynamische Messung** (hohe Steifigkeit)	<b>②</b>	
Grosser Messbereich	<b>②</b>	
Messung kleinster Kraftänderungen unter hoher statischer Vorlast	<b>Ø</b>	
Kompakte Sensorabmessungen bei Mehrkomponenten-Kraftsensoren		
Lebensdauer bei zyklischer Belastung	<b>Ø</b>	
Überlastfestigkeit	<b>Ø</b>	
Eignung für hohe Temperaturen	<b>Ø</b>	
Geringer Temperatureinfluss		•
Kabel-Handling (Verschmutzung, Low noise)		•
Linearität		•
Repetierbarkeit	<b>Ø</b>	
Kalibrierintervall	<b>Ø</b>	

<sup>\*</sup> siehe Diagramm S. 59

<sup>\*\*</sup> siehe Diagramm S. 60

### Auswahlkriterien

### Piezoelektrische Kraftsensoren

Kistler bietet für diverse T&M-Anwendungen unterschiedliche Ausführungen von piezoelektrischen Kraftsensoren an. Diese unterscheiden sich vor allem in der Anzahl der Kraftkomponenten und Momente, welche mit einem einzelnen Sensor erfasst werden können.

Die folgende Übersicht beschreibt die unterschiedlichen Kategorien von Kraftsensoren. Die Erläuterungen dienen als Entscheidungshilfe, um für die spezifische Applikation die geeignete Kategorie von Kraftsensoren zu wählen.

### 1-Komponenten-Sensoren



- 1-Komponenten-Sensoren messen eine einzelne Kraftkomponente. Innerhalb der Kategorie der 1-Komponenten-Sensoren gibt es die folgenden Ausführungen:
- Kraftsensoren für Druck- und Zugkräfte (±F<sub>7</sub>)
- Kraftsensoren für Schubkräfte (±F<sub>v</sub>)

Mehr Informationen über 1-Komponenten-Sensoren finden Sie ab Seite 7.

### 2-Komponenten-Sensoren



2-Komponenten-Sensoren messen Druck- und Zugkräfte  $(\pm F_z)$  sowie gleichzeitig die korrespondierenden positiven und negativen Reaktionsmomente  $(\pm M_z)$ .

Mehr Informationen über 2-Komponenten-Sensoren finden Sie ab Seite 27.

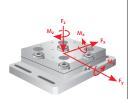
### 3-Komponenten-Sensoren



3-Komponenten-Sensoren messen alle drei orthogonalen Kraftkomponenten  $F_X$ ,  $F_y$  und  $F_z$  gleichzeitig. Dabei werden sowohl Druck- und Zugkräfte  $(\pm F_z)$  als auch positive und negative Schubkräfte in beide Schubrichtungen  $(\pm F_X)$  und  $\pm F_Y$  durch die Sensoren erfasst.

Mehr Informationen über 3-Komponenten-Sensoren finden Sie ab Seite 28.

### Dynamometer (3-Komponenten)



Dynamometer basieren grundsätzlich auf vier 3-Komponenten-Sensoren, welche zwischen einer Grund- und Deckplatte montiert sind. Mit einem Dynamometer können somit die drei orthogonalen Kraftkomponenten  $F_x$ ,  $F_y$  und  $F_z$  gleichzeitig erfasst werden. Basierend auf den drei Kraftkomponenten, welche die einzelnen 3-Komponenten-Sensoren erfassen, und der bekannten geometrischen Anordnung der vier Sensoren lassen sich die drei korrespondierenden Momente  $M_x$ ,  $M_y$  und  $M_z$  berechnen.

Mehr Informationen über Dehnungssensoren finden Sie ab Seite 69.

### Piezoelektrische Dehnungssensoren

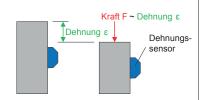
Neben den Kraftsensoren umfasst das Portfolio von Kistler auch piezoelektrische Dehnungssensoren, die sich für die indirekte Kraftmessung in T&M-Anwendungen eignen.

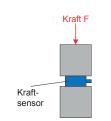
Jede Kraft führt zu einer Deformation der Struktur. Piezoelektrische Dehnungssensoren können diese Deformation messen. Da die Deformation proportional zur Kraft ist, kann anhand der Deformation die Kraft ermittelt werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt Vorteile und Einschränkungen der indirekten Kraftmessung mittels Dehnungssensor im Vergleich zur direkten Kraftmessung mittels Kraftsensor.

### Indirekte Kraftmessung

### Direkte Kraftmessung









- Geringster Montageaufwand
- Einfache Nachrüstung an der bestehenden Applikation möglich
- Überlastsicherheit
- Da Struktur die gesamte Kraft aufnimmt, können sehr grosse Kräfte gemessen werden
- Hohe Empfindlichkeit
- High measuring accuracy
- Hohe Wiederholgenauigkeit
- Gute Linearität und geringe Hysterese



- Umgebungseinflüsse: Dehnungen aufgrund von Vibrationskräften und Temperatureinflüssen werden mitgemessen
- Für absolute Werte ist Kalibrierung mittels Kraftsensor in der Applikation zwingend notwendig



- Aufwändiger Einbau
- Kraftbereich für sehr grosse Kräfte ist limitiert

Mehr Informationen über Dynamometer finden Sie ab Seite 33.

## 1-Komponenten-Sensoren

Bei der Kraftmessung mit piezoelektrischen 1-Komponenten-Sensoren ist der Einbau in die Struktur entscheidend. Kistler bietet für jede Anforderung den passenden Sensor. Je nach Anwendung eignet sich die eine oder andere Kategorie besser. Die folgende Tabelle zeigt mögliche Vorteile und Einschränkungen auf:

Je nach Einbau in die Struktur sind bei Kistler die folgenden zwei Ausführungen erhältlich:

- 1-Komponenten-Kraftsensoren
- 1-Komponenten-Kraftmesselemente

#### 1-Komponenten-Kraftsensoren





- Geringe Bauhöhe, dadurch ideal für enge Einbauverhältnisse und grössere Biegemomente
- Preiswerte Option für Kunden mit Erfahrung in der Integration von Kraftsensoren



- Aufwändiger Einbau unter Vorspannung mittels Vorspannschraube oder Vorspannelement notwendig
- Für genaue Messungen ist eine Nachkalibrierung nach dem Einbau notwendig

#### 1-Komponenten-Kraftmesselemente





- Einfacher Einbau, da bereits vorgespannt
- Keine aufwändige Nachkalibrierung nach dem Einbau notwendig, dadurch sofort messbereit
- Geeignet für Kunden mit wenig Erfahrung in der Integration von Kraftsensoren
- Ausführungen mit hoher Empfindlichkeit für die Erfassung kleinster Kräfte



• Grosse Bauhöhe

## 1-Komponenten-Kraftsensoren

Die 1-Komponenten-Kraftsensoren bestehen im Wesentlichen aus zwei Kristallscheiben, welche unter leichter Vorspannung in ein dicht verschweisstes Gehäuse integriert sind.

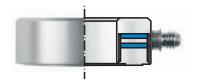
Durch ihre kompakte Bauform eignen sich die 1-Komponenten-Kraftsensoren hervorragend für Applikationen mit engen Einbauverhältnissen. Die Sensoren sind in zwei Ausführungen erhältlich: entweder zur Erfassung von Druckkräften ( $+F_z$ ) – abhängig von der Einbauvariante und der Vorspannung können auch Zugkräfte ( $-F_z$ ) gemessen werden – oder zur Messung von positiven und negativen Schubkräften ( $\pm F_y$ ).

#### Einbau unter Vorspannung

Beim Einbau in die Applikation müssen 1-Komponenten-Kraftsensoren aus folgenden Gründen immer mechanisch vorgespannt werden:

- Biegemomente und Seitenkräfte werden aufgenommen, aber nicht gemessen
- Mikrospalten werden geschlossen, was eine hohe Steifigkeit und damit einen weiten Frequenzbereich sichert
- Genügend grosse Haftreibung für die Übertragung der Schubkräfte von der Struktur auf den Kraftsensor für Schubkräfte

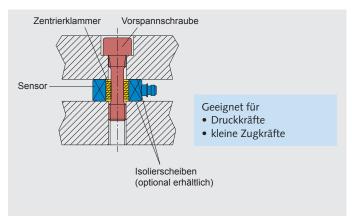




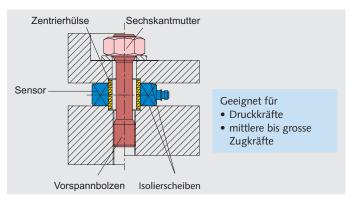
Querschnitt eines 1-Komponenten-Kraftsensors

Die Vorspannung des Sensors in der Applikation wird mittels einer Vorspannschraube oder einem Vorspannelement realisiert. Die zwei Varianten funktionieren vom Prinzip her beide gleich und unterscheiden sich lediglich in der Art der mechanischen Ausführung. Je nach Sensortyp stehen eine oder sogar beide Varianten zur Verfügung.

Die nachfolgenden Darstellungen zeigen beispielhaft den Einbau eines 1-Komponenten-Kraftsensors mittels Vorspannschraube bzw. Vorspannelement in die Struktur. Zudem wird aufgezeigt, welche Variante je nach Anwendung zu bevorzugen ist, wenn beide Montagemöglichkeiten zur Verfügung stehen:



Einbau mit Vorspannschraube



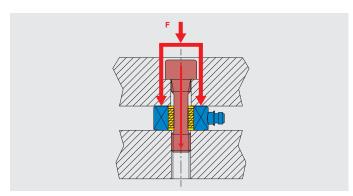
Einbau mit Vorspannelement

#### Nutzbarer Messbereich

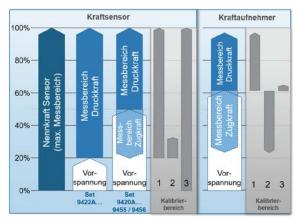
Durch das Vorspannen wird der nutzbare Messbereich des Sensors eingeschränkt. Der eigentlich resultierende Messbereich entspricht also dem auf dem Datenblatt angegebenen Messbereich abzüglich der Vorspannung, welche je nach Anwendung und Einbauvariante 20% bis 70% des Total-Messbereichs beträgt.

### Einfluss der Vorspannung auf die Empfindlichkeit

Die Vorspannung des Sensors mit einer Vorspannschraube oder einem Vorspannelement führt zu einem Kraftnebenschluss. Ein Teil der Kraft, welche von der Applikation auf den vorgespannten Sensor einwirkt (typischerweise 7% bis 10%, abhängig von der Vorspannung), wird durch die Vorspannschraube oder den Vorspannbolzen geleitet. Dies resultiert in einer geringeren Empfindlichkeit des Sensors im eingebauten Zustand. Für genaue Messungen empfiehlt es sich deshalb, den vorgespannten Sensor in der Applikation zu kalibrieren.



Kraftnebenschluss beim vorgespannten 1-Komponenten-Kraftsensor



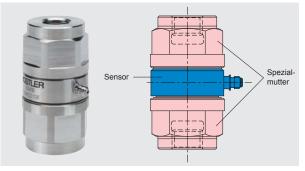
Einschränkung des Messbereichs durch Vorspannung

### 1-Komponenten-Kraftmesselemente

Die 1-Komponenten-Kraftmesselemente bestehen aus einem 1-Komponenten-Kraftsensor, der zwischen zwei Spezialmuttern grundisoliert vorgespannt ist.

Im Gegensatz zum 1-Komponenten-Kraftsensor vereinfacht sich durch diesen Aufbau die Installation in der Applikation wesentlich, da die Messelemente bereits vorgespannt sowie kalibriert und dadurch sofort messbereit sind. Mit 1-Komponenten-Kraftmesselementen können Druckkräfte (+ $F_z$ ) erfasst werden, wobei gewisse Messelemente für die Messung von Druck- und Zugkräften ( $\pm F_z$ ) ausgelegt sind.

Für die Messung von extrem kleinen Kräften sind spezielle 1-Komponenten-Kraftmesselemente für Kleinkräfte vorgesehen. Bedingt durch ihren inneren Aufbau weisen diese Messelemente eine wesentlich höhere Empfindlichkeit auf, wodurch selbst kleinste Kräfte zuverlässig gemessen werden können.



1-Komponenten-Kraftmesselement, bestehend aus 1-Komponenten-Kraftsensor, vorgespannt zwischen zwei Spezialmuttern



1-Komponenten-Kraftmesselement für Kleinkräfte

## 2-Komponenten- und 3-Komponenten-Sensoren

Bei der Kraft- und Momentmessung mit piezoelektrischen 2-Komponenten- und 3-Komponenten-Sensoren ist der Einbau in die Struktur entscheidend. Kistler bietet für jede Anforderung den passenden Sensor.

Je nach Anwendung eignet sich die eine oder andere Kategorie

Je nach Einbau in die Struktur sind bei Kistler die folgenden zwei Ausführungen erhältlich:

- 3-Komponenten-Kraftsensoren
- 3-Komponenten-Kraftmesselemente und 2-Komponenten-Kraft-Reaktionsmoment-Messelemente

besser. Die folgende Tabelle zeigt Vorteile und Einschränkungen auf:

#### 3-Komponenten-Kraftsensoren





- Geringe Bauhöhe, dadurch ideal für enge Einbauverhältnisse und grössere Biegemo-
- Preiswerte Option f
  ür Kunden mit Erfahrung in der Integration von Kraftsensoren



- Aufwändiger Einbau unter Vorspannung mittels Vorspannelement notwendig
- Für genaue Messungen ist eine Nachkalibrierung nach dem Einbau notwendig

- 3-Komponenten-Kraftmesselemente
- 2-Komponenten-Kraft-Reaktionsmoment-Messelemente





- Einfacher Einbau, da bereits vorgespannt
- Keine aufwändige Nachkalibrierung nach dem Einbau notwendig, dadurch sofort messbereit
- · Geeignet für Kunden mit wenig Erfahrung in der Integration von Kraftsensoren



· Grosse Bauhöhe

### 3-Komponenten-Kraftsensoren

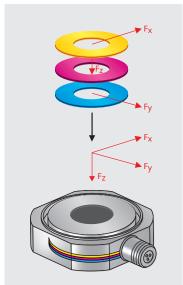
3-Komponenten-Kraftsensoren bestehen im Wesentlichen aus drei Kristallscheibenpaaren, eines für jede orthogonale Kraftkomponente, welche unter leichter Vorspannung in ein dicht verschweisstes Gehäuse integriert sind.

Durch ihre kompakte Bauform eignen sich die 3-Komponenten-Kraftsensoren hervorragend für Applikationen mit engen Einbauverhältnissen. Die Sensoren erfassen gleichzeitig Druck- und Zugkräfte  $(\pm F_z)$  sowie auch positive und negative Schubkräfte in beide Schubrichtungen ( $\pm F_x$  und  $\pm F_y$ ).

#### Einbau unter Vorspannung

Beim Einbau in die Applikation müssen 3-Komponenten-Kraftsensoren aus folgenden Gründen immer mechanisch vorgespannt

- Biegemomente und Seitenkräfte werden aufgenommen, aber nicht gemessen
- Mikrospalten werden geschlossen, was eine hohe Steifigkeit und damit einen weiten Frequenzbereich sichert
- Genügend grosse Haftreibung für die Übertragung der Schubkräfte von der Struktur auf den Kraftsensor



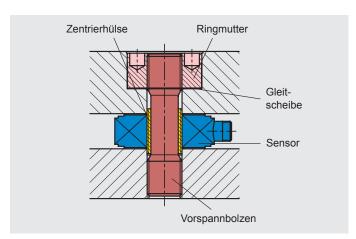




Weil bei den 3-Komponenten-Kraftsensoren die Haftreibung für die Übertragung der Schubkräfte von der Struktur auf den Sensor genutzt wird, müssen die Sensoren in z-Richtung relativ hoch – mit ca. 70% des Total-Messbereichs – vorgespannt werden.

Für eine bessere Übertragung der Schubkräfte von der Struktur auf den Sensor sind bei allen 3-Komponenten-Kraftsensoren die zwei Auflageflächen mit einer Keramikschicht beschichtet, was zu einer erheblich höheren Haftreibung führt.

Die Vorspannung des Sensors in der Applikation wird mit einem Vorspannelement realisiert. Die nachfolgende Darstellung zeigt beispielhaft den Einbau eines 3-Komponenten-Kraftsensors mittels Vorspannelement.

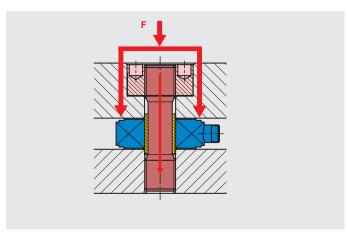


Einbau mit Vorspannelement

### Einfluss der Vorspannung auf die Empfindlichkeit

Die Vorspannung des Sensors mittels Vorspannelement führt zu einem Kraftnebenschluss. Ein Teil der Kraft in z-Richtung, welche von der Applikation auf den vorgespannten Sensor einwirkt (typischerweise 7 % bis 10 %), wird durch den Vorspannbolzen geleitet. Dies resultiert in einer geringeren Empfindlichkeit des Sensors in z-Richtung im eingebauten Zustand.

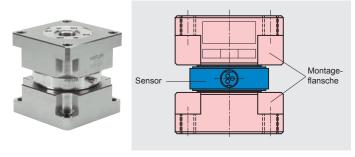
Für genaue Messungen empfiehlt es sich deshalb, den vorgespannten Sensor in der Applikation zu kalibrieren.



Kraftnebenschluss beim vorgespannten 3-Komponenten-Kraftsensor

### 3-Komponenten-Kraftmesselemente

Die 3-Komponenten-Kraftmesselemente bestehen aus einem 3-Komponenten-Kraftsensor, der zwischen zwei Montageflanschen grundisoliert vorgespannt ist.



3-Komponenten-Kraftmesselement, bestehend aus 3-Komponent-Kraftsensor, vorgespannt zwischen zwei Montageflanschen

Im Gegensatz zum 3-Komponenten-Kraftsensor vereinfacht sich durch diesen Aufbau die Installation in der Applikation wesentlich, da die Messelemente bereits vorgespannt sowie kalibriert und dadurch sofort messbereit sind. Mit 3-Komponenten-Kraftmesselementen können gleichzeitig Druck- und Zugkräfte ( $\pm F_z$ ) sowie auch positive und negative Schubkräfte in beide Schubrichtungen ( $\pm F_x$  und  $\pm F_y$ ) erfasst werden.

### 2-Komponenten-Kraft-Reaktionsmoment-Messelemente

Die 2-Komponenten-Kraft-Reaktionsmoment-Messelemente bestehen aus einem Sensor, der zwischen zwei Spezialmuttern vorgespannt ist. Durch diesen Aufbau ist die Installation in der Applikation sehr einfach, da der Sensor bereits vorgespannt sowie kalibriert und dadurch sofort messbereit ist.



2-Komponenten-Kraft-Reaktionsmoment-Messelement ( $\pm F_z$ ,  $\pm M_z$ )

Die 2-Komponenten-Kraft-Reaktionsmoment-Messelemente erfassen Druck- und Zugkräfte ( $\pm F_z$ ) sowie gleichzeitig die korrespondierenden positiven und negativen Reaktionsmomente ( $\pm M_z$ ).

# Dynamometer und Kraftmesselemente-Bausätze

### Kabelausführungen

Für die Verbindung der Dynamometer bzw. der Summierbox der 3-Komponenten-Kraftmesselemente-Bausätze mit dem Ladungsverstärker ist ein Dynamometerkabel zu verwenden.

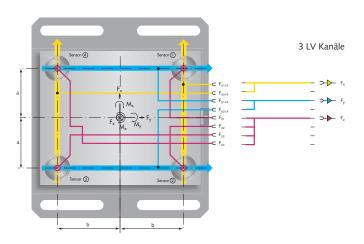
Die Dynamometerkabel sind hochisolierende und masseisolierte mehradrige Kabel, geschützt mit einem flexiblen, rostfreien Stahlschlauch. Sie sind für Anwendungen mit Temperaturen bis 70 °C ausgelegt. Dank des robusten Aufbaus und der Schutzart IP67 auf der Seite des Dynamometers bzw. der Summierbox können sie auch in rauen Umgebungen eingesetzt werden.



Dynamometerkabel mit rostfreiem Stahlschlauch

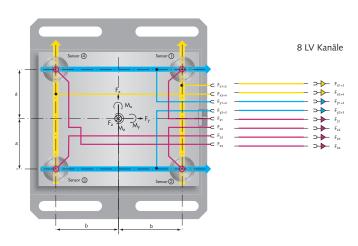
Die Dynamometerkabel gibt es in zwei Ausführungen als 3-adrige und als 8-adrige Kabel. Die Kabelausführung wird entsprechend der Applikationsanforderungen gewählt. Für die 3-Komponenten-Kraftmessung ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) ist ein 3-adriges, für die 6-Komponenten-Kraft-Moment-Messung ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) ein 8-adriges Dynamometerkabel zu verwenden.

Bei der **3-Komponenten-Kraftmessung** werden die acht Ausgangssignale des Dynamometers gemäss nachfolgender Abbildung in einem **3-adrigen Dynamometerkabel** summiert und auf drei Ladungsverstärkerkanäle geführt. Somit stehen die drei Kräfte F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub> und F<sub>z</sub> direkt zur Verfügung, ohne dass weitere Berechnungen notwendig sind.



3-Komponenten-Kraftmessung mit 3-adrigem Dynamometerkabel

Bei der 6-Komponenten-Kraft-Moment-Messung werden die acht Ausgangssignale des Dynamometers mit einem 8-adrigen Dynamometerkabel direkt auf acht Ladungsverstärkerkanäle geführt. Die Berechnung der Kräfte und Momente erfolgt dann analog mit dem 6-Komponenten-Summier-Rechner im Ladungsverstärker. Für das Berechnen der Momente muss der Abstand der Sensoren miteinbezogen werden.



6-Komponenten-Kraft-Moment-Messung mit 8-adrigem Dynamometerkabel

### Kabellängen

Alle Kistler Kabel sind in Standard- sowie kundenspezifischen Längen verfügbar. Standardlängen werden an Lager gehalten und bieten deshalb den Vorteil von kürzeren Lieferzeiten.

### Kabelanschlüsse

### Kabelstecker dynamometerseitig

Für den Anschluss des Kabels am Dynamometer bzw. der Summierbox stehen zwei Stecker-Varianten zur Auswahl. Die Standard-Variante ist der Fischer-Flansch 9-pol. pos. mit einem geraden Stecker-Abgang. Für enge Einbauverhältnisse im Bereich des Kabelanschlusses des Dynamometers steht die Variante Fischer-Flansch Winkel 9-pol. pos. mit einem rechtwinkligen Stecker-Abgang zur Verfügung. Beide Varianten werden mit zwei M4-Schrauben am Dynamometer fixiert und bieten dank einer O-Ring-Dichtung einen guten Schutz vor Staub und Spritzwasser.





Stecker Fischer-Flansch 9-pol. pos.

Stecker Fischer-Flansch Winkel 9-pol. pos.

### Kabelstecker ladungsverstärkerseitig

Die Dynamometerkabel werden mit dem Stecker **Fischer 9-pol. pos.** an den Ladungsverstärker angeschlossen. Der robuste Stecker ist auch für Anwendungen in etwas rauerer Umgebung, die einen Staubschutz erfordert, geeignet.



## Dehnungssensoren

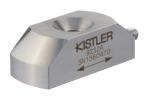
Innerhalb der Dehnungssensoren bietet Kistler zwei Ausführungen an die sich in der Montageart unterscheiden. Somit steht für viele T&M-Anwendungen der passende Dehnungssensor zur Verfügung.

Je nach Anwendung eignet sich die eine oder andere Kategorie besser. Die folgende Tabelle zeigt Vorteile und Einschränkungen auf:

Die folgenden zwei Ausführungen stehen zur Auswahl:

- Oberflächen-Dehnungssensoren
- Dehnungsmessdübel

#### Oberflächen-Dehnungssensoren





- Geeignet für die Dehnungsmessung an der Oberfläche einer Struktur
- Geringster Montageaufwand durch Befestigung mittels Schraube an der Oberfläche der Struktur
- Einfache Nachrüstung an der bestehenden Applikation möglich



 Sensor ist von der Struktur abgesetzt, dies bedingt Freiraum ausserhalb der Struktur für die Montage des Sensors

#### Dehnungsmessdübel





- Geeignet für die Dehnungsmessung innerhalb einer Struktur
- Keine Veränderung der Aussenkontur der Struktur, da Sensor innerhalb der Struktur montiert wird

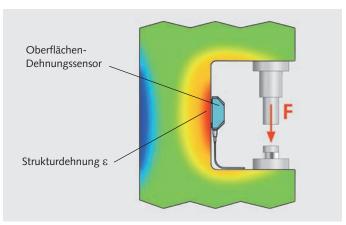


- Präzise Sacklochbohrung für Montage notwendig
- Hohe Spannungen im Bereich der Sacklochbohrung (Dübel muss vorgespannt werden) -> Vorsicht bei zyklischer Belastung

### Oberflächen-Dehnungssensoren

Oberflächen-Dehnungssensoren messen die Dehnung (Streckung und Stauchung) an der Aussenfläche einer Struktur und werden sehr einfach mittels einer Montageschraube an die Struktur angebracht. Durch Haftreibung wird die Dehnung der Struktur als Schubkraft an das Messelement übertragen. Die Oberflächen-Dehnungssensoren eigenen sich für die meisten Anwendungsfälle von indirekter Kraftmessung. Deshalb sind sie die Standard-Dehnungssensoren für die indirekte Erfassung von Kräften an Strukturen, welche die direkte Kraftmessung mittels Kraftsensor, bedingt durch die Applikationsanforderungen, nicht zulassen.

Ein typischer Anwendungsfall für die indirekte Kraftmessung mittels Oberflächen-Dehnungssensor ist die C-Presse. Bei dieser Anwendung kann Dank des Oberflächen-Dehnungssensors mit geringem Montageaufwand und kostengünstig eine Kraftüberwachung des Pressprozesses implementiert werden. Sind die absoluten Werte von Interesse so muss der Dehnungssensor, mittels eines Referenzkraftsensors, in der Anwendung kalibriert werden.



Indirekte Kraftmessung mittels Oberflächendehnungssensor bei einer C-Presse

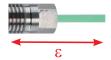


Oberflächen-Dehnungssensor für die Dehnungsmessung an der Aussenfläche einer Struktur

### Dehnungsmessdübel

Die Dehnungsmessdübel messen die Dehnung innerhalb einer Struktur. Für die Montage ist eine zylindrische Bohrung notwendig in welcher der Sensor dann eingesetzt und vorgespannt wird. Innerhalb der Dehnungsmessdübel wird zwischen den folgenden zwei Kategorien unterschieden:

 Längsmessdübel messen die Dehnung (Streckung und Stauchung) längs entlang des Dübels

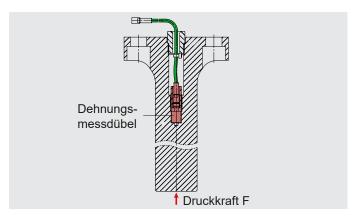


 Quermessdübel messen die Dehnung (nur Stauchung) quer zum Dübel



Die Dehnungsmessdübel werden wie die Oberflächen-Dehnungssensoren mehrheitlich für die indirekte Kraftmessung eingesetzt. Dabei werden die Dehnungsmessdübel vor allem für spezielle Anwendungsfälle verwendet, wenn an der Oberfläche der Struktur keine optimalen Bedingungen zur Messung der Dehnung vorherrschen.

Beim Beispiel des Druckbolzens wird der Dehnungsmessdübel dem Oberflächen-Dehnungssensor vorgezogen, da er mittig zum Druckbolzen montiert werden kann und die wirkenden Biegemomente somit keinen Einfluss auf die Messergebnisse haben. Zudem lässt dieses Beispiel aus Platzgründen keine Veränderung der Aussenkontur des Druckbolzens zu.



Indirekte Kraftmessung mittels Dehnungsmessdübel bei einem Druckbolzen

# Signalaufbereitung



Eine hochwertige Signalaufbereitungslösung macht die Sensorsignale optimal verfügbar und sorgt erst für die gewünschten hochpräzisen Messresultate.

Kistler bietet für jeden Sensor die passende Signalaufbereitungslösung. Für piezoelektrische Sensoren (PE) ist ein Ladungsverstärker erforderlich, während piezoelektrische Sensoren mit integrieter Elektronik (IEPE) von Piezotron Kupplern gespeist werden.

Nebst analogen Verstärkerlösungen bietet Kistler auch Geräte mit integrierter Datenerfassung an. Hochpräzise Kalibriergeräte runden das Angebot ab.

### Ladungsverstärker





- Ladungsbereiche von 2 bis 2.200.000 pC
- Frequenzbereiche von ≈ 0 bis 200.000 Hz
- Geräte mit integrierter Datenerfassung
- Dual-Mode-Verstärker (kompatibel mit PE- und IEPE-Sensoren)
- Ein- und Mehrkanal-Lösungen

#### Piezotron Kuppler (IEPE)



- Von batteriebetriebenen 1-Kanal-Geräten bis zu netzbetriebenen Mehrkanalsystemen
- IEPE-Lösungen mit TEDS-Unterstützung

### Verstärker für piezoresistive Drucksensoren



- PiezoSmart Sensoridentifikation
- Unterstützung digitaler Kompensation für höchste Messgenauigkeit

### Speisungen für MEMS kapazitive Beschleunigungssensoren

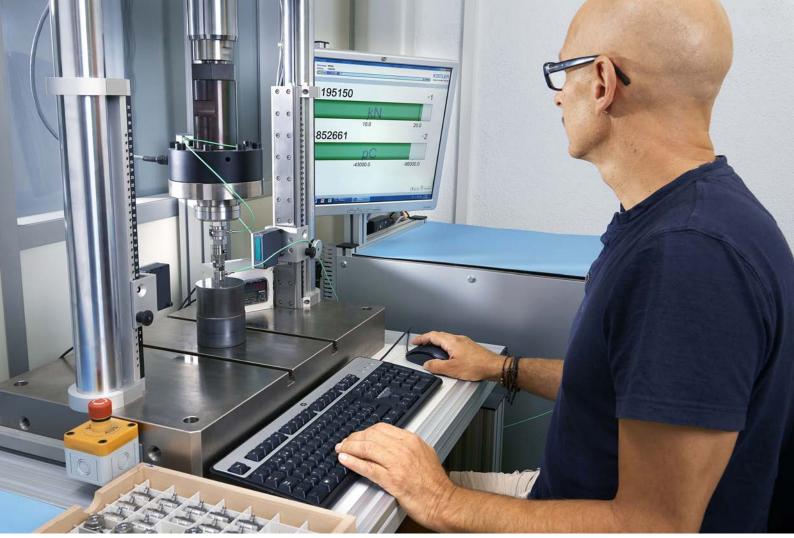


• Speist bis zu 15 einachsige und bis zu fünf dreiachsige K-Beam Sensoren

### Kalibriergeräte



- Vollautomatische Kalibrierung von Ladungsverstärkern und anderen Signalaufbereitungsgeräten
- Portables Signalaufbereitungssystem zur Kalibrierung piezoelektrischer Sensoren



Erst gewissenhaft kalibrierte Sensoren gewährleisten verlässliche Messresultate

# Kalibrierung

Sensoren und Messgeräte müssen regelmässig kalibriert werden, da sich deren Eigenschaften und damit die Messunsicherheiten durch Gebrauch, Alterung und Umwelteinflüsse mit der Zeit verändern können. Die zum Kalibrieren eingesetzten Messmittel sind rückführbar auf nationale Normale und unterliegen einer international einheitlichen Qualitätssicherung. Kalibrierzertifikate dokumentieren die bei der Kalibrierung gemessenen Werte und die Kalibrierbedingungen.

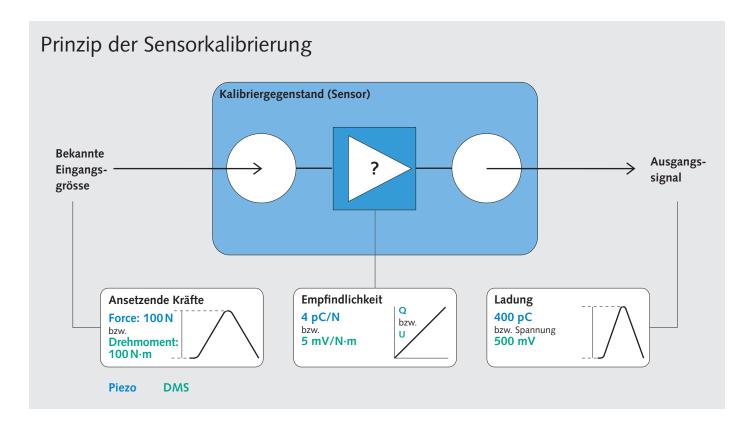
### Sicherheit und verlässliche Messungen

Qualitätssicherungssysteme und Produkthaftungsgesetze verlangen die systematische Überwachung aller Prüfmittel, die für die Messung qualitätsrelevanter Merkmale verwendet werden. Nur so bieten die erzielten Mess- und Prüfergebnisse eine verlässliche und vertrauenswürdige Grundlage für die Qualitätskontrolle.

Alle Sensoren und elektronischen Messgeräte besitzen eine gewisse Messunsicherheit. Da sich Messabweichungen mit der Zeit verändern können, müssen Prüfmittel periodisch kalibriert werden.

Dabei bestimmt man die Abweichung des gemessenen Werts zu einem durch Vereinbarung anerkannten, richtigen Wert, dem Referenzwert oder so genannten Kalibriernormal. Das Ergebnis der Kalibrierung erlaubt dann entweder die Zuordnung der Werte der Messgrösse zu den angezeigten Messwerten oder die Ermittlung von Korrekturen für die Anzeige. Die dafür notwendigen Informationen werden in einem Kalibrierzertifikat dokumentiert.

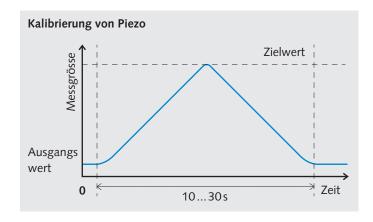
Definition: Kalibrierung ist die mit einem definierten Verfahren unter vorgegebenen Bedingungen durchgeführte Bestimmung des Zusammenhangs zwischen einer bekannten Eingangsgrösse und einer gemessenen Ausgangsgrösse.



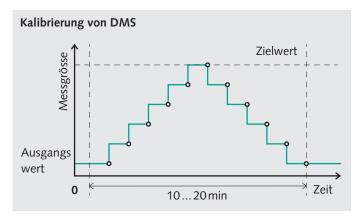
### Kalibrierverfahren

Beim Kalibrieren werden Sensoren mit bekannten Werten einer physikalischen Eingangsgrösse (z.B. Kraft) belastet, und die zugehörigen Werte der Ausgangsgrösse werden aufgezeichnet. Der quantitative Wert der Belastung ist genau bekannt, da diese gleichzeitig mit einem rückverfolgbar kalibrierten, so genannten Werksnormal, gemessen wird. Je nach Verfahren werden Sensoren im ganzen Messbereich oder einem Teilbereich kalibriert, entweder:

- an einem Punkt
- kontinuierlich
- stufenweise an mehreren Punkten



Beim kontinuierlichen Kalibrieren wird die Belastung in einem definierten Zeitraum kontinuierlich auf den gewünschten Wert erhöht und anschliessend in der gleichen Zeit wieder auf Null reduziert. Für die resultierende, nie exakt lineare Kennlinie wird eine durch den Nullpunkt verlaufende, so genannte «Beste Gerade» bestimmt, deren Steigung der Empfindlichkeit des Sensors im kalibrierten Messbereich entspricht.



**Beim stufenweisen Kalibrieren** erfolgt die Lastaufbringung je nach Kalibrierverfahren mit oder ohne Entlastung zwischen aufeinander folgenden, zu- und/oder abnehmenden Stufen, wobei auf jeder Stufe gewartet wird, bis sich der Messwert stabilisiert hat.

Die Linearität ergibt sich aus der Abweichung zwischen der Kennlinie und der besten Geraden. Die Hysterese entspricht dem maximalen Abstand zwischen dem auf- und absteigenden Verlauf der Kennlinie. Die meisten ein- und mehrachsig messenden Kraftund Drehmomentsensoren von Kistler werden im Werk kalibriert.

Für die Kalibrierung piezoelektrischer Sensoren ist das kontinuierliche Verfahren am besten geeignet. Sensoren mit DMS-Technologie werden bevorzugt stufenweise kalibriert.

Kistler bietet verschiedene Möglichkeiten der Kalibrierung an:

- Einsendung der Sensorik ins Produktionswerk
- Vor Ort Kalibrierung in der Anlage
- Kalibrierequipment zur In House Kalibrierung

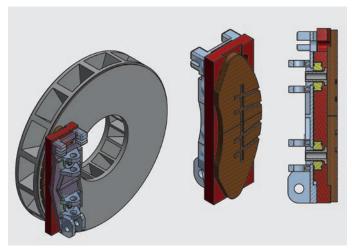
## **Beratung**

Kistler hat langjährige Erfahrung in der Integration von Kraft- und Dehnungssensoren in kundenspezifische Applikationen. Nutzen Sie das Know-How unserer Experten und lassen Sie sich beraten.

In einer Beratung lernen Sie, wie der Sensor am besten in die Anwendung einzubauen ist, um verlässliche und genaue Messergebnisse zu erhalten. Die folgenden Beispiele zeigen Kundenprojekte, bei denen Kistler bei der Integration der Sensoren in die Applikation beratend zur Seite stand.

# Reibkraftmessung an Eisenbahnbremse

Die maximalen Bremskräfte bei Eisenbahnbremsen sind entscheidend für eine hohe Verzögerung. Kistler Kraftsensoren wurden in den Bremsbelag integriert, um die Bremskräfte im realen Betrieb zu messen. Aufgrund der engen Platzverhältnisse war die Erfahrung vom Kistler Vertrieb entscheidend für den erfolgreichen Einbau.



Bremsbelag mit Kraftsensoren

#### Herausforderung

- Messen von sehr grossen Kräften
- Enge Einbausituation

#### Lösung

- Zwei 3-Komponenten-Kraftsensoren unter Krafteinleitung
- Spezielle Vorspannbolzen
- Vor-Ort-Kalibrierung im eingebauten Zustand mit Spezialvorrichtung

### Force Limited Vibration Test (FLV)

Satelliten sind grossen Vibrationsbelastungen beim Start und beim Flug durch die Atmosphäre ausgesetzt. Vor dem Start wird ein Vibrationstest durchgeführt. Dank diesem Test sind Satellitenverluste selten geworden. Kistler Kraftsensoren messen die Kräfte und ermöglichen einen gesicherten Testablauf.



Satellit auf Shaker



Anordnung der 3-Komponenten-Kraftmesselemente auf Shaker

### Herausforderung

- Grosser Messbereich
- Hohe Steifigkeit
- Hohe Zuverlässigkeit
- Komplexe mechanische Integration

### Lösung

- Mehrere 3-Komponenten-Kraftmesselemente
- Alle Messelemente auf gleiche Höhe überschliffen
- Kundenspez. Grund- und Deckplatte für mechanischen Anschluss
- Einfach zu bedienender Ladungsverstärker (LabAmp 5165A)

Wenn Sie für Ihre Applikation eine Beratung wünschen, kontaktieren Sie bitte Ihren lokalen Kistler Vertrieb.

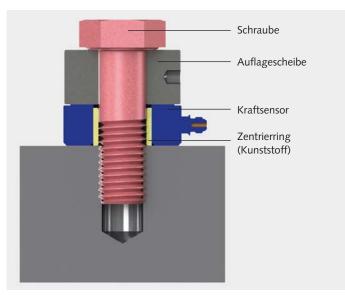
## Kundenspezifische Sensoren

Haben Sie eine Applikation, für die Sie keinen passenden Kraftbzw. Dehnungssensor aus dem T&M-Produktportfolio finden? Greifen Sie auf die langjährige Erfahrung von Kistler in der Konstruktion und Entwicklung von kundenspezifischen Sensoren zurück und lassen Sie einen Sensor ganz nach Ihren Vorgaben entwickeln.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen kundenspezifische Sensorentwicklungen, welche von der Entwicklung über die Konstruktion und Produktion bis zur Kalibrierung in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden durch Kistler umgesetzt wurden.

# Messung der Vorspannkraft einer Schraube

Bei Schraubverbindungen ist der Zusammenhang von Vorspannkraft und Anziehdrehmoment entscheidend für eine zuverlässige Montage und eine hohe Sicherheit gegen Lösen.



Messaufbau mit Schraube, Auflagescheibe und Kraftsensor

### Herausforderung

- Hohe Überlastfestigkeit
- Einfache Handhabung
- Langlebigkeit

### Lösung

• Gehärtete Auflagescheibe auf 1-Komponenten-Kraftsensor und Zentrierung mit Kunststoffringg

# Dynamometer zur Messung von Schleifkräften

Nur geschliffene Zahnräder ermöglichen eine sehr hohe Laufruhe. Der Schleifprozess ist sehr zeitintensiv. Im Rahmen eines Forschungsprojektes soll die grosse Anzahl Bearbeitungsparameter optimiert werden für ein effizientes Schleifen.



Zahnrad mit Schleifscheibe



Dynamometer

#### Herausforderung

- Sehr weiter Kraftmessbereich
- Hohe Eigenfrequenz
- Sehr aggressive Medien

#### Lösung

- Vier 3-Komponenten-Kraftsensoren
- Druckluftpolster gegen Eindringen von Verschmutzung
- Kundenspezifische Kalibrierung für weiten Messbereich

Bitte kontaktieren Sie Ihren lokalen Kistler Vertrieb für weitere Informationen und Beratung rund um die kundenspezifische Sensorentwicklung.

# Glossar

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Definition
Kraft	F	N	Kraft ist eine physikalische Größe, die durch einen Vektor mit Angriffspunkt, Richtung und Zahlenwert dargestellt werden kann.
Dehnung	3	μm/m	Dehnung ist eine Angabe für die relative Längenänderung (Verlängerung oder Verkürzung) eines Körpers unter Belastung, beispielsweise durch eingeprägte Kräfte oder eine Temperaturänderung (Wärmeausdehnung). Vergrößert sich die Abmessung eines Körpers, spricht man von einer positiven Dehnung. Verkleinert sie sich, liegt eine negative Dehnung vor.
Coulomb	Q	С	Einheit der elektrischen Ladung.  1 Coulomb entspricht 1 Ampere-Sekunde (1 C = 1 As).
Dynamisch	-	_	Beschreibt die Fähigkeit der Sensoren, Ladungsverstärker und elektrischen Geräte von Kistler, schnelle und stark zeitvariable Messgrößen zu messen (z. B. hochfrequente Bewegungen).
Quasistatisch	-	_	Beschreibt die Fähigkeit der Sensoren, Ladungsverstärker und elektrischen Geräte von Kistler, zeitvariable und nahezu zeitkonstante Messungen durchzuführen (z.B. Langzeit- oder DC-ähnliche Messungen).
Zeitkonstante	τ	S	Die Zeitkonstante beschreibt das Verhalten eines Hochpassfilters und bildet die Zeit ab, nach der das Signal auf 1/e seines anfänglichen Ausgangswerts reduziert wird.
			Hinweis: Mithilfe der Zeitkonstante lassen sich Messfehler im Verhältnis zur Messdauer abschätzen. Ausführliche Angaben zur Zeitkonstante und zum Empfindlichkeitsbereich finden Sie in der Bedienungsanleitung Ihres Ladungsverstärkers. Beispiel: Die Zeitkonstante ist abhängig vom gewählten Messbereich des Ladungsverstärkers. Die Werte variieren zwischen rund 0,01 s im empfindlichsten Messbereich und ca. 100.000 s im unempfindlichsten Messbereich. Für quasistatische Messungen ist die größtmögliche Zeitkonstante zu wählen.
Linearität einschließlich Hysterese	Lin Hys	%FSO	Je nach Sensortyp wird die Linearität mithilfe unterschiedlicher Daten bestimmt. Dazu gehören die Ausgangswerte der steigenden (blauen) sowie der fallenden (roten) Messgröße. In diesen Fällen ist die Hysterese (b %FSO) bereits in der Linearität (±a %FSO) enthalten und muss zur Kalkulation der Messungenauigkeit der Applikation nicht zusätzlich berücksichtigt werden.  Hinweis: Die Steigung der Mittellinie entspricht in diesem Fall der Empfindlichkeit des Sensors. Der halbe Abstand zwischen den beiden Parallelen (in Ordinatenrichtung gemessen) ist die Linearität.  Linearität = ±a %FSO  Hysterese = b %FSO  Beste Gerade  Messgrösse

Begriff	Formelzeichen	Einheit	Definition
Frequenzbereich	fr	Hz	Der nutzbare Frequenzbereich wird durch die Frequenzen begrenzt, bei denen die entsprechenden Amplituden des Übertragungsfaktors die zulässigen Werte für Amplitudenfehler nicht überschreiten. Aufgrund ihrer mechanischen Beschaffenheit verfügen piezoelektrische Sensoren nur über eine sehr geringe Dämpfung. In ansteigender Richtung wird der nutzbare Frequenzbereich durch den zunehmenden Resonanzanstieg begrenzt. Die nachstehenden Richtwerte gelten für den Amplitudenfehler bzw. die erreichbare Genauigkeit in Abhängigkeit von der Frequenz:  • Genauigkeit 10 % -> $f_{max} \approx 0,3 \cdot f_n$ • Genauigkeit 10 % -> $f_{max} \approx 0,2 \cdot f_n$ • Genauigkeit 1 % -> $f_{max} \approx 0,1 \cdot f_n$ Symbole:  • $f_{max} = Maximale Messfrequenz$ • $f_{max} = Eigenfrequenz$
Frequenzbereich (Fortsetzung)	$f_r$	Hz	Hinweis: Das dynamische Verhalten piezoelektrischer Sensoren ist besser als das aller anderen Messmethoden. Ihre hohe Steifigkeit führt zur größtmöglichen Eigenfrequenz. Daher sind piezoelektrische Sensoren ideal für das Messen schnell wechselnder Messgrößen. Ihr dynamisches Verhalten wird dabei in erster Linie von der umgebenden Konstruktion bestimmt. Um den größtmöglichen Messbereich zu erhalten, muss deshalb der Frequenzgang des gesamten Messaufbaus untersucht werden. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten: zum einen die Frequenzanalyse, z. B. bei Drucksensoren im Stoßwellenrohr oder Finite-Elemente-Methode. Zum anderen die schematische Darstellung des Frequenz- und Phasengangs.
Axiale Steifigkeit	$c_{A,x}$ $c_{A,y}$ $c_{A,z}$	N/µm	Mechanischer Widerstand eines belasteten Sensors gegen die axiale Verformung, die aus der Kraft hervorgeht, die in axialer Richtung auf den Kraftsensor einwirkt. Der Steifigkeitswert berechnet sich aus der aufgebrachten Kraft $F_A$ dividiert durch den effektiven Abstand $\Delta h$ zwischen festgelegten Bezugspunkten.  Darstellung der Bezugspunkte für die Abstandsmessung.



Von der kompetenten Beratung über die Montage bis zur schnellen Versorgung mit Ersatzteilen: Kistler ist weltweit mit einem umfassenden Dienstleistungs- und Schulungsangebot präsent

# Service: Massgeschneiderte Lösungen von A bis Z

Vertrieb und Service bietet Kistler überall dort, wo automatisierte Fertigungsprozesse stattfinden.

Neben Sensoren und Systemen bietet Kistler eine Vielzahl von Dienstleistungen an – von der kompetenten Beratung über die Montage bis hin zur schnellen, weltweiten Versorgung mit Ersatzteilen. Eine Übersicht über unser Serviceangebot finden Sie unter **www.kistler.com**. Für detaillierte Informationen zu unserem Schulungsangebot nehmen Sie bitte Kontakt mit unseren lokalen Vertriebspartnern auf (vgl. S. 77).

### Kistler Service auf einen Blick

- Beratung
- Support bei der Inbetriebnahme von Systemen
- Prozessoptimierung
- Periodische Kalibrierung von Sensoren, die beim Kunden im Finsatz sind
- Schulungs- und Trainingsveranstaltungen
- Entwicklungsdienstleistungen

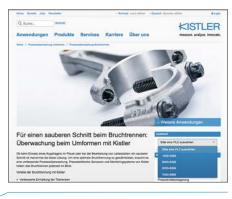
# Kistler - weltweit im Einsatz für unsere Kunden

Mit rund 1.500 Mitarbeitenden ist die Kistler Gruppe Weltmarktführer in der dynamischen Messtechnik. 31 Gruppengesellschaften und mehr als 30 Vertretungen sichern einen engen Kontakt zum Kunden, eine individuelle anwendungstechnische Unterstützung und kurze Lieferzeiten.



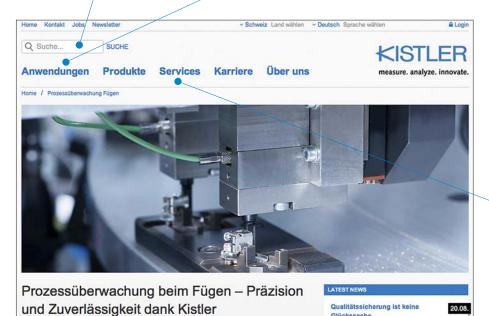
### Datenblätter und Unterlagen

Nutzen Sie unsere Suche, um Datenblätter, Prospekte oder CAD-Daten herunterzuladen.



### Ihre Ansprechpartner

Ganz gleich, ob Sie von uns eine Beratung wünschen oder Support bei der Montage benötigen – auf unserer Website finden Sie weltweit die Kontaktadresse von Ihrem persönlichen Ansprechpartner.



Ob in der Automobil- oder Konsumgüterbranche, der Medizintechnik, der Verpackungs- oder

Elektronikindustrie – die Überwachung und Kontrolle von Fügeprozessen ist die Grundlage jeder erfolgreichen industriellen Produktion. Eine zuverlässige Überwachung sorgt für eine hundertprozentige Qualität der Endprodukte und erlaubt es, Fehlteile frühzeitig zu erkennen und zu filtern. Damit können weitere, unnötige Prozessschritte vermieden werden.



Schulungs- und Trainings-veranstaltungen

Schulungen und Trainingskurse, bei denen unsere Sensoren und Messsysteme von erfahrenen Kistler Trainern erläutert werden, sind die effizienteste Art, sich das notwendige Fachwissen anzueignen.

79 www.kistler.com

and cost efficiency At NPE 2015 Kistler will be presenting solutions for zero-defect production, production

industriellen Fertigung - jetzt anmelden.

Process-reliable series production













### **Kistler Group**

Eulachstrasse 22 8408 Winterthur Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter **www.kistler.com** Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf www.kistler.com

