

# Grundsätzliches zur Messung von Kräften



**Messtechnik Schaffhausen GmbH**

Mühlenstrasse 4, CH-8260 Stein am Rhein

Telefon +41 52-672 50 00

Telefax +41 52-672 50 01

[www.mts.ch](http://www.mts.ch), e-mail: [info@mts.ch](mailto:info@mts.ch)

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	5
<b>2. Elementare Größen und Definitionen</b>	6
2.1 Größen und Einheiten	6
2.2 Mechanik	7
2.2.1 Länge	7
2.2.2 Geschwindigkeit	8
2.2.3 Beschleunigung	8
2.2.4 Masse	8
2.2.5 Kraft	8
<b>3. Funktionsprinzip eines DMS-Kraftsensors</b>	10
3.1 Federkörper	10
3.2 Dehnungsmessung	12
3.3 Beschaltung	12
3.4 Parallelschaltung	13
3.5 Sicherheitsbarrieren	13
<b>4. Einbauhinweise</b>	14
4.1 Mechanik	14
4.1.1 Störkraftvermeidung	14
4.1.2 Querkraftvermeidung	14
4.1.3 Überlastschutz	15
4.1.4 Einbaubeispiele	16
4.2 Schrauben und Gewinde	17
4.2.1 Befestigungsschrauben	17
4.2.2 Krafteinleitungs-Schraubverbindungen	18
4.3 Elektrik	19

<b>5. Kalibrierung von Kraftmessketten</b>	19
5.1 Kundenseitige Kalibrierung einer Messkette	19
5.1.1 Mit Physikalischer Größe	19
5.1.2 Mit Präzisions-Spannungsgeber	19
5.1.3 Mit DMS-Simulator	20
5.1.4 Mit Kalibriersprung (Shunt-Calibration)	21
5.1.5 Mit einer Referenz-Messkette	21
5.2 Werkseitige Kalibrierung	22
<b>6. Begriffe der Metrologie</b>	23
<b>7. Fehlererkennung und -Beseitigung</b>	29
7.1 Für DMS-Sensoren ohne eingebauten Verstärker	29
7.2 Für alle Messketten, bestehend aus DMS-Sensor und Anzeige-Einheit	30
<b>8. Normenübersicht</b>	31
<b>9. Umrechnungstabellen</b>	32
9.1 Länge	32
9.2 Geschwindigkeit	32
9.3 Masse	32
9.4 Temperatur	32
9.5 Kraft	33
9.6 Druck	33
<b>10.Übersicht - Sensoren</b>	

# 1. Einleitung

Im Zuge steigender Qualitätsansprüche in Labor, Betrieb und Produktion wird immer häufiger die Frage gestellt nach Kalibrier- und Justierbarkeit von Messwerterfassungssystemen selbst und der Verlässlichkeit ihrer Ergebnisse.

Diese Fragen stehen häufig im Zusammenhang mit anstehenden Zertifizierungen nach den Qualitätssicherungsnormen DIN EN ISO 9000 - 9004. Diese Normung ist der Rahmen für die organisatorischen Voraussetzungen einer qualitätsorientierten Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens.

Einem nach ISO 9000 ff zertifizierten Unternehmen kann man Vertrauen schenken. Es wird den Anforderungen an die Qualitätssicherungssysteme gerecht. Prüfungen, die internationale Gültigkeit haben, bestätigen dies.

Dieses Vertrauen gilt gleichermaßen dem Produkt wie auch den dazugehörigen Dienstleistungen. Die Entwicklung, Produktion, Prüfeinrichtungen, Service und Vertrieb von burster präzisionsmeßtechnik in Gernsbach sind seit dem 13. Dezember 1995 nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert. Eine schöne Bestätigung für unser langjährig bestehendes Qualitätssicherungssystem!

D.h. also, der Anwender unserer Produkte ist auf „qualitätssicherem Weg“. Solch eine Qualitätspartnerschaft ist ein Wettbewerbsvorteil für Lieferanten und Abnehmer gleichermaßen, da in vielen Betrieben bei einer Kaufentscheidung gilt: ISO-zertifizierte Partner haben die Nase vorn.



Abb. 1: Die Entwicklung, Produktion, Prüfeinrichtungen, Service und Vertrieb von burster präzisionsmeßtechnik sind seit 1995 ISO-zertifiziert.

Täglich werden die verschiedensten Fragen an uns herangetragen. Alle diese Anfragen decken ein weites Spektrum ab, angefangen bei physikalischen Verständnisfragen bis hin zu praxisnahen Anwendungsproblemen.

Mit der hier vorliegenden Broschüre möchten wir uns an alle wenden, die in ihrer täglichen Arbeit mit der „Kraftmessung“ befasst sind. Wir haben die Broschüre mit dem Ziel verfasst, die am häufigsten auftretenden Fragestellungen so zu behandeln und darzustellen, dass Sie ihr einige nützliche Informationen und Hinweise entnehmen können.

Haben Sie Anmerkungen oder Verbesserungsvorschläge, wie sich diese Broschüre noch näher an der Messpraxis orientieren kann?

Bitte sprechen Sie uns an — wir freuen uns auf Ihre Anregungen.

## 2. Elementare Größen und Definitionen

### 2.1 Größen und Einheiten

Die physikalischen Naturgesetze werden meist durch mathematische Beziehungen zwischen physikalischen Größen ausgedrückt. Jede physikalische Größe ist das Produkt aus einem Zahlenwert und einer Einheit. Ein einzelner Zahlenwert allein reicht zur Bestimmung einer physikalischen Größe nicht aus. Die erforderlichen Einheiten dürfen demnach niemals weggelassen werden.

Mit der Einführung des Internationalen Einheitensystems **Système Internationale d'Unités** (SI) wurde 1960 ein über hundertjähriges Durcheinander einer Vielzahl von Einheiten und Einheitensystemen beendet. Der Übergang zu einem einzigen Einheitensystem war für die internationale Verständigung in Forschung, Technik und Wirtschaft von Vorteil. Das internationale Einheitensystem stellt heute die Grundlage rechtlicher Regelungen für den amtlichen und geschäftlichen Verkehr dar.

Das SI-System ist ein kohärentes Einheitensystem in dem Sinne, dass die Einheiten des Systems ausschließlich durch Einheitengleichungen miteinander verknüpft sind, in denen kein von 'eins' abweichender Zahlenfaktor vorkommt. Das SI-System besteht aus sieben Basiseinheiten und aus den Basiseinheiten abgeleiteten Einheiten.

Das **Meter (m)** ist gleich dem 1.650.763.73fachen der Vakuumwellenlänge, die dem Übergang zwischen den Niveaus  $2p_{10}$  und  $5d_5$  der Atome von Krypton-86 entspricht. Die ursprüngliche Grundlage der Längenmessung war das Urmeter, ein in Paris aufbewahrter Stab aus einer Platin-Iridium-Legierung. Die Länge des Stabes sollte den zehnmillionsten Teil eines Erdmeridianquadranten (Längengrad zwischen Pol und Äquator) darstellen. Genaue Messungen wiesen Abweichungen nach, was o.g. Neu-Definition notwendig machte.

Das **Kilogramm (kg)** ist die **Masse** des Internationalen Kilogrammprototyps aus Platin-Iridium von 39 mm Höhe und 39 mm Durchmesser.

Die **Sekunde (s)** ist das 9.192.631.770fache der Periodendauer im Übergang des Hyperfeinstruktur-niveaus im Grundzustand des Nuklids  $^{133}\text{Cs}$ .

Das **Ampere (A)** ist die Stärke eines konstanten **elektrischen Stroms**, der - durch zwei parallele, geradlinige, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von einem Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinen, kreisförmigen Querschnitten fließend - zwischen diesen Leitern je Meter die Kraft  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton hervorrufen würde.

Das **Kelvin (K)** ist die Einheit der **thermodynamischen Temperatur** und ist der 273,15te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunkts des Wassers.

Das **Mol (mol)** ist die **Stoffmenge** eines Systems, das aus eben so viel Einzelteilchen ( $6.022 \cdot 10^{23}$ ) besteht, wie Atome in 0,012 Kilogramm des Kohlenstoffnuklids  $^{12}\text{C}$  enthalten sind.

Die **Candela (cd)** ist die **Lichtstärke** in senkrechter Richtung einer  $1/600.000 \text{ m}^2$  großen Oberfläche eines schwarzen Strahlers bei der Temperatur und dem Druck (101.325 Pa) des erstarrten Platins.

## 2.2 Mechanik

Befassen wir uns mit der Messung mechanischer Größen, bewegen wir uns im Bereich der klassischen Mechanik. Die Mechanik ist die Wissenschaft von der einfachsten Form der Bewegung der Materie; eine mechanische Bewegung ist eine zeitliche Veränderung der gegenseitigen Lage von Körpern oder ihrer Teile im Raum.

Körper sind makroskopische Systeme, die aus einer so großen Zahl von Molekülen oder Atomen bestehen, dass die Dimensionen dieser Systeme um vieles größer sind als die intermolekularen Abstände. In der klassischen Mechanik betrachten wir die mechanischen Bewegungen von Körpern mit Geschwindigkeiten, die um vieles kleiner sind als die Vakuumlichtgeschwindigkeit.

Die Erforschung der Bewegung von Körpern mit Geschwindigkeiten in der Größenanordnung der Lichtgeschwindigkeit ist Aufgabe der relativistischen Mechanik, die auf der Relativitätstheorie basiert. Die Untersuchung der speziellen Besonderheiten der Bewegung mikroskopischer Teilchen sind Aufgabe der Quanten- oder Wellenmechanik. Mikroskopisch werden solche Teilchen genannt, deren Ruhemasse größenordnungsmäßig gleich oder kleiner als die Ruhemasse von Atomen ist.

Die klassische Mechanik zerfällt in drei Hauptgebiete:

1. Statik

Sie behandelt die Gesetze der Addition von Kräften und die Gleichgewichtsbedingungen von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern.

2. Kinematik

Hier werden die mechanischen Bewegungen von Körpern untersucht, ohne die Wechselwirkungen zwischen ihnen zu berücksichtigen.

3. Dynamik

Untersucht die Wechselwirkungen zwischen Körper und deren Einfluss auf ihre mechanische Bewegungen.

### 2.2.1 Länge

Eine Länge oder ein Weg wird in der einfachsten Form als Differenz zwischen zwei Punkten angegeben, welche auf einer gedachten Gerade liegen. Diese sehr einfache Definition beinhaltet einen elementaren Gegenstand der klassischen Mechanik. Alle Bewegungen definieren sich über ein zuvor festgelegtes Bezugssystem.

Mit dem Bezugssystem ist ein beliebiges Koordinatensystem starr verbunden, so dass die Lage eines jeden Punktes eines ruhenden oder bewegten Körpers in Bezug auf das Koordinatensystem mittels Angabe von drei Koordinaten eindeutig bestimmt ist. Außerdem muss das Bezugssystem sozusagen mit einer Uhr versehen sein, d.h. eine Zeiteinteilung besitzen, die es ermöglicht, den verschiedenen Lagen des Körpers im Raum entsprechende Zeitpunkte eindeutig zuzuordnen.

Zum Messen von Längen werden häufig Maßstäbe, Messschieber, optische Methoden oder weg-sensitive Sensoren benutzt.

### **2.2.2 Geschwindigkeit**

Unter der vektoriellen Größe Geschwindigkeit versteht man ganz allgemein das Verhältnis zwischen zurückgelegtem Weg und der dafür benötigten Zeit. Die Geschwindigkeit wird in Metern je Sekunde angegeben. Streng genommen wird die Geschwindigkeit aus der ersten Ableitung des Weges nach der Zeit bestimmt.

### **2.2.3 Beschleunigung**

Die Beschleunigung drückt die zeitliche Veränderung einer Geschwindigkeit aus. Die Beschleunigung stellt ebenfalls eine vektorielle Größe dar und kann aus der ersten zeitlichen Ableitung der Geschwindigkeit oder als zweite zeitliche Ableitung des Weges bestimmt werden. Die Bewegung eines Körpers wird als beschleunigt bezeichnet, wenn der Betrag der Geschwindigkeit zunimmt; nimmt der Betrag ab, so wird die Bewegung als verzögert bezeichnet.

### **2.2.4 Masse**

Die Masse eines Körpers ist eine physikalische Größe und dient als Maß seiner trägen und schweren Eigenschaften.

Die Trägheit einer Masse äußert sich darin, daß diese unter dem Einfluss äußerer Kräfte eine endliche Beschleunigung erfährt, während sie beim Fehlen äußerer Kräfte einen Zustand der Ruhe oder gleichförmigen, geradlinigen Bewegung relativ zu einem Bezugssystem beibehält. Die Masse, die in das Gesetz der universellen Gravitation eingeht, charakterisiert die Gravitations-Eigenschaften der Masse und wird als eine schwere Masse bezeichnet.

Aufgrund von sehr genauen Messungen konnte nachgewiesen werden, dass für alle Körper das Verhältnis von träger Masse eines beliebigen Körpers gleich seiner schweren Masse ist; sie ist mit dem Gewicht  $G$  dieses Körpers durch die Beziehung  $m = G/g$  verknüpft, wobei  $g$  die Schwerebeschleunigung ist. Diese ist, wie Versuche gezeigt haben, an ein- und demselben Ort für alle Körper gleich. Daher kann das Massenverhältnis zweier Körper durch ihr Gewichtsverhältnis ausgedrückt werden:  $m_1 / m_2 = G_1 / G_2$ . Hierauf beruht der Massenvergleich von Körpern mittels Komparatorwaagen oder auch Hebelwaagen.

### **2.2.5 Kraft**

Die Kraft ist eine vektorielle Größe und ein Maß für die mechanische Einwirkung auf einen Massepunkt oder Körper, welche von anderen Körpern oder Feldern ausgeübt wird. Eine Kraft ist vollständig bestimmt, wenn man ihren Absolutbetrag, ihre Richtung und ihren Angriffspunkt kennt.

Die Beschleunigung einer Masse ist zu der auf ihr wirkenden Kraft direkt proportional, zu der Masse des Körpers umgekehrt proportional und fällt mit der Richtung der Kraft zusammen.

# Kraftwirkungsgesetz

(Grundgesetz der Dynamik)

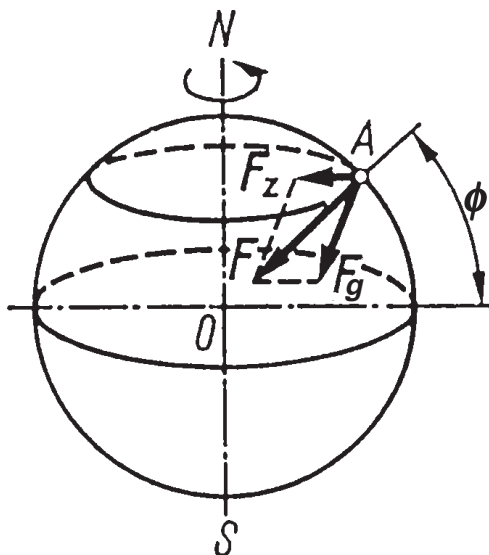
Beschleunigung = Kraft / Masse

$$a = F / m \quad (m/s^2 = N / kg)$$

Da auf alle Körper auf der Erdoberfläche die Schwerkraft der Erde wirkt, ruft diese Schwerebeschleunigung eine dem Kraftwirkungsgesetz entsprechende Gewichtskraft hervor. Das Gewicht eines Körpers ist diejenige Kraft, die der Körper infolge der Erdanziehung auf eine Unterlage - oder Aufhängung - ausübt und die ihn vor dem freien Fall bewahrt.

Sind Körper und Unterlage relativ zur Erde in Ruhe, dann ist das Gewicht des Körpers gleich der Kraft  $F_g$ . Sie ist gleich der (Vektor) Differenz der auf diesen Körper wirkenden und zur Erde hin gerichteten Schwerkraft  $F$  und der Zentrifugalkraft  $F_z$ . Diese Zentrifugalkraft muss bei genauen Messungen berücksichtigt werden, da der Körper an der Erdrotation teilnimmt, und ist somit eine Funktion der geometrischen Breite  $\phi$ .

Die Normalfallbeschleunigung am Normort, d.h. 45° nördlicher Breite in Meeresspiegelhöhe, beträgt  $g = 9,806\ 65\ m/s^2$ . Das Gewicht ist am größten an den Polen und am kleinsten am Äquator.



→ → →

$$F_g = F - F_z$$

$$F_z = m \omega^2 R \cos \phi$$

$\omega$  = Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation

$R$  = Erdradius

$\phi$  = geographische Breite

Ein praktisches Beispiel mag diesen Sachverhalt verdeutlichen: Im Zuge des Auf- und Ausbaus der hauseigenen Kraftmessanlagen bei burster präzisionsmeßtechnik mussten alle möglichen systematisch auftretenden Einflussgrößen soweit wie möglich erkannt und im folgenden auf ein Minimum reduziert werden.

Vom Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut München wurde der Standort unseres Firmengebäudes im Gauß-Krüger-System exakt bestimmt, die Schwerebeschleunigung beträgt am Ort unseres Firmengebäudes  $g = 9,80899 \pm 0,00004\ ms^{-2}$ .

Mit dieser extrem genauen Bestimmung ist es uns nun möglich, den Einfluss der Schwerebeschleunigung bei allen Messungen mit einer Unsicherheit von 4 ppm zu berücksichtigen.

### 3. Funktionsprinzip eines DMS-Kraftsensors

Ein Kraftsensor besteht aus einem Federkörper, der durch die zu messende Kraft elastisch deformiert wird und einer Vorrichtung zur Messung dieser Deformation. Es gibt mehrere Methoden, kleine Verformungen zu messen. Ziel ist es immer, die mechanische Größe Verformung auf die elektrische Größe Spannung abzubilden.

#### 3.1 Federkörper

Das wichtigste mechanische Bauelement in einem Kraftsensor ist der Federkörper, dessen Aufgabe darin besteht, die zu messende Kraft abzufangen und in einen Bereich homogener Dehnung umzusetzen. Hier werden die elastischen Eigenschaften der Federwerkstoffe genutzt, um die Kraft indirekt zu bestimmen.

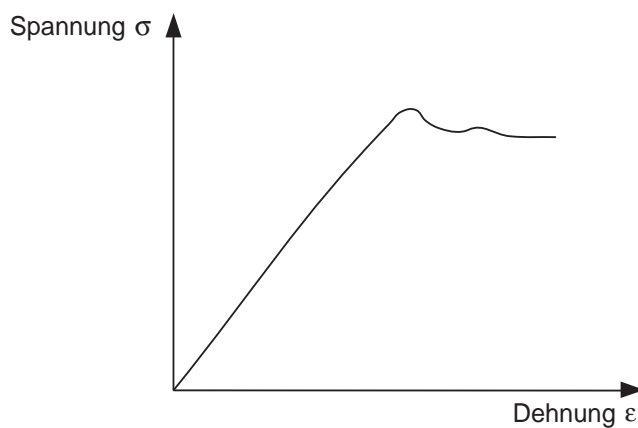


Abb. 2: Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Aufgetragen ist die Spannung  $\sigma$  als Maß für die Kraft über der Dehnung  $\epsilon$ . Man erkennt, dass Spannung und Dehnung in einem bestimmten Bereich (Hookscher Bereich) einander proportional sind. Neben diesen elastischen Eigenschaften müssen die Werkstoffe für Kraftsensoren weiteren Bedingungen genügen, so dass letztlich nur wenige ausgesuchte Werkstoffe für hochwertige Kraftsensoren in Frage kommen. burster geht noch einen Schritt weiter und setzt an Stelle von DIN-Werkstoffen überwiegend Luftfahrtwerkstoffe ein, die zusätzliche Prüfungen bestehen müssen.

Als einfaches Beispiel für einen Federkörper sei ein Stauchkörper genannt.

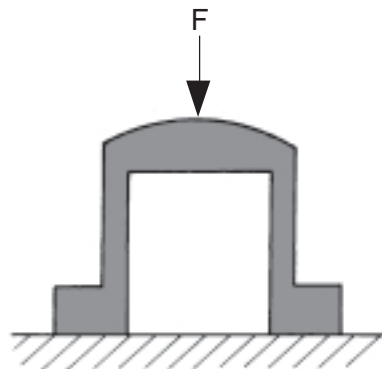


Abb. 3: Stauchkörper

Hier wird durch die anliegende Kraft die Bauhöhe des Federkörpers beeinflusst, er wird gestaucht. Gleichzeitig erhöht sich der Durchmesser. Diese Deformationen sind so gering, dass man sie nicht sehen kann (typisch 3-50  $\mu\text{m}$ ). Stauchkörper gibt es in runder oder viereckiger Bauform, als Massiv- oder Hohlkörper. Charakteristisch ist die im Verhältnis zur Nennkraft kleine Bauform, die in Verbindung mit der hohen Federrate für eine hohe Resonanzfrequenz sorgt und so dynamische Messungen ermöglicht. Miniaturausführungen dieser Bauart sind beispielsweise zur Messung von Einpresskräften prädestiniert.

Weitere Bauformen finden sich in großer Zahl. Die wichtigsten sind:

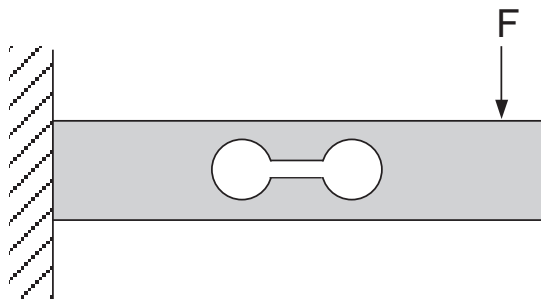


Abb. 4: Biegebalken

Biegebalken gibt es in verschiedenen Ausführungen. Bei der oben gezeigten „Binokel“-Form ist die s-förmige Biegelinie charakteristisch. Weiterhin zeichnet sich ein Kraftsensor mit diesem Federkörper dadurch aus, dass der Kräfteinleitungspunkt verschiebbar und der Sensor unempfindlich für Seitenkräfte ist. Der relativ große Messweg erleichtert den Einsatz von Überlastungssicherungen. Typische Anwendungen sind Plattformwaagen und allgemeine quasistatische Wägezwecke.

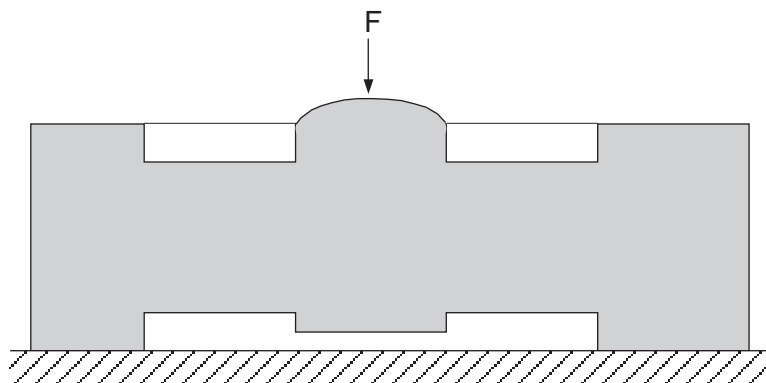


Abb. 5: Messdose mit Platte

Messdosen gibt es in zwei Bauformen: Mit integriertem Lasteinleitknopf oder mit durchgehender Innenbohrung. Messdosen verbinden die dynamische Belastbarkeit von Stauchkörpern mit der Unempfindlichkeit von Biegebalken und sind dadurch universell einsetzbar.

### 3.2 Dehnungsmessung

Die Dehnung auf der Oberfläche des Federkörpers wird mit Dehnungsmessstreifen (DMS) gemessen. Die DMS werden auf dem Federkörper des Kraftsensors aufgebracht. Dadurch werden die DMS der gleichen Verformung wie der Federkörper ausgesetzt. Die Dehnung und damit die Kraft können elektrisch gemessen werden.

Zur Funktion der DMS:

Der Widerstand eines Drahtes steigt mit wachsender Länge und kleinem Querschnitt. Wenn man an einem Draht zieht, wird er dünner und länger. Also steigt sein elektrischer Widerstand. Auf diesem Prinzip beruht die Funktion von Dehnungsmessstreifen. In der Praxis bestehen Dehnungsmessstreifen allerdings nicht aus einem runden Draht, sondern aus einer Metallfolie, die auf ein Trägermaterial gewalzt ist. Aus dieser Metallfolie ist die mäanderförmige Widerstandsstruktur herausgeätzt. Dieser DMS wird mit speziellen Techniken auf die Oberfläche des Federkörpers aufgebracht.



Abb. 6: Folien-DMS

### 3.3 Beschaltung

Zur Reduzierung von unerwünschten Einflussgrößen sind in einem Kraftsensor stets 4 oder mehr Dehnungsmessstreifen zu einer Brücke (Wheatstone-Brücke) geschaltet.

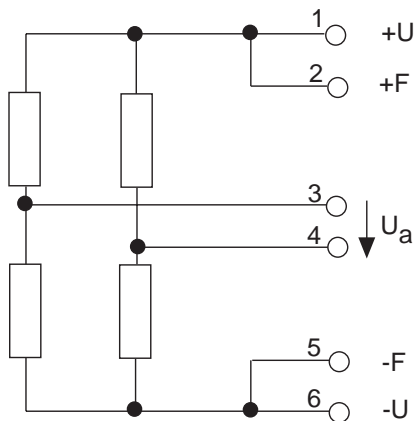


Abb. 7: DMS-Vollbrücke

Die nebenstehende Abbildung stellt die Beschaltung vereinfacht dar. Zusätzlich zu den gezeigten Dehnungsmessstreifen sind Kompensationswiderstände zur Reduzierung von Temperatureinflüssen auf Nullpunkt und Endwert eingebaut. Weiterhin können je nach Ausführung des Sensors weitere Widerstände zur Standardisierung des Sensors auf den Nennkennwert integriert sein. Zwischen den Anschlüssen 1 und 6 wird die Betriebsspannung  $U_b$  angelegt und zwischen den Anschlüssen 3 und 4 wird die Ausgangsspannung  $U_a$  gemessen. (Anschlüsse 4 und 6 in Abbildung 7)

Die Anschlüsse 2 und 5 sind Fühlerleitungen zur Kompensation von Zuleitungseinflüssen und nicht bei allen Sensoren herausgeführt. Ein elektrischer Widerstand (Kabel, Stecker) in der Zuleitung reduziert die effektive Speisespannung, wirkt sich also auf den Kennwert aus. Wenn dieser Widerstand temperaturabhängig ist, wirkt sich dies zusätzlich auf den Temperaturgang des Kennwertes aus.

Die Ausgangsspannung  $U_a$  eines Sensors berechnet sich zu:

$$U_a = c \cdot U_b$$

Hierbei ist  $U_b$  die Betriebsspannung und  $c$  ist der Kennwert des Sensors.

Der Kennwert des Sensors  $c$  ist dem Prüfprotokoll zu entnehmen und liegt typischerweise im Bereich  $c = 1...3 \text{ mV/V}$ . In Verbindung mit Betriebsspannungen  $U_b = 5...10 \text{ V}$  ergeben sich typische Ausgangsspannungen  $U_a = 5...30 \text{ mV}$ .

### 3.4 Parallelschaltung von Sensoren

Für einige Anwendungen in der Wägetechnik kann es zweckmäßig sein, mehrere Sensoren parallelgeschaltet an einem Gerät zu betreiben. Dazu werden Speise-, Mess- und Fühlerleitungen jeweils parallelgeschaltet. Diese Sensoren verhalten sich dann wie ein einziger Sensor. Der Speisestrom des Messgerätes muss ausreichend für mehrere Sensoren sein.

Voraussetzung für die Parallelschaltung ist, dass die einzelnen Sensoren in Kennwert, Ausgangs- und Eingangswiderstand vollkommen übereinstimmen. Ist dies nicht der Fall, birgt diese Methode einige Fehlermöglichkeiten. Die Empfindlichkeit vervielfacht sich nicht beim Zusammenschalten mehrerer Sensoren.

### 3.5 Sicherheitsbarrieren

Eine Ex-Zulassung der burster-Messverstärker ist nicht gegeben, die Geräte funktionieren jedoch in der Regel mit sensorseitig angeschlossenen Sicherheitsbarrieren. Mit Sicherheitsbarrieren kann sich die Messqualität verschlechtern.

Bedingt durch den hohen Innenwiderstand müssen auch 4-Leiter-Sensoren in 6-Leiter-Technik angeschlossen werden. Die Fühlerleitungen des Messverstärkers müssen über Sicherheitsbarrieren mit den jeweiligen Speiseleitungen sensorseitig verbunden sein.

Messtechnisch geeignete Barrieren der Fa. Stahl, Künzelsau:

Sensorspeisung, + und -	:	8901/31-086/150/02 ( 74 $\Omega$ )
		9401/01-086/150/00 ( 70 $\Omega$ )
Sensorausgang und Fühler	:	8901/31-086/010/00 (932 $\Omega$ )
		9041/01-086/010/00 (918 $\Omega$ )

### Wichtiger Hinweis:

*Die Verwendung von Sicherheitsbarrieren allein stellt nicht sicher, dass die erforderlichen Ex-Schutz-Normen eingehalten werden! Die Zulassung ist stets Sache des Anwenders.*

# 4. Einbauhinweise

## 4.1 Mechanik

Von zentraler Bedeutung für die Messqualität ist die Krafteinleitung. Sie muss so erfolgen, dass die Kraftwirkungslinie möglichst exakt mit der geometrischen Achse des Kraftsensors übereinstimmt (zentrische Belastung). Es ist weiterhin sehr wichtig, dass keine Querkräfte und Drehmomente in den Kraftsensor eingeleitet werden und der Sensor mit seiner gesamten Fläche auf der Unterlage aufliegt.

### 4.1.1 Störkraftvermeidung

Störkräfte und/oder Störmomente müssen zur Erzielung einer höheren Genauigkeit und um der Zerstörung des Aufnehmers vorzubeugen vermieden werden. Nachfolgende Skizzen zeigen schematisch einige Beispiele.

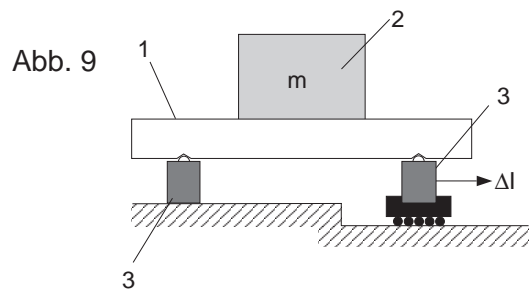
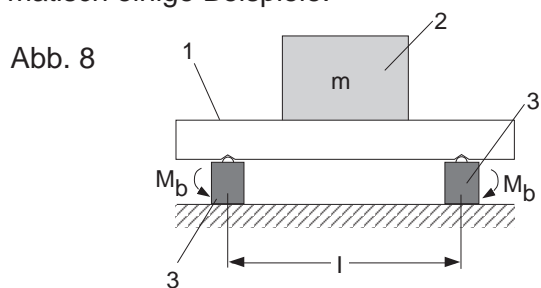


Abb. 8 und 9: Die auf dem Lastträger 1 aufliegende Last 2 soll mittels der beiden Kraftsensoren 3 erfasst werden. Ändert sich die Temperatur des Lastträgers 1, erfährt dieser eine thermische Dehnung, welche die Kraftsensoren 3 mit großen Querkräften und -momenten belasten kann. Bei einer wirksamen Länge  $l$  des Lastträgers 1 von 2,5 m und einer Temperaturänderung von 40 °C ergibt sich eine Längenänderung  $\Delta l$  von 1,1 mm bei Stahl. Dies kann zu erheblichen Messabweichungen führen. Sorgt man dafür, dass der Kraftsensor 3 querbeweglich gelagert ist, z.B. mittels eines Gleitlagers, hat die auftretende Längenänderung keinen Einfluss auf die Kraftsensoren 3.

### 4.1.2 Querkraftvermeidung

Seitenkräfte entstehen hauptsächlich durch exzentrische Belastung, schiefe Krafteinleitung und durch Reibung an beweglichen Teilen. Reibung entsteht an Teilen, die nicht hart genug sind oder deren Oberflächenqualität ungenügend ist.

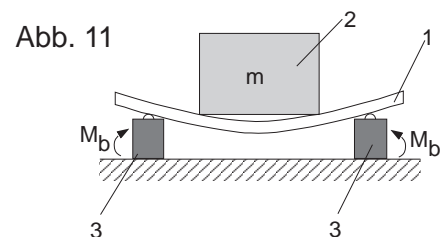
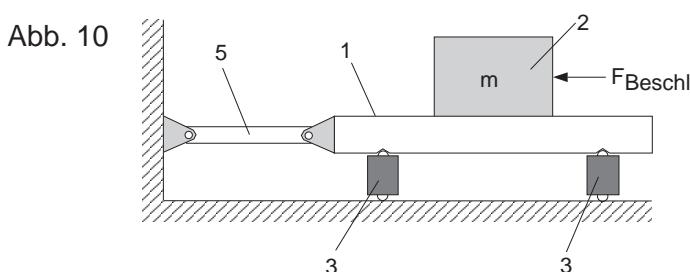


Abb. 10: Zur Vermeidung von Querkräften, wie dies z.B. beim Abbremsen zu wägender Güter der Fall ist, fängt man mit einem Lenker (5) diese Beschleunigungskräfte ab. Da der Lenker (5) thermische Störkräfte nicht verhindern kann, sind die Kraftsensoren abwägend zu lagern.

Abb. 11: Biegt sich der Lastträger 1 unter der Last 2 stark durch, werden auf die Kraftsensoren Störmomente ausgeübt.

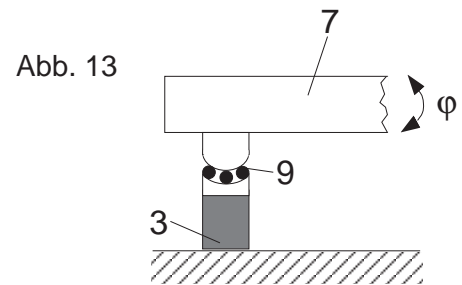
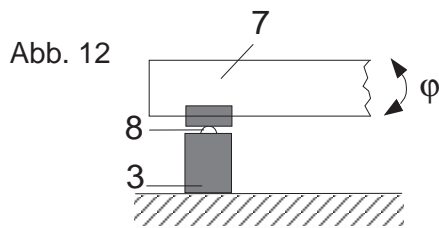


Abb. 12 und 13: Abhilfe gegen Störmomente erzielt man mit Zwischenlagern aus gehärteten Platten (7) mit punktförmiger Berührung oder - insbesondere bei kleinen Kräften - mit Kugeln gefüllten Kugelkalotten. Kugelkalotten ohne Kugeln sind wegen der hohen Reibmomente ziemlich unwirksam.

Der Messweg eines Sensors liegt bauartabhängig im Bereich von 3  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$  für Vollausschlag. Das bedeutet auch, dass eine Aussteuerung von 1% der Nennkraft mit einem Messweg von 0,03  $\mu\text{m}$  bis 2  $\mu\text{m}$  korrespondiert. Insbesondere bei Miniatursensoren ist es daher sehr wichtig, dass sie mit ihrer gesamten Fläche plan auf der Unterlage aufliegen, so dass Deformationen des Gehäuses vermieden werden. Um störende Deformationen der Unterlage zu vermeiden, muss diese ausreichend dick und durchgehärtet (nicht nur oberflächengehärtet) sein.

### 4.1.3 Überlastschutz

Beispiel: Überlastschutzeinrichtungen

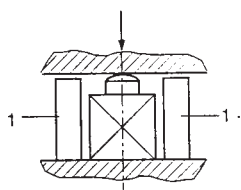


Abb. 14 mit einfachem Anschlag 1

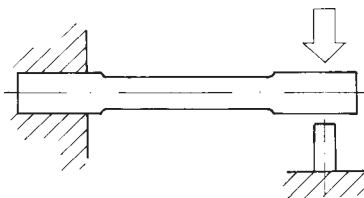


Abb. 15 Biegebalken

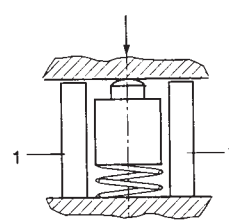


Abb. 16 mit Anschlag und federnd gelagertem Sensor

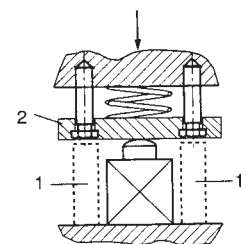


Abb. 17 mit umgekehrtem Anschlag

Die wichtigsten Punkte kurz zusammengefasst:

**Auflagefläche:**

Der Sensor muss auf einer durchgehärteten (60HRC), geschliffenen, möglichst geläppten Unterlage stehen. Rauigkeit N4 nicht überschreiten.

**Krafteinleitung:**

Die Krafteinleitung muss ebenfalls 60 HRC aufweisen und geschliffen, möglichst geläppt sein. Ballige Ausführung. Keine Bohrungen, keine Zentrierbohrungen für Drehmaschinen, keine Butzen.

**Überlastung:**

Sensoren nicht schlagartig belasten. Überlastschutz vorsehen.

**Verpackung:**

Besonders Miniatursensoren werden schon beim Auspacken durch Überlastung beschädigt.

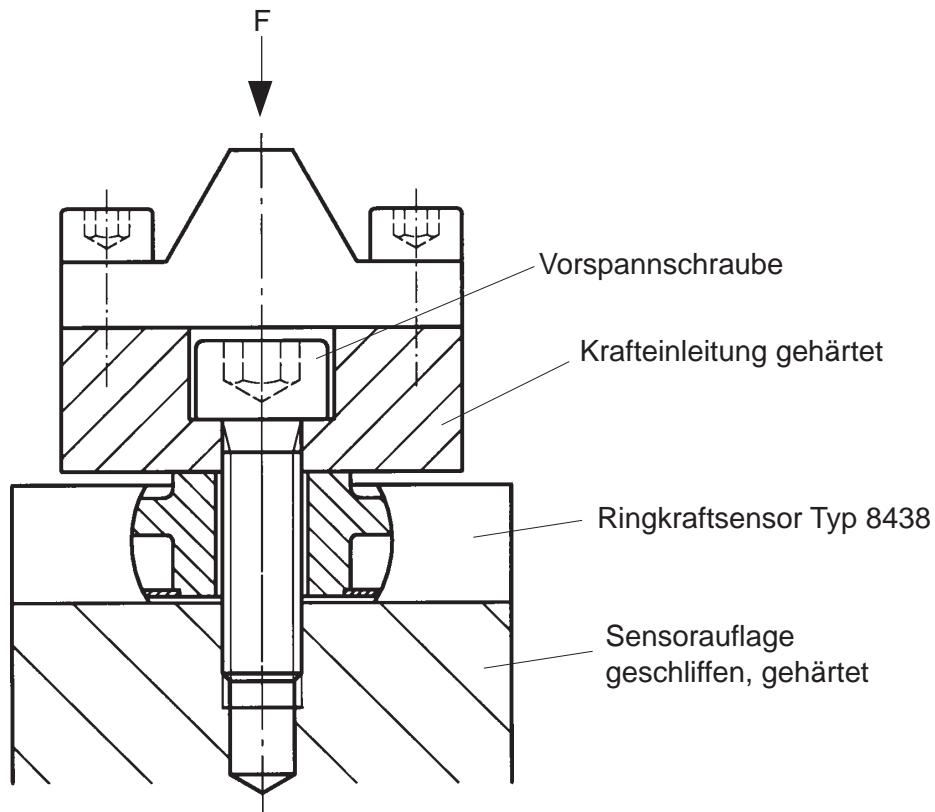
**Kabel:**

So verlegen, dass sie nicht vibrieren können. Auf große Biegeradien und, insbesondere bei bewegten Sensoren, auch auf ausreichende Kabellänge achten.

#### 4.1.4 Einbaubeispiele

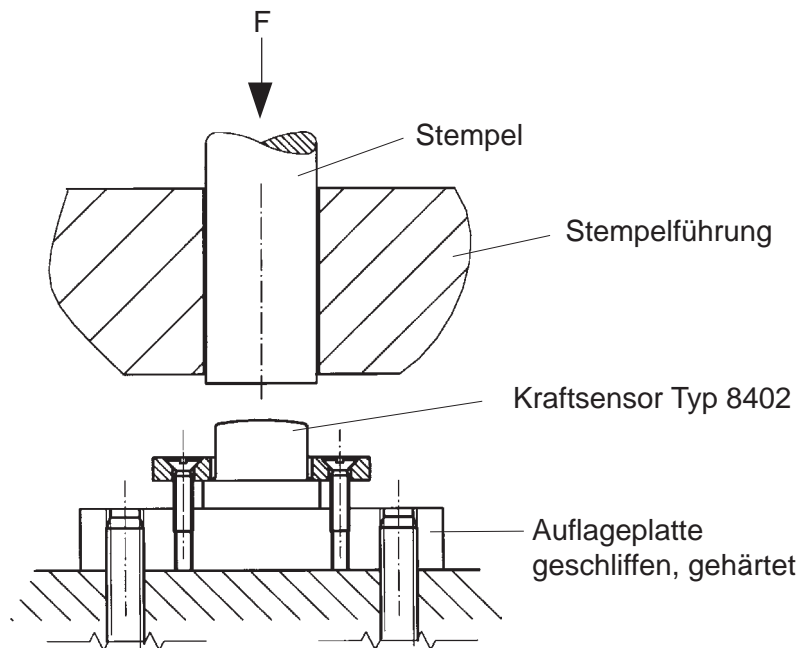
##### Applikation 1: Einbaubeispiel Typ 8438

Abb. 18



##### Applikation 2: Einbaubeispiel Typ 8402

Abb. 19



## 4.2 Schrauben und Gewinde

Zur Befestigung oder zur Kraftereinleitung sind bei einigen Kraftsensoren Gewinde vorgesehen. Hier sollen nur einige Hinweise zur Dimensionierung der Befestigungsschrauben und der vom Kunden erstellten Kraftereinleitungs-Schraubverbindungen gegeben werden.

### 4.2.1 Befestigungsschrauben

Befestigungsschrauben fixieren den Kraftsensor auf seiner Unterlage. Wird der Kraftsensor in Druckrichtung betrieben, ist die Bedeutung der Befestigungsschrauben untergeordnet, bei Belastung in Zugrichtung müssen allerdings einige Punkte beachtet werden.

Die Belastungsfähigkeit von Schraubverbindungen ergibt sich aus den verwendeten Werkstoffen, den Gewindeabmessungen und weiteren Parametern. Überschlägig gilt nachfolgende Tabelle für den Worst-Case-Fall:

Betriebskraft pro Schraube [N]	Vorspannkraft [N]	Schrauben-Nenngröße (M) für Festigkeitsklasse		
		8.8	10.9	12.9
1000	2500	4	4	4
1600	4000	5	4	4
2500	6300	6	5	5
4000	10000	8	6	5
6300	16000	8	8	8
10000	25000	10	10	8
16000	40000	14	12	10
25000	63000	16	14	12
40000	100000	16	16	16

Tabelle 1: Schraubenverbindungen

#### Dimensionierungsbeispiel:

Befestigung eines Kraftsensors Typ 8524-200 kN für dynamische Belastung in Zugrichtung:

Nennkraft: 200.000 N  
 Anzahl Schrauben: 8  
 Betriebskraft pro Schraube: 25.000 N

Aus Tabelle: Schrauben M12 in Festigkeitsklasse 12.9 wählen.

## 4.2.2 Krafteinleitungs-Schraubverbindungen

Hier ist die „Festigkeitsklasse“ der im Sensor integrierten Gewinde zu berücksichtigen. Für die meistverwendeten Werkstoffe gilt:

Festigkeitsklasse (überschlägig)	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	Sensor-Werkstoffe
12.9	1200	34CrMo, 17-4 PH, 1.4542, 1.4548
10.9	1000	42CrMo4, 1.7225
8.8	800	C35, 1.0501
4.6	400	2024 Alu, 3.1354

Tabelle 2: Werkstoffauswahl

Die in Tabelle 1 genannten Dimensionierungen gelten hier nicht unbedingt, da Kraftsensoren oft mit höher belastbaren Feingewinden ausgerüstet sind. Man wählt den Werkstoff der Krafteinleitungs-Schraubverbindungen so, dass er mindestens die gleichen Festigkeitswerte wie der Sensorwerkstoff aufweist.

### Dimensionierungsbeispiel:

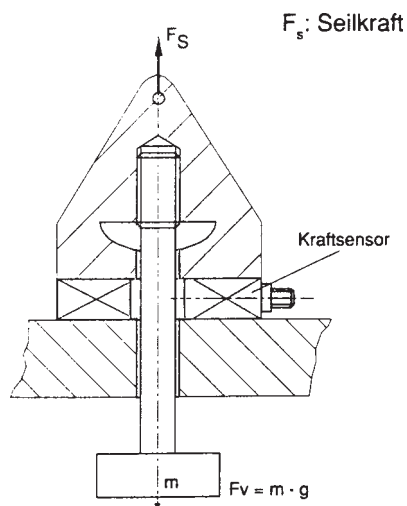
Kraftsensor Typ 8524, 200 kN:

Werkstoff des Sensors: 1.4542

Werkstoff der Verbindung: 1.4542, 1.4548, 17-4 PH, Ph 13-8 Mo, 34CrMo4 etc.

Bei Kraftmessung an runden Verbindungselementen - wie Bolzen, Gewindestangen, Säulen, Stiften, Achsen - kann in der Regel nur im Kraftnebenschluss mit ringförmigen Sensoren gemessen werden. Dabei fließen nicht alle vorhandenen Kraftlinien durch den Sensor, ein Teil läuft über das vorspannende Verbindungselement. Damit der Kraftnebenschluss gering wird, muss der Vorspannbolzen eine kleine Federkonstante aufweisen. Weiter sollte er möglichst elastisch sein, um die Vorspannkraft über den Messweg konstant zu halten. Die Zusammenhänge sind am besten in Verspannungsschaubildern zu erkennen.

### Messungen im Kraftnebenschluss



Die praktische Ausführung einer Vorspannung zeigt oben stehendes Bild. Die Grenze für das Messen von  $F_s$  ist erreicht bei  $F_s = F_v$ . Dann wird der Kraftsensor entlastet und der Vorspannbolzen gemäß seiner Federkonstanten alleine gedreht. Da Vorspannbolzen häufig bis knapp an die Streckgrenze belastet werden, muss verhindert werden, dass  $F_s > F_v$  wird. Mit derart vorgespannten Kraftsensoren erreicht man eine gute Linearität bei gegenüber dem Sensor unbedeutend verschlechterter Hysterese.

### 4.3 Elektrik

Das Ausgangssignal eines DMS-Sensors beträgt typisch 10 mV bei Vollausschlag. Wenn man auf 1 % genau messen möchte, muss man also besser als 100  $\mu$ V auflösen können. Dazu ist notwendig, dass entsprechende Störungen nicht auf den Sensor, die Sensorleitungen und das Messgerät einwirken können.

Den Sensor und das Messgerät deshalb möglichst nicht in der Nähe energiereicher (Schalt-) Anlagen platzieren, wie z.B.: Trafo, Motor, Schütz oder Frequenzumrichter. Die elektromagnetischen Felder könnten ungeschwächt auf das Messgerät und den Sensor einwirken. Die Messleitungen nicht parallel zu energieführenden Leitungen verlegen. In die Messleitungen würden sonst induktiv und kapazitiv Störungen eingekoppelt.

## 5. Kalibrierung von Kraft-Messketten

### 5.1 Kundenseitige Kalibrierung einer Messkette

Eine vorliegende Messkette, bestehend aus Kraftsensor und Messverstärker, kann grundsätzlich nach verschiedenen Methoden kalibriert werden.

#### 5.1.1 Mit physikalischer Größe

Der Sensor wird mit einer bekannten physikalischen Größe beaufschlagt.

Beispiel: Eine Wägeeinrichtung, bestehend aus einem Kraftsensor und einem Anzeigegerät, wird entlastet und der Nullpunkt wird justiert. Dann belastet man die Einrichtung mit einem bekannten Referenzgewicht und der Endwert wird eingestellt.

#### 5.1.2 Mit Präzisions-Spannungsgeber

Der Sensor wird durch eine Präzisionsspannungsquelle simuliert.

Bedenken Sie bitte, dass bei DMS-Vollbrücken-Sensoren und bei potentiometrischen Sensoren die Speisespannung in das Messergebnis eingeht. Es ist möglich, dass die tatsächliche Speisespannung geringfügig von der Nennspeisespannung abweicht. Wenn Sie also die Funktionsfähigkeit des Gerätes mit Spannungsgebern verifizieren möchten, müssen Sie mit einem Präzisions-Digitalvoltmeter die Sensorspeisespannung messen und danach die Kalibrierspannung berechnen.

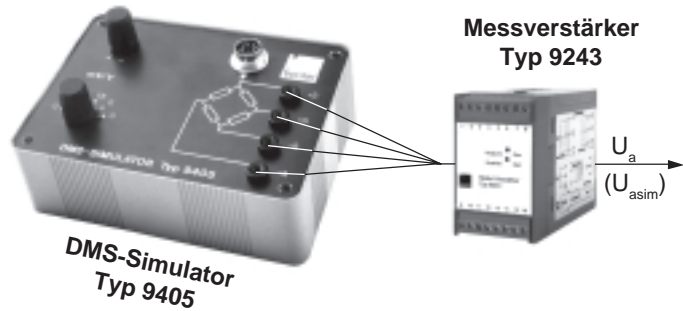
### 5.1.3 Mit DMS-Simulator

Bei DMS-Vollbrücken-Sensoren

Unter einem DMS-Simulator ist eine aus Präzisionswiderständen aufgebaute Brückenersatzschaltung zu verstehen, welche die Ausgangszustände Null, verschiedene Zwischenwerte und 100 % annehmen kann. Der DMS-Simulator wird an Stelle des Sensors angeschlossen.

Beispiel für das Kalibrieren eines Messverstärkers mittels DMS-Simulators

Wo DMS-Sensoren nicht gezielt belastet werden können, weil z. B. kein geeignetes Gewicht vorhanden ist, muss das entsprechende Messsignal mit einem DMS-Simulator nachgebildet werden. Da DMS-Sensoren oft "krumme" Kennwerte besitzen (man spricht dann von nominellen Kennwerten), können diese von einem Simulator in der Regel nicht exakt eingestellt werden. Der Simulator wird dann auf den nächstniedrigen Kennwert gestellt. Die entsprechende Verstärkerausgangsspannung berechnet sich nach folgendem Beispiel:



Gegeben: Sensor Typ 8438-100 kN soll simuliert werden

Nennkennwert lt. Sensorprotokoll 1,678 mV/V

Gewünschte Verstärker-Ausgangsspannung bei Nennlast 100 kN:  $U_a = 10 \text{ V}$

Gesucht: Einzustellende Verstärker-Ausgangsspannung  $U_{asim}$  bei angeschlossenem DMS-Simulator

- Schritt: DMS-Simulator auf nächstniedrigen Kennwert schalten, hier auf 1,5 mV/V
- Schritt: Berechnen der einzustellenden Verstärker-Ausgangsspannung, wenn statt 1,678 mV/V vom Sensor nur 1,5 mV/V vom Simulator eingespeist werden.  
Zur Erinnerung: Die 1,678 mV/V vom Sensor sollen  $U_a=10 \text{ V}$  am Verstärker-Ausgang erzeugen

$$U_{asim} [\text{V}] = \frac{U_a \times K_{sim}}{K_{sens}} = \frac{10 \times 1,5}{1,678} = 8,939 \text{ V}$$

$U_{asim}$  = Spannung am Verstärkerausgang, wenn Simulator angeschlossen ist

$U_a$  = gewünschte Verstärker-Ausgangsspannung bei Nennlast des Sensors

$K_{sim}$  = eingestellter Kennwert am DMS-Simulator

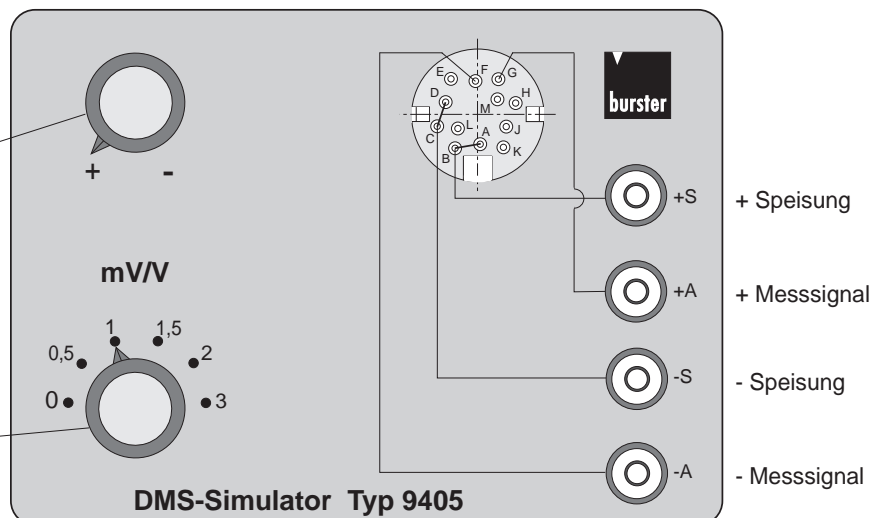
$K_{sens}$  = Kennwert des zu simulierenden Sensors

Bei angeschlossenem DMS-Simulator und einem eingestellten Kennwert von 1,5 mV/V sind 8,939 V am Verstärkerausgang einzustellen!

#### Funktionen und Anschlussbelegung

Polarität des Messsignals wählen  
z.B. bei Zug-Druck-Sensoren

Wahl des Kennwertes



### 5.1.4 Mit Kalibriersprung (Shunt-Calibration)

Bei DMS-Vollbrücken-Sensoren

Während der Shunt-Kalibrierung wird ein Präzisionswiderstand (Kalibrier-Shunt) zwischen (-) Signaleingang und (-) Speisung angeschlossen (Anschlüsse 4 und 6 in Abbildung 7, Seite 12). Dieser Präzisionswiderstand verstimmt die Brücke so, wie es einem bestimmten Dehnungspegel, also einer bestimmten Belastung des Kraftsensors, entspricht.

Durch diese definierte Brückenverstimmung entsteht ein ebenso definierter Ausgangssignalsprung, in dem eine gesamte Messkette dann kalibriert wird. Die Höhe des Ausgangssignalsprungs und des dazugehörigen Kalibriershunts ist im Prüfprotokoll des Sensors angegeben.

### 5.1.5 Mit einer Referenz-Messkette

Bei der Kalibrierung mit einer Referenzmesskette wird ein besonders genauer Referenzkraftsensor in Reihe zum Kraftfluss des Prüflings geschaltet oder ausgetauscht.

Die Referenz-Messkette besteht aus einem genauen Kraftsensor sowie einem sehr genauen Mess- und Auswertegerät. Um die Rückführbarkeit zu gewährleisten, sollte die Messkette mit Kalibrierschein versehen werden.



Typ 9714-V010

## 5.2 Werkseitige Kalibrierung

### DKD-Kalibrierung

Durch Auflegen von Belastungskörpern mit bekannten Massen im Schwerfeld der Erde wird eine bestimmte Kraft eingestellt. Entsprechend der Stufung der Massen können nur stufenweise Messwerte ermittelt werden, ein kontinuierliches Durchfahren des Messbereichs ist nicht möglich. Die genau bekannten Kräfte werden in einen Verformungskörper (Kalibriergegenstand: Kraftsensor oder Messkette) eingeleitet und die Daten des Verformungsmesssystems aufgezeichnet. Die Kalibrierung erfolgt ausschließlich nach den Vorschriften der DIN EN 10002 Teil 3 und der DKD-Richtlinie R 3.3 mit 10 Kraftstufen. Als Ergebnisprotokoll der Kalibrierung wird ein nach den Festlegungen des DKD gestalteter Kalibrierschein erstellt. Auf den kalibrierten Geräten wird, soweit es die Grösse des Gerätes zulässt, ein Kalibrierzeichen in Form einer Klebemarke angebracht. Es enthält die DKD-Registriernummer, die laufende Nummer und das Ausführungsdatum.

Kraftmessgeräte mit Messbereichen 0 ... 500 N werden im Haus kalibriert, andere außer Haus.

### WKS-Kalibrierung

**Die Kalibrierung erfolgt standardmäßig in Vorzugsmessrichtung in einer Einbaulage in 20%-Schritten für steigende und fallende Belastung.**

Für die Messbereiche 0 ... 0,5 N bis 0 ... 10 kN wird die Kraft ebenfalls durch Auflegen oder Anhängen von Belastungskörpern eingestellt. Für die Messbereiche ab 0 ... 20 kN bis 0 ... 200 kN wird eine hydraulische Kraftbezugsnormalmesseinrichtung verwendet. Die Messunsicherheiten sind in der Regel etwas größer als bei DKD-Kalibrierungen. Abweichungen von der Standard-Kalibrierung sind prinzipiell möglich, bedürfen jedoch unbedingt der Klärung, ebenso die Kalibrierung von Kraftmessgeräten mit größeren Messbereichen.

Als Ergebnisprotokoll der Kalibrierung wird auch hier ein Kalibrierschein erstellt, der die entsprechenden Rückführbarkeitsnachweise nach ISO 900X enthält. Auf den kalibrierten Geräten wird ebenfalls, soweit es die Größe des Gerätes zulässt, ein Kalibrierzeichen in Form einer Klebemarke angebracht.

### Justieren

Bitte teilen Sie uns unabhängig mit, ob die Kraftmessgeräte, soweit möglich, justiert werden sollen.

### Einbauteile

Senden Sie uns die von Ihnen verwendeten Krafteinleitungsteile wie Krafteinleitknöpfe oder Lastzentrierplatten zusammen mit den Kraftmessgeräten zu, um eine aussagefähigere Kalibrierung zu ermöglichen.

### Fremdfabrikate

Wir kalibrieren gerne auch Produkte, welche nicht von uns hergestellt wurden. Hier können Einbauteile nötig werden, die wir Ihnen zu Selbstkosten berechnen müssen. Natürlich benötigen wir auch die nötigen Verbindungskabel, Stecker und Bedienungsanleitungen der Geräte.

### Rekalibrierungen

Sensoren und Messketten müssen vor der Kalibrierung eines Funktions- und Kalibrierfähigkeitsüberprüfung unterzogen werden, die nach Aufwand berechnet wird.

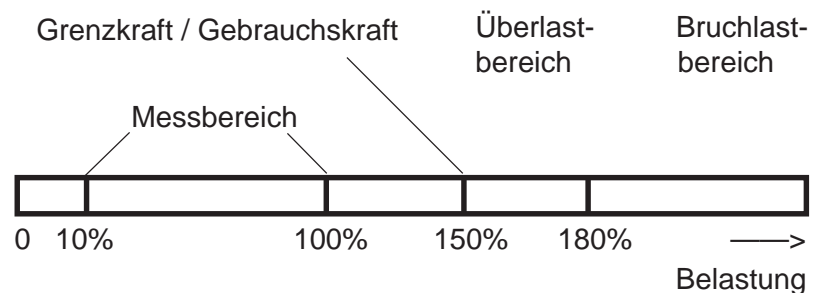


Kraftmess-Anlage

## 6. Begriffe der Metrologie

<b>Abgleichen</b>	siehe Justieren
<b>Anwendungen von kalibrierten</b>	Kraftmessgeräte sind nach den Bedingungen zu belasten, für die sie kalibriert worden sind. Es sind Vorkehrungen zu treffen, dass das Gerät nicht Kräften ausgesetzt ist, die größer als die Höchstkalibrierkraft sind.
<b>Ausgangswiderstand</b>	Der zwischen den Ausgangsspannungsanschlüssen gemessene ohmsche Wert.
<b>Bezugsgerade</b>	Eine Gerade, durch die eine Abhängigkeit des Ausgangssignals von der Kraft beschrieben wird, und auf die alle Signalabweichungen bezogen werden.
<b>Bruchkraft</b>	Kraft in Richtung der Messachse des Kraft-Sensors, oberhalb der mit einer mechanischen Zerstörung zu rechnen ist.
<b>Dehnungsmessstreifen (DMS)</b>	Ein zwischen zwei Folien eingebetteter Drahtmäander, welcher in Abhängigkeit einer angelegten Dehnung eine definierte relative Widerstandsänderung aufweist.
<b>Eichen</b>	Das Eichen eines Messgerätes umfasst die von der zuständigen Eichbehörde nach den Eichvorschriften vorzunehmenden Prüfungen und die Stempelung. Welche Messgeräte der Eichpflicht unterliegen und welche davon befreit sind, ist gesetzlich geregelt.
<b>Einflussgrößen</b>	Sind sich verändernde physikalische Größen, die auf Eingangs- und Ausgangsgrößen von außen wirken: Temperatur Feuchte Luftdruck Verformungskräfte Lage Beschleunigungen (Erschütterungen, Stöße) Störfelder Hilfsenergie Störspannungen
<b>Eingangswiderstand</b>	Der zwischen den Speisespannungsanschlüssen gemessene ohmsche Widerstand.
<b>Einmessen</b>	siehe Kalibrieren
<b>Empfindlichkeit</b>	Gibt bei einem Messgerät das Verhältnis zwischen der beobachteten Änderung seiner Ausgangsgröße und der sie verursachenden Änderung der Eingangsgröße an.

<b>Fehler von Messgeräten</b>	Ist die Differenz zwischen dem ausgegebenen Anzeigewert und dem richtigen Wert.
<b>Fehlergrenzen</b>	Gewährleistung des Herstellers einer Messeinrichtung, dass der Fehler bestimmte angegebene Grenzen nicht überschreitet.
<b>Gebrauchsbereich der Speisespannung</b>	Bereich der Speisespannung, in dem der Kraftsensor unter Zubilligung größerer Fehlergrenzen betrieben werden kann.
<b>Gebrauchstemperaturbereich</b>	Bereich der Umgebungstemperatur, in dem der Kraftsensor unter Zubilligung größerer Fehlergrenzen betrieben werden darf, ohne dass bei Wiederverwendung des Aufnehmers im Nenntemperaturbereich signifikante Veränderungen seiner Eigenschaften feststellbar sind.
<b>Gesamtfehler</b>	Der Gesamtfehler einer Messeinrichtung setzt sich aus der Summe aller Einzelfehler zusammen. Er errechnet sich im ungünstigsten Fall aus der algebraischen Summe der Einzelfehler.
<b>Grenzkraft</b>	Größte Kraft in Richtung der Messachse, die ein Kraftsensor mit eingebautem Schutz gegen Überbelastung aufzunehmen vermag, ohne dass bei Wiederverwendung des Aufnehmers bis zur Nennkraft signifikante Veränderungen seiner messtechnischen Eigenschaften feststellbar sind. Oberhalb der Gebrauchskraft besteht kein streng definierter Zusammenhang mehr zwischen Kraft- und Ausgangssignal. Bei Kraftsensoren ohne eingebauten Schutz gegen Überbeanspruchung entspricht die Grenzkraft der Gebrauchskraft.



<b>Justieren</b>	Im Bereich der Messtechnik heißt dies, ein Messgerät so einzustellen oder abzugleichen, dass die Messabweichungen möglichst klein werden oder dass die Beträge der Messabweichungen die vorgegebenen Fehlergrenzen nicht überschreiten. Das Justieren erfordert also einen Eingriff, der das Messgerät bleibend verändert. Speziell im Bereich der Messtechnik wird Justieren auch verwendet für „funktionstüchtig machen“.
------------------	---

## Kalibrieren

Bedeutet das Feststellen der Messabweichungen eines fertigen Messgerätes. Beim Kalibrieren erfolgt kein technischer Eingriff am Messgerät. Das Kalibrieren eines Messgerätes durch Vergleich mit Normalgeräten höherer Genauigkeit oder mit entsprechend festgelegten physikalischen Fixpunkten wird vielfach „Anschließen“ genannt.

## Kalibrierschein

Wenn ein Kraftmessgerät die Anforderungen der Europäischen Norm EN 10002-3 zum Zeitpunkt der Kalibrierung erfüllt, stellt das Kalibrierlaboratorium einen Werkkalibrierschein aus. Ein Kraftmessgerät ist neu zu kalibrieren, wenn es einer Überlastung ausgesetzt worden ist, die größer als die Prüfbelastung ist, und nachdem eine Instandsetzung stattgefunden hat.

Diese sehr formale Auslegung nach der z.Zt. gültigen EN-Norm gibt jedoch lediglich äußere Grenzen für einen Kalibrierzyklus vor. Letztlich werden die Prüfzyklen von den spezifischen Sicherheitsbedürfnissen einer Anwendung bestimmt. Zu berücksichtigen sind hierbei insbesondere Faktoren wie z.B. Einsatzhäufigkeit, Umweltbedingungen (Standort) und die Qualitätsanforderungen des Produktes selbst.

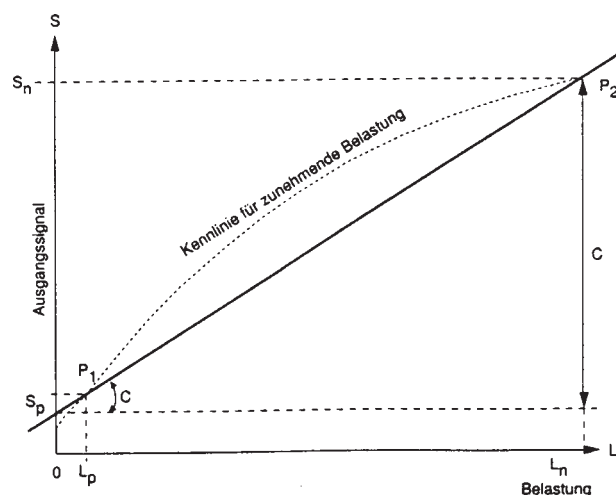
Eine Faustregel besagt, dass ein Prüfintervall dann verlängert werden kann, wenn drei aufeinanderfolgende Prüfungen keine Grenzwertverletzungen ergeben haben. Falls bei zwei aufeinanderfolgenden Prüfungen Grenzwerte verletzt wurden, muss der Zeitraum von Prüfung zu Prüfung halbiert werden. Wenn noch keine Erfahrungen über die Langzeitstabilität der Messgeräte und Sensoren vorliegen, empfiehlt es sich, zunächst mit relativ kurzen Intervallen zu beginnen.

Der Kalibrierschein verliert spätestens nach 26 Monaten seine Gültigkeit.

## Kennwert

Das Ausgangssignal bei Nennkraft, welches um das Nullsignal vermindert ist.

$$C = \frac{S_n - S_p}{L_n - L_p} \cdot L_n$$



Definition des Kennwertes C

## Kraftsensor

Zum Kraftsensor gehören alle Teile, die zur Erfassung und gegebenenfalls zur Umformung der Kraft in die zum Anzeigegerät weiterzuleitende Zwischensignalgröße dienen.

## Kraftanzeigegerät

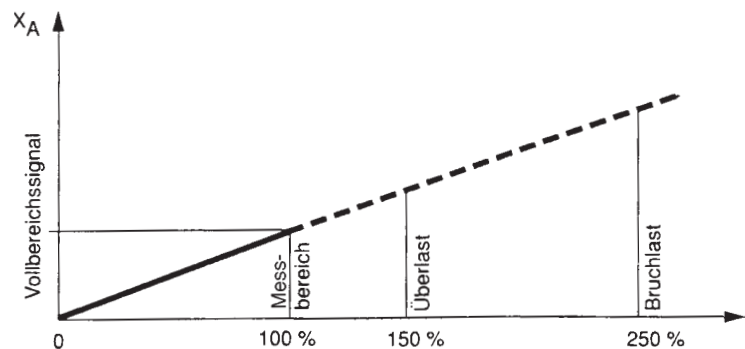
Ein Kraftanzeigegerät für elektrische Messverfahren enthält im wesentlichen die Spannungs- bzw. Stromversorgung für die Kraftsensoren, die Signalverstärkereinheit und eine Anzeigeeinheit.

## Krafteinleitungseinfluss

Maximale Abweichung des Ausgangssignals des Kraftsensors bei Verwendung unterschiedlicher Arten der Krafteinleitung, bezogen auf das um das Vorkraftsignal verminderte Ausgangssignal bei korrekter Krafteinleitung.

## Kraftmessbereich

Der Messbereich, in dem ein Kraftsensor eingesetzt wird.



Messbereich - Überlast - Bruchlast

## Kraftmessgerät

Besteht aus zwei funktionellen Baugruppen:

- Kraftsensor
- Kraftanzeigegerät

## Linearitätsabweichung

Maximale Abweichung einer bei zunehmender Belastung ermittelten Kennlinie eines Kraftaufnehmers von der bestpassenden Gerade, bezogen auf den Messbereichsendwert.

## Maximale Gebrauchskraft

Größte Kraft in Richtung der Messachse des Kraftsensors, bis zu der ein definierter und wiederholbarer Zusammenhang zwischen Kraft und Ausgangssignal besteht, einen eventuell vorhandenen Schutz gegen Überbeanspruchung aber noch nicht anspricht.

## Messen

Ein experimenteller Vorgang, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe als Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes ermittelt wird.

## Messergebnis

Der ermittelte Wert der interessierenden Messgröße, er wird mit Hilfe einer vorgegebenen eindeutigen Beziehung festgestellt.

<b>Messgröße</b>	Die physikalische Größe, der die Messung gilt.
<b>Messkette</b>	Eine Messeinrichtung, die sich aus Aufnehmern, Übertragungsgliedern und Ausgabeinstrumenten zusammensetzt.
<b>Messunsicherheit</b>	Die angegebene Messunsicherheit einer Messung umfasst im wesentlichen die zufälligen Fehler aller Einzelvariablen, aus denen das Messergebnis berechnet wird. Häufig vergrößert sich die Messunsicherheit um einen zusätzlichen Betrag für nicht erfasste, weil nicht messbare und daher nur abschätzbare, systematische Fehler.
<b>Messverfahren</b>	Das Messverfahren umfasst alle experimentellen Massnahmen, die zur Gewinnung eines Messwertes notwendig sind.
<b>Messwert</b>	Der gemessene Wert einer Messgröße, der als Produkt aus Zahlenwert und Einheit angegeben wird.
<b>Nennbereich der Speisespannung</b>	Bereich der Speisespannung, in dem ein Kraftsensor die Fehlergrenzen seiner technischen Daten einhält.
<b>Nennkennwert</b>	Nennwert des Kennwertes
<b>Nennkraft</b>	Die Kraft, für die der Kraftsensor nominell ausgelegt ist.
<b>Nennmessweg</b>	Der Federweg der äußeren Krafteinleitungspunkte bzw. Flächen des Aufnehmers in Messrichtung unter Nennkraftbelastung.
<b>Nenntemperaturbereich</b>	Bereich der Umgebungstemperatur, in dem der Kraftsensor die Fehlergrenzen der temperaturabhängigen, technischen Daten einhält.
<b>Nullsignal</b>	Das Ausgangssignal, das nur durch die Einbauteile eines ansonsten unbelasteten Kraftsensors erzeugt wird.
<b>Präzision</b>	siehe Messunsicherheit
<b>Prüfen</b>	Heißt feststellen, ob ein Prüfgegenstand eine oder mehrere vorgegebene Bedingungen erfüllt. Mit dem Prüfen ist daher immer der Vergleich mit vorgegebenen Bedingungen verbunden. Vorgegebene Bedingungen sind insbesondere Fehlergrenzen oder Toleranzen.
<b>Referenztemperatur</b>	Temperatur, bei der die technischen Daten des Kraftsensors gelten.
<b>Referenzspeisespannung</b>	Speisespannung, bei der die technischen Daten des Kraftaufnehmers gelten.

<b>Relative Kennlinienabweichung</b>	Abweichung eines in einem Belastungszyklus aufgenommenen Kennlinienwertes von der Bezugsgeraden, bezogen auf den zugehörigen Wert der Bezugsgeraden.	
<b>Relative Kennwertabweichung</b>	Relative Abweichung des Kennwertes vom Nennkennwert.	
<b>Relative Spannweite</b>	Unterschied zwischen dem größten und kleinsten (bei unveränderter Einbaulage) gemessenen Ausgangssignal bei gleicher Kraft, ermittelt aus drei Aufwärtsmessreihen bei unveränderter Einbaustellung des Kraftsensors in der Kalibriereinrichtung, bezogen auf das um das Vorkraftsignal verminderte mittlere Ausgangssignal als Maß für die Wiederholbarkeit. Die Spannweite wird für den Kraftmessbereich von $0,2 \cdot \text{Nennkraft}$ bis zum Endwert der Nennkraft ermittelt.	
<b>Relative Umkehrspanne</b>	Differenz der Ausgangssignale einer Auf- und Abwärtsreihe bei jeweils gleicher Kraft, bezogen auf das Ausgangssignal bei steigender Kraft.	
<b>Relatives Kriechen</b>	Unter Kriechen versteht man die zeitabhängige Änderung des Ausgangssignals eines Kraftsensors nach der Krafteinleitung.	
<b>Resonanzfrequenz</b>	Resonanzfrequenz, mit der der unbelastete Aufnehmer ohne Krafteinleitungsteile nach stoßartiger Anregung in Richtung der Messachse schwingt, wobei die zur Befestigung vorgesehene Basis an eine ausreichend große Masse angekoppelt ist.	
<b>Schutzart</b> (nach EN 60529)	Schutzgerade: Gegen Eindringen von festen Fremdkörpern <u>Erste</u> <u>Kennziffer-Benennung</u>	für Wasserschutz  <u>Zweite</u> <u>Kennziffer-Benennung</u>
	0 kein Schutz	0 kein Schutz
	1 Schutz gegen große Fremdkörper $\geq 50$ mm	1 Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser
	2 Schutz gegen mittelgroße Fremdkörper $\geq 12,5$ mm	2 Schutz gegen schrägfallendes Tropfwasser
	3 Schutz gegen kleine Fremdkörper $\geq 2,5$ mm	3 Schutz gegen Sprühwasser
	4 Schutz gegen kornförmige Fremdkörper $\geq 1,0$ mm	4 Schutz gegen Spritzwasser
	5 Schutz gegen Staubablagerung	5 Schutz gegen Strahlwasser
	6 Schutz gegen Staubeintritt	6 Schutz gegen starkes Strahlwasser
		7 Schutz beim Eintauchen
		8 Schutz beim Untertauchen

### Speisespannungseinfluss auf den Kennwert

Relative Abweichung des Kennwertes des Kraftsensors im Gebrauchsbereich der Speisespannung.

### Systematische Fehler

Werden durch die Unvollkommenheit der Messgeräte, des Messverfahrens und/oder des Messgegenstandes hervorgerufen. Erfassbare systematische Fehler sollten durch geeignete Maßnahmen berücksichtigt und somit ausgeschlossen werden.

### Zufällige Fehler

Werden hervorgerufen durch nicht erfassbare und nicht beeinflussbare Änderungen der Messgeräte, der Umwelt und/oder des Messgegenstandes sowie des Beobachters während einer Messung.

Obwohl zufällige Fehler nicht erfassbar sind, sind sie durch geeignete statistische Methoden abschätzbar, und zwar um so zuverlässiger, je größer die Anzahl der Messungen ist.

## 7. Fehlererkennung und -beseitigung

### 7.1 Für DMS-Sensoren ohne eingebauten Verstärker

#### Problem

#### Aktion

Kein Ausgangssignal

- Prüfung, ob Sensor korrekt angeschlossen ist.
- Überprüfung anhand des Kalibrierzertifikates, welche Ausgangsspannung zu erwarten ist.
- Sicherstellen, ob Last überhaupt anliegt.
- Überprüfung der DMS per Shunt-Kalibrierung anhand des Kalibrierzertifikates.
- Prüfung, ob Kabelbruch vorliegt.

Unregelmäßige oder periodisch schwankende Ausgangssignale  
Nullpunktdrift

- Überprüfung der elektrischen Verbindungskabel auf Unterbrechung oder Beschädigung.
- Prüfung, ob zwischen irgendeiner Leitung und dem Sensorkörper Kontakt besteht.
- Sicherstellen, dass Last konstant ist.
- Überprüfung, ob Versorgungsspannung des Sensors stabil ist.
- Prüfung der direkten Ausgangsspannung mit Milli-Volt-Meter.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sicherstellen, dass keine starken Temperaturschwankungen auftreten.</li> <li>● Überprüfung, ob Sensor starken elektromagnetischen Störfeldern ausgesetzt ist.</li> </ul>
Unerwartete Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Überprüfung der Eingangs- und Ausgangswiderstände anhand des Kalibrierzertifikates, um mögliche Änderungen oder Kurzschlüsse der Messbrücke zu erkennen.</li> </ul>
Ungewöhnlicher Nullkennwert	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ist häufig Zeichen für einen überlasteten Sensor. Einmal geringfügig überlastete Sensoren können korrigiert werden und sollten neu kalibriert werden. Periodisch auftretende Nullpunktverschiebungen deuten auf eine ständig wiederkehrende Überlastung hin.</li> <li>● Überprüfung der Eingangs- und Ausgangswiderstände anhand des Kalibrierzertifikates, um mögliche Änderungen oder Kurzschlüsse der Messbrücke zu erkennen.</li> <li>● Überprüfung auf mögliche Vorlasten oder mechanische Beeinflussung der aktiven Membranfläche.</li> </ul>

## **7.2 Für alle Messketten, bestehend aus DMS-Sensor und Anzeigeeinheit**

<b>Problem</b>	<b>Aktion</b>
Keine Anzeige	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prüfen, ob Hilfsenergie vorhanden.</li> <li>● Überprüfung der Netzsicherung entsprechend der Bedienungsanleitung.</li> </ul>
Unregelmäßige oder periodisch schwankende Anzeige	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Überprüfung aller elektrischen Kontakte und der Verdrahtung im Stecker anhand der PIN-Belegung.</li> </ul>
Blinkende Anzeige oder sonstige	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Zeigt Überlast an. Prüfung, ob alle Verbindungskabel korrekt angeschlossen sind, eventuelle Unterbrechung einer oder mehrerer Adern.</li> <li>● Prüfung, ob Last im Nennmessbereich liegt.</li> <li>● Prüfung, ob eingestellter Eingangsspannungsbereich des Instruments mit der Ausgangsspannung des Sensors korrespondiert.</li> </ul>
Unerwartete Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Prüfung, ob Kabelschirm wirklich nur an einer Seite geerdet ist.</li> </ul>

## 8. Normenübersicht

1. DIN 1319, Teil 1 Grundlagen der Messtechnik  
Grundbegriffe (Stand 1995-01)
2. DIN 1319, Teil 2 Grundlagen der Messtechnik  
Begriffe für die Anwendung von Messgeräten  
(Stand 1980, Entwurf 1996-02).
3. DIN 1319, Teil 3 Grundlagen der Messtechnik  
Begriffe für die Messunsicherheit und für die Beurteilung von  
Messgeräten und Messeinrichtungen  
(Stand 1983, Entwurf 1996-05).
4. DIN 1319, Teil 4 Grundlagen der Messtechnik  
Auswertung von Messungen; Messunsicherheit  
(Entwurf Ausgabe: 1997-10)
5. DIN EN 10002, Teil 1 Zugversuch  
Prüfvorschriften (bei Raumtemperatur) (Stand April 1991)
6. DIN EN 10002, Teil 2 Zugversuch  
Prüfung der Kraftmesseinrichtungen von Zugprüfmaschinen  
(Stand Juli 1993)
7. DIN EN 10002, Teil 3 Kalibrierung der Kraftmessgeräte für die Prüfung von Prüf-  
maschinen mit einachsiger Beanspruchung  
(Stand August 1994)
8. DIN 51 301 Kraftmessgeräte für statische Kräfte zur Prüfung von Werkstoff-  
prüfmaschinen (Stand 1986, ersetzt durch DIN EN 10002-3)
9. DIN EN 10002,  
Beiblatt 1 Zugversuch  
Hinweise zur Anwendung (Stand August 1994).
10. VDI/VDE 2600,  
Blatt 1-6 Metrologie  
Begriffe zur Beschreibung der Eigenschaften von Messein-  
richtungen (Stand 1973)
11. VDI/VDE 2635 Dehnungsmessstreifen mit metallischen Messgittern, Kenn-  
größen und Prüfbedingungen (Stand 1974)
12. VDI/VDE 2637 Kenngrößen für Wägezellen  
Begriffe und Definitionen (Stand 1978)
13. VDI/VDE 2638 Kenngrößen für Kraftaufnehmer  
Begriffe und Definitionen (Stand 1989-04)

## 9. Umrechnungstabellen

### 9.1 Länge

	inch	foot	yard	Meter	mile	Seemeile
inch (in)	1	0,0834	0,0278	0,0254	$15,786 \cdot 10^{-6}$	$13,715 \cdot 10^{-6}$
foot (ft)	12	1	0,3333	0,3048	$0,1894 \cdot 10^{-3}$	$0,1646 \cdot 10^{-3}$
yard (yd)	36	3	1	0,9144	$0,5683 \cdot 10^{-3}$	$0,4937 \cdot 10^{-3}$
Meter (m)	39,370	3,2808	1,0936	1	$0,6215 \cdot 10^{-3}$	$0,5399 \cdot 10^{-3}$
mile (mi)	63346	5278,8	1759,6	1609	1	0,8688
Seemeile (sm)	72913	6076,1	2025,3	1852	1,1510	1

Ebenfalls häufig zu finden: 1 mil = 1/1000 inch = 25,4  $\mu$ m

### 9.2 Geschwindigkeit

	yard/ second	foot/ second	Kilometer/ Stunde	Meter/ Sekunde	mile/ hour	Knoten
yard per second (yd/s)	1	3	3,2941	0,9144	$2,0458 \cdot 10^{-3}$	$0,9597 \cdot 10^{-3}$
foot per second (ft/s)	0,3333	1	1,0973	0,3048	$0,4237 \cdot 10^{-3}$	$0,3199 \cdot 10^{-3}$
Kilometer pro Stunde (km/h)	0,3035	0,9113	1	0,2777	0,6215	0,5399
Meter pro Sekunde (m/s)	1,0936	3,2808	3,6	1	2,2374	1,9438
mile per hour (mp/h)	488,80	2360,1	1,609	0,4469	1	0,8688
Knoten (sm/h)	1024,0	3125,9	1,852	0,5144	1,1510	1

### 9.3 Masse

	ounce	pound	Kilogramm
ounce (oz)	1	0,0625	0,02835
pound (ib)	16	1	0,4536
Kilogramm (kg)	35,273	2,205	1

### 9.4 Temperatur

	Kelvin	Celsius	Fahrenheit
Kelvin Grad ( $T_K$ )	1	$T_C + 273,15$	$(T_F + 459,67)/1,8$
Celsius Grad ( $T_C$ )	$T_K - 273,15$	1	$(T_F - 32)/1,8$
Fahrenheit ( $T_F$ )	$(T_K \times 1,8) - 459,67$	$(1,8 \times T_C) + 32$	1

## 9.5 Kraft

	Newton	Dyn	pound
Newton (N = kg * m/s <sup>2</sup> )	1	100 * 10 <sup>3</sup>	0,225
Dyn (dyn)	10 * 10 <sup>-6</sup>	1	2,25 * 10 <sup>-6</sup>
pound (lb)	4,448	44,48 * 10 <sup>6</sup>	1

## 9.6 Druck

	Pascal	mm WS	Torr	Psi	at	bar
Pascal (Pa = N/m <sup>2</sup> )	1	0,1019	7,5 * 10 <sup>-3</sup>	145,04 * 10 <sup>-6</sup>	10,2 * 10 <sup>-6</sup>	10 * 10 <sup>-6</sup>
mm WS (kp/m <sup>2</sup> )	9,8065	1	73,6 * 10 <sup>-6</sup>	1,4234 * 10 <sup>-3</sup>	100 * 10 <sup>-6</sup>	98,1 * 10 <sup>-3</sup>
Torr (mm Hg)	133,32	13,6	1	19,337 * 10 <sup>-3</sup>	0,136 * 10 <sup>-3</sup>	1,33 * 10 <sup>-3</sup>
Psi (lb/in <sup>2</sup> )	6,8947 * 10 <sup>3</sup>	702,565	51,715	1	70,325 * 10 <sup>-3</sup>	68,947 * 10 <sup>-3</sup>
tech. at (kp/cm <sup>2</sup> )	98,07 * 10 <sup>3</sup>	10 * 10 <sup>3</sup>	736	14,2196	1	0,981
bar	100 * 10 <sup>3</sup>	10,2 * 10 <sup>3</sup>	750	14,504	1,02	1

### Definition der Kurzzeichen

<b>Pa</b>	Pascal /1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> )	<b>mWS</b>	Meter Wassersäule
<b>N/m<sup>2</sup></b>	Newton pro Quadratmeter	<b>Torr</b>	Torr = 1 mm Hg
<b>bar</b>	Druck in bar	<b>mmHg</b>	Millimeter Quecksilbersäule
<b>at</b>	technische Atmosphäre	<b>psi</b>	engl. Pfund pro Quadratzoll
<b>atm</b>	physikalische Atmosphäre	<b>kp/cm<sup>2</sup></b>	Kilopond pro Quadratzentimeter












### Umrechnungsbeispiele

psi zu bar:

$$15 \text{ psi} = 15 \times 6,8948 \times 10^{-2} \text{ bar} = 1,03 \text{ bar}$$

Torr zu mbar









$$760 \text{ Torr} = 760 \times 1,3332 \times 10^{-3} \text{ bar} = 1,0132 \text{ bar} = 1013,2 \text{ mbar}$$

Typ	8402	8411	8413	8414	8415	8416	8417	8435	8431	8432	8438
Rel. Kennlinienabweichung ( $\leq \pm\%$ v.E.)	0,25	0,5	0,25/0,15	0,25/0,15	0,5/0,75	0,5		0,25	0,15	0,15	1,0
	Miniatur-Druckkraftsensor	Subminiatur-Kraftsensor	Subminiatur-Druckkraftsensor mit Überlastschutz	Miniatur-Druckkraftsensor	Ultraminiatur-Druckkraftsensor	Miniatur-Zug-Druckkraftsensor	Zug-Druckkraftsensor	Präzisions-Miniatur-Kraftsensor mit Überlastschutz			Miniaturring-Kraftsensor
Abbildung											
Datenblatt-Kennziffer	8402	8411	8413	8414	8415	8416	8417	8435	8431	8431	8438
Messbereiche											
2,5 N		•	•	•					•	•	•
5 N		•	•	•					•	•	•
10 N		•	•	•					•	•	•
20 N		•	•	•					•	•	•
50 N		•	•	•			•		•	•	•
100 N		•	•	•			•		•	•	•
200 N		•	•	•			•		•	•	•
500 N		•	•	•			•		•	•	•
1 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
2 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
5 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
10 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
20 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
40 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
50 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
100 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
200 kN	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
Besonderheiten	Große Messbereiche bei kleinen Abmessungen, geringer Messweg	Kleine Außenmaße, leichter Einbau in Messstangen und Messstempel	Kleinste Außenmaße, flache Bauweise mit hoher Resonanzfrequenz (bis 167 kHz)	Mit Überlastschutz bei kleinsten Außenmaßen	Preiswerter Flachscheibensensor, Außendurchmesser 20 mm	Besonders kleiner Kraftsensor mit 10,6 mm Außendurchmesser und 4,5 mm Höhe	Kleinst Kraftsensor ab 8 mm Außendurchmesser, robuste Ausführung	Zug- und Drucksensor aus Edelstahl für OEM-Anwendungen	Vielseitiger Präzisionssensor, begrenzt unempfindlich auf Querkräfte, Biege- und Torsionsmomente	Wie Typ 8431, jedoch mit Überlastschutz	Durchgehende, zentrische Bohrung, geringe Bauhöhe
Haupt Einsatzbereiche	Einpressmessung an Längs- und Querschnitten, Kraftmessung an Stanzen, in Spannbacken, und Werkzeugen	Schwer zugängliche Stellen von Prüfrichtungen in der Feinwerktechnik und Mikronik	Für räumlich enge Verhältnisse bei Kontakt-, Tastenkraft-, Tasten- u. Schalterprüfung sowie Reibkräfte	Für automatisierte Fertigungsstraßen, zur Prüfung von Fügungen und Gängigkeiten	Aufsetzkraft, Stellkräfte, Andrückkräfte bei Maschinen	Apparatebau, Mikrosystemtechnik, Fertigungsstrassen, Handhabungseinrichtungen	Prüfgeräte, Zugkräfte in Bowdenzügen, Montagewerkzeuge	Einpressungen, Umformungen, Dosierungen, Steckerprüfungen	Zug- und Druckstangen, Waagen, Elektromagnete, Prallplatten	Für Produktions- und Prüfstrahlen aber auch Laborausrüstungen	Schraubkraftmessung, Auflagerkräfte von Bolzen, Gewindestangen, Schnittkräfte

# Übersicht

# burstert-Kraftsensoren

# Sektion 8.5

Typ	8510	8511	8523	8524	8526	8531	85041/43 / 85073/75	85081 / 85082
Rel. Kennlinienabweichung ( $\leq \pm\%$ v.E.)	0,25	0,05/0,25	0,1/0,25	0,15/0,25	0,35	0,07/0,15	0,1	0,2
Abbildung								
Datenblatt-Kennziffer	8510	8511	8523	8524	8526	8523	85041	85081
Messbereiche	• • • • •	• • • • • • • • •	• • • •	• • • • • • • • •	• • • • • • • • •	• • • • • • • • •	• • • • • • • • •	• • • • • • • • •
Besonderheiten	Mechanischer Überlastschutz, sehr kleine Baugrößen	Unempfindlich auf Störeinflüsse und Kraftverlagerungen	Preiswerter universeller Sensor aus Al, leicht, niedrig bauend, schmelbenförmig	Robuster Kraftsensor für Industrie- und Laboranwendungen	Kleine Bauform bei hohen Messbereichen	Preiswerter Al-Sensor, Bauform wie Typ 8523, für höhere Messbereiche	Präzisionsensoren, hermetisch dicht, sehr geringe Seitenkraftempfindlichkeit auch für höchste dynamische Anwendungen	Typ 85081: zylindrische Sensorreihe, Gewindebolzen an Stirnseite Typ 85082: mit stirnseitigem Innengewinde Typ 85081: Zugprüfungen, Zerreißversuche, Fügekräfte, Typ 85082: Spannungs-Dehnungsuntersuchungen, Seile, Gestänge
Haupt Einsatzbereiche	Prüftechnik (Schalter, Tasten), Kontaktkräfte, Verpackungs- und Klebtechnik	Wägetechnik, Füllstandswägungen, Schlauchwaagen, Abfüllungen	Stab-, Gestänge-, Fachwerkkräfte, Zähl- und Prüfwaagen	Überwachung von Fügevorgängen, Momentenmessung über Kraft x Hebelarm	Aufsetzkräfte, Fußkräfte, Abfüllsysteme	Wäge- und Füllstandsmesssysteme, Seilkräfte, Fadenspannungen	Presse, Behälter (z.B. Silos), Materialprüfungen, Kalibrierungen	
Erläuterungen zu Sektion 8.4 und 8.5	<b>Optionen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erweiterung des temperaturkompensierten Bereiches</li> <li>■ Integriertes Kabel</li> <li>■ Kraftleitteile</li> <li>■ Hermetisch dichte Ausführung (IP 68)</li> <li>■ Standardisierung des Nennkennwerts</li> <li>■ Lastzentrierplatten</li> <li>■ Integrierter Verstärker</li> <li>■ Werkskalibrierscheine</li> </ul>							