

Inbetriebnahme von Sensoren

In diesem Dokument werden einige Hinweise zur Inbetriebnahme eines Kraft- oder Drehmomentsensors oder Mehrachs- / Mehrkomponentensensors genannt.

Allgemeines

Vor der Durchführung einer Messreihe sollten Vorversuche durchgeführt und dokumentiert werden, da sich die Eigenschaften des Sensors in der konkreten Einbausituation von den Eigenschaften unter idealen Messbedingungen unterscheiden können.

Skalierungsfaktor

Grundvoraussetzung für die Aufzeichnung von Messdaten ist die korrekte Einstellung und Dokumentation des Skalierungsfaktors.

Der Skalierungsfaktor stellt den Zusammenhang zwischen der zu messenden physikalischen Eingangsgröße und der Ausgangsgröße der Messkette dar.

Erforderliche Daten zur Einstellung des richtigen Skalierungsfaktors sind:

- Kennwert des Sensors in mV/V,
- Nennkraft oder Nennmoment des Sensors, z.B. in N, oder kN bzw. Nm oder kNm,
- Eingangsempfindlichkeit des Messverstärkers in mV/V,
- Ausgangssignalhub des (analogen) Messverstärkers z.B. 5V, 10V, 16mA.

<i>Technische Daten des Sensors</i>		<i>Technische Daten des Messverstärkers</i>	
Eingang	Ausgang	Eingang	Ausgang
mechanischer Messbereich des Kraftsensors (Nennkraft F_N)	elektrisches Ausgangssignal des DMS bei Nennkraft F_N (Kennwert C)	elektrischer Messbereich des Messverstärkers (Eingangsempfindlichkeit u_E)	elektrisches Ausgangssignal des Messverstärkers bei u_E (Ausgangssignalhub U_A)
500,00 N	1,005 mV/V	2,000 mV/V	5,000 V

Im angegebenen Beispiel wird ein Sensor mit Nennkraft 500 N verwendet, der ein Ausgangssignal von 1,005 mV/V liefert.

Die Eingangsempfindlichkeit des verwendeten Messverstärkers ist 2 mV/V. Das Ausgangssignal des verwendeten Messverstärkers bei 100% Aussteuerung ist 5,000 Volt.

Messverstärker mit Analogausgang

$$U = \frac{1,005 \text{ mV/V}}{500,00 \text{ N}} \cdot \frac{5,000 \text{ V}}{2,000 \text{ mV/V}} = 0,005 \frac{\text{V}}{\text{N}} \cdot F$$

Der Skalierungsfaktor für die gesamte Messkette ist dann 0,005 V/N.

Bei 500 N erhält man 2,500 Volt Ausgangssignal.



Bei der Nennkraft 500,00 N wird der Messverstärker zu 50% angesteuert, weil der Sensor ein Ausgangssignal von 1,005 mV/V abgibt, während der Messverstärker eine Eingangsempfindlichkeit von 2 mV/V hat.

In Worten: Der Skalierungsfaktor ist

Kennwert/Nennkraft x Ausgangssignalhub / Eingangsempfindlichkeit

Messverstärker mit Schnittstelle

Bei Messverstärkern mit Schnittstelle werden zur Einstellung des Skalierungsfaktors folgende Daten benötigt:

- Kennwert des Sensors in mV/V,
- Nennkraft oder Nennmoment des Sensors, z.B. in N, oder kN bzw. Nm oder kNm,
- Eingangsempfindlichkeit des Messverstärkers in mV/V,

Benutzen Sie bitte zur Einstellung des Skalierungsfaktors die entsprechende Funktion der Anwendungssoftware.

Der maximale Anzeigebereich eines digitalen Messsystems ist im allgemeinen:

Eingangsempfindlichkeit / Kennwert x Nennkraft

Dieser Faktor wird in der Software oft auch als "Messbereich" (U_A) oder (MB) oder "Normierungsfaktor" bezeichnet.

$$MB = \frac{2,000 \text{ mV/V}}{1,005 \text{ mV/V}} \cdot 500,00 \text{ N} = 995,02 \text{ N}$$

Weitere Informationen zur Messkette finden Sie im Dokument

<http://www.me-systeme.de/de/basics/kb-display.pdf>

Maßnahmen:

- a) Aufzeichnung des unskalierten Messsignals, oder
- b) Dokumentation des Zeitpunkts jeder Abweichung / Änderung / Einstellung von Skalierungsfaktoren.

Sensor-Kennwert

Der Kennwert des Sensors beschreibt den Zusammenhang zwischen mechanischem Eingangssignal des Sensors und elektrischem Ausgangssignal des Sensors.

Der Sensor-Kennwert wird bei der Kalibrierung bestimmt und ist im Datenblatt des im Prüfprotokoll des Sensors oder in der Kalibriermatrix des 3- oder 6-Komponenten Sensors enthalten.

Das Datenblatt enthält den sogenannten Nennkennwert. Dies ist ein Zielwert (theoretischer Wert) für den Sensor. Der "Nennkennwert" kann vom realen "Kennwert" im Prüfprotokoll abweichen.

Der Sensor-Kennwert kann bei einigen Sensoren auch im montierten Zustand vom Kennwert im Prüfprotokoll abweichen, insbesondere bei Membran-Kraftmessdosen oder Ultraminiatur

Kraftmessdosen. Ursachen für die Abweichungen können z.B. Biegemomente sein, die zusätzlich zur Kraft eingeleitet werden, oder wenn die Auflage des Kraftsensors uneben oder deformierbar ist.

Je kleiner die Sensoren sind, desto schwieriger wird es, eine reproduzierbare Spannungsverteilung innerhalb des Sensors im Bereich der Dehnungsmessstreifen zu erzeugen. Durch Biegemomente, Querkräfte oder durch Deformation des Sensors auf unebener Auflagefläche entsteht eine Spannungsverteilung, die vom Idealfall in der Kalibriermaschine abweicht.

Sensoren für mechanische Größen müssen unbedingt "in Reihe" zur Messgröße geschaltet sein. Es darf kein Kraftnebenschluss vorhanden sein. Bei Sensoren für kleine Kräfte können sogar die Zuleitungen und Anschlusskabel einen Kraftnebenschluss bewirken. Die zu messende Kraft wird dann nicht zu 100% über den Sensor übertragen. Ein Teil der Kraft wird vom Anschlusskabel aufgenommen.

Maßnahmen:

- a) Kalibrierung des Sensors vor Ort in der Vorrichtung,
- b) Beistellung von Einbauzubehör für das Kalibrierlabor,
- c) Mehrfache Kalibrierung in unterschiedlichen Einbaulagen zur Messung der Reproduzierbarkeit.

Sensor-Nullpunkt

Im Auslieferungszustand ist das Ausgangssignal des unbelasteten Sensors z.B. $\pm 0,05$ mV/V oder $\pm 0,02$ mV/V. Das Ausgangssignal des Sensors kann im unbelasteten Zustand $\pm 1\%$. $\pm 2\%$, im Einzelfall auch 10% oder 20% des Sensor-Kennwertes betragen. Ursachen für die Abweichungen des Signals im unbelasteten Zustand sind Fertigungstoleranzen und das Eigengewicht und die Einbaulage des Sensors.

Wechselnde Belastung mit $\pm 100\%$ der Nennkraft kann zur Ermüdung des Federkörpers und zu einer Nullpunktverschiebung und schließlich zum Bruch des Sensors führen.

Maßnahmen:

- a) Abgleichen des Sensor-Nullpunkts vor jeder Messung mit der Nullsetzfunktion des Messverstärkers oder mit der Nullsetzfunktion der Datenerfassung bei Kurzzeit-Messungen,
- b) Kontrollieren des Nullpunkts im lastfreien Zustand vor oder während der Durchführung von Langzeit-Messungen.

Abweichung des Nullpunkts durch Drift

Der Nullpunkt des Sensors ist abhängig von der Temperatur. Typisch sind z.B. Abweichungen von $\pm 0,01\%$ des Kennwertes pro °C Temperaturänderung. Diese Abweichungen sind stets unter der Voraussetzung einer homogenen Temperaturverteilung am Sensor ermittelt worden.



Im eingebauten Zustand kann die Abweichung größer sein, wenn die Temperatur über den Sensor nicht den gleichen Betrag aufweist.

Ursachen können Strahlungsquellen sein, aber auch unterschiedliche Wärmekapazitäten an der Einspannung (Montagefläche, Montageflansch) des Sensors und an der Kraffteinleitung des Sensors.

Eine inhomogene Temperaturverteilung im Sensor behindert die Driftkompensation durch die Wheatstonsche Brückenschaltung.

Das Anfassen von Sensoren führt zu einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung und somit zu einer Drift des Nullpunkts.

Die Drift des Nullpunkts ist meist auch eine Funktion der Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur.aufgrund von unterschiedlichen Wärmekapazitäten zwischen Krafftein- und Krafftausleitung

Sowohl die Auswerteelektronik als auch der Sensor benötigen eine Zeitspanne von einigen Minuten nach dem Einschalten, bis sich ein stabiler Zustand eingestellt hat.

Die Einschalt drift wird in der Regel nicht in den technischen Daten berücksichtigt.

Die Einschalt drift ist abhängig von der Speisespannung des Messverstärkers, von der Materialstärke unter dem Dehnungsmessstreifen, von der Abdeckmasse, und von der Qualität der elektronischen Bauteile des Messverstärkers.

Maßnahmen:

- a) Verwendung von thermisch leitenden von Sensorgehäusen, die als "Isotherme" für eine homogene Temperaturverteilung sorgen,
- b) Abschirmung von Strahlungsquellen,
- c) Thermisch isolierte Montage zur Vermeidung ungleicher Wärmekapazitäten zwischen Krafftein- und -ausleitung,
- d) Aufzeichnung der Einschalt drift des Messsystems,
- e) Durchführen eines Nullabgleichs im lastfreien Zustand in der jeweiligen Temperaturstufe.

Abweichung des Nullpunkts durch Nullpunktrückkehrfehler

Die Abweichung des Nullpunkts von Sensoren mit Dehnungsmessstreifen bleibt deutlich unter 0,1%, solange die entsprechenden Federstähle oder hochfesten Aluminium- oder Titanlegierungen eingesetzt werden und der Sensor nicht über ± 2 mV/V belastet wird.

Wenn die Kraft oder das Drehmoment über eine Linearführung oder ein Hebelsystem eingeleitet werden, können erhebliche Hysterese fehler auftreten, die einige Prozent des Messbereiches betragen.

Da die Verschiebung der Kraffteinleitung in der Größenordnung von ca. 0,1 mm liegt, entspricht ein Hysterese fehler von 1% einer bleibenden Verformung von nur 1 μ m durch Haftreibung.

Der Sensor ist nur dann unbelastet, wenn ein Luftspalt zwischen Sensor und der weiteren Konstruktion sichtbar ist.

Bei der Parallelschaltung von Kraftsensoren, z.B. in Wägeplattformen, kann Verformungsenergie in der Wägeplatte gespeichert werden, z.B. durch Setzerscheinungen in den Schraubverbindungen.

Kraftsensoren mit zwei mechanischen Auflagern, wie z.B. Messbolzen oder Doppelscherbalken (Sensoren der Baureihe KS), sowie 3D-Kraftsensoren und 6D Kraft-/Momentensensoren können ebenfalls Verformungsenergie im Montageflansch speichern, was zu zu einem Nullpunktückkehrfehler führen kann.

Maßnahmen:

- a) Einsatz von "reibungsfreien" Federgeradföhrungen,
- b) vollständige Entlastung des Sensors bei jedem Belastungszyklus,
- c) Verwendung von Krafteinleitungen zur Vermeidung von Querkräften,
- d) Unterstützung der kraftschlüssigen Verbindungen durch Erhöhung der Reibzahl z.B. mit Loctite 603 oder ähnlichen Produkten.

Abweichung des Nullpunkts durch die Montage

Durch die Deformation der Montagefläche kommt es insbesondere bei Sensoren mit kleinen Abmessungen oder bei Sensoren mit großen Montageflächen zu einer Verstimmung des Ausgangssignals.

Die Änderung der Vorspannkraft einer Schraubverbindung kann daher auch zu einer Verschiebung des Nullpunkts föhren.

Verwindungen am Maschinengestell z.B. durch Setzerscheinungen im Fundament können ebenfalls zu einer Biege- oder Torsionsbelastung des Montageflansches eines Drehmomentsensors und damit zur Abweichung des Nullpunkts föhren.

Härte und Ebenheit der Auflagefläche wirken sich auf die Kennlinie des Sensors aus, weil sich z.B. mit zunehmender Belastung der Nullpunkt des Sensors verschiebt, indem der Sensor an eine unebene Auflagefläche gepresst wird.

Maßnahmen:

- a) Aufzeichnung des Einflusses der Montage.

Abweichung des Nullpunkts durch Umwelteinflüsse

Trotz eines Schutzgrades von IP65...IP67 kann ein dauerhafter Einsatz eines Sensors unter hoher Luftfeuchte oder unter häufiger Benetzung mit Kondenswasser und zu kurzen Trocknungszeiten zum Ausfall des Sensors föhren. Feuchte föhrt zunächst zu einer Verschiebung des Nullpunkts und bei einer Verminderung des Isolationswiderstandes der Dehnungsmessstreifen zum Sensorgehäuse zu einem erhöhten Rauschen.

Sensoren mit hoher Schutzart gegen Feuchte können mitunter eine höhere temperaturbedingte Drift aufweisen durch die thermische Ausdehnung von Vergussmasse. Dies gilt



insbesondere für Sensoren mit kleinen Kräften.

Maßnahmen:

- a) Hohe Luftfeuchte und Benetzung mit Wasser vermeiden,
- b) Dauerhaften Einsatz des Sensors mit Feuchte oder Wasser vermeiden,
- c) Gegebenenfalls Abdeckung vor Tropfwasser und regelmäßige Trocknung des Sensors vorsehen.

Sensor-Linearität

Die Abweichung der Sensorkennlinie von einer Geraden wird unter idealen Bedingungen ermittelt. Es wird insbesondere auf Ebenheit der Montageflächen und auf punktförmige oder biegemomentenfreie Krafteinleitung geachtet.

Diese Bedingungen lassen sich in der tatsächlichen Prüfvorrichtung nicht immer realisieren. Insbesondere, wenn der Sensor an zwei Schnittufern befestigt wird zur Messung von Zug- und Druckkraft oder zur Messung von Links- und Rechtsmoment.

Dadurch kann es zu Querkräften und Biegemomenten kommen, die als lastabhängige Störgröße einen Einfluss auf die Linearität des Sensors haben.

Die Kalotte des Kraftsensors stellt einem Gelenk mit 5 Freiheitsgraden dar und ist somit eine konstruktive Maßnahme zur Verringerung von Querkräften und Momenten.

Die Belastung eines Kraftsensors zwischen zwei ebenen Platten stellt hohe Anforderungen an die Ebenheit des Kraftsensors und der Prüfvorrichtung. Unter Belastung verschieben sich in der Regel die Toleranzen.

Maßnahmen:

- a) konstruktive Maßnahmen in der Prüfvorrichtung, wie z.B. Gelenke, Ausgleichkupplungen, symmetrische Konstruktion, etc.
- b) Auswahl des geeigneten Sensors.

Fehler in der Datenerfassung

Schirmung

Wenn die Messdaten auf elektronischem Weg erfasst werden, kann es zu Fehlern kommen. Insbesondere stellen Masseschleifen eine der häufigsten Fehlerquellen dar.

Einige Hinweise zu richtiger Schirmung finden Sie in diesem Dokument:

<http://www.me-systeme.de/de/basics/kb-shield.pdf>

USB Schnittstelle

Bei elektronischer Datenerfassung über eine USB Schnittstelle ist zu beachten, dass die Datenübertragung unter Umständen bei Langzeitmessungen oder bei elektrischen Störungen eine Unterbrechung der Verbindung zum Messgerät verursachen kann und damit zum Abruch einer Aufzeichnung von Messwerten führt.

Das Hinzuschalten von zusätzlichen USB Geräten kann ebenfalls ebenfalls seinen Abbruch der Verbindung zum Messgerät verursachen, z.B. wenn der maximal zulässige Energiebedarf an der USB Schnittstelle überschritten wird.

Falls ein Windows Betriebssystem für Langzeitmessungen eingesetzt werden sollte, muss das automatische Update deaktiviert werden.

Die Masse-Potenziale der USB Schnittstelle liegen insbesondere bei Notebook Computern deutlich über dem Potenzial des Schutzleiters.

Dies verursacht in der Regel erhebliche Störungen mit Netzfrequenz. Dadurch kommt es zu einer Verringerung des Verhältnisses von Messsignal- zu Rauschamplitude. In diesem Fall muss der Niederspannungsanschluss am Notebook mit dem Schutzleiter verbunden werden oder der USB Anschluss geerdet werden.

USB-Hubs mit eigener Spannungsversorgung können eventuell zu einer Verbesserung der Stabilität der USB Schnittstelle beitragen.

Messfrequenz

Bei Datenerfassungen nach dem "Sigma-Delta" Umformungsprinzip ist das Verhältnis von Messsignal- zu Rauschamplitude eine Funktion der Datenfrequenz. In diesem Fall ist es vorteilhaft, die Datenerfassung mit der maximal notwendigen Datenfrequenz durchzuführen. Die Einstellung einer hohen Datenfrequenz mit anschließender Mittelwertbildung führt möglicherweise zu einem schlechteren Verhältnis von Messsignal- zu Rauschamplitude.

Bei der Erfassung von Analogsignalen sollte eine Überabtastung mit anschließender Dezimierung der Daten durch Filterung, wie. z.B. Mittelwertbildung erfolgen.

Aus messtechnischer Sicht muss gewährleistet sein, dass es zu keinen "Aliasing Effekten" infolge fehlender Filterung oder zu niedriger Abtastfrequenz kommt.

Maßnahmen:

- a) korrekte Schirmung der Sensor Anschlussleitungen,
- b) getrennte Verlegung von Sensor- und Leistungskabeln,
- c) Verwendung getrennter Netzteile für Sensorik und Leitungselektronik,
- d) Verwendung von Netzteilen mit Erdung, insbesondere beim Betrieb von Notebooks mit USB Datenerfassungen,
- e) Verbinden des Niederspannungs-Anschluss von Notebooks mit Schutzleiter,



- f) Messen des Rauschsignals beim Notebook im Netz- und im Akku Betrieb,
- g) Definieren eines Masse-Sternpunktes,
- h) gegebenenfalls Verbinden des USB Kabels mit Schutzleiter oder Masse-Potenzial,
- i) Aufzeichnung des Messsignals im unbelasteten Zustands, Hinzuschalten von zusätzlichen Verbrauchern / Störquellen wie z.B. Motoren, Thermostaten, etc,
- j) Aufzeichnung des Messsignals bei verschiedenen Abtastfrequenzen, um Störquellen oder Aliasing Effekte zu erkennen,
- k)
- l) Einfügen zusätzlicher Lastwiderstände an den Eingängen der Datenerfassung (sofern zulässig und notwendig).

Stand: 23.09.2015