

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.

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 festgelegt und ist im Datenblatt des Sensors oder im Kalibrierblatt des Sensors oder in der Kalibriermatrix des 3- oder 6-Komponenten Sensors enthalten.

Der Sensor-Kennwert kann bei einigen Sensoren im montierten Zustand 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. 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 Einbaubehör für das Kalibrierlabor.

Sensor-Nullpunkt

Im Auslieferungszustand ist das Ausgangssignal des Sensors z.B. $\pm 0,05$ mV/V oder $\pm 0,02$ mV/V. Das Ausgangssignal des Sensors kann im unbelasteten Zustand $\pm 1\%$. $\pm 2\%$ des

Sensor-Kennwertes betragen. Ursachen für die Abweichungen des Signals im unbelasteten Zustand sind Fertigungstoleranzen und das Eigengewicht und die Einbaulage des Sensors.

Maßnahmen:

- a) Abgleichen des Sensor-Nullpunkts vor jeder Messung mit der Nullsetzfunktion des Messverstärkers oder mit der Nullsetzfunktion der Datenerfassung bei Kurzzeit-Messungen,
- b) Aufzeichnung der Nullpunktdrift im lastfreien Zustand vor 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 $^{\circ}\text{C}$ 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 Kraftereinleitung des Sensors.

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

Die Temperaturdrift ist aufgrund der unterschiedlichen Wärmekapazitäten zwischen Krafterein- und Kraftausleitung auch eine Funktion der Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur.

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 Krafterein- und -ausleitung,
- d) Aufzeichnung der Einschalt drift des Messsystems.

Abweichung des Nullpunkts durch Hysterese

Die Hysterese 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 $\pm 2 \text{ mV/V}$ 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 Kraftereinleitung in der Größenordnung von ca. $0,1 \text{ mm}$ liegt,

entspricht ein Hysteresefehler von 1% einer bleibenden Verformung von nur 1 µm durch Haftreibung.

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

Maßnahmen:

- a) Einsatz von "reibungsfreien" Federgeradfürungen,
- b) vollständige Entlastung des Sensors bei jedem Belastungszyklus.

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 führen.

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 führen.

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.

Sensor-Linearität

Die Abweichung des 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 Schnittpunkten 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

Wenn die Messdaten auf elektronischem Weg erfasst werden, kann es zu Fehlern kommen. Insbesondere stellen Masseschleifen eine der häufigsten Fehlerquellen dar. Einige Hinweise zu richtigen Schirmung finden Sie in diesem Dokument:

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

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 einen 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.

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 zu einem weitaus schlechteren Verhältnis von Messsignal- zu Rauschamplitude.

Bei "Sigma-Delta" Umformern ist die Einschwingzeit von ca. 4 - 5 Messwerten auf ein stufenförmiges Eingangssignal zu beachten.

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) Definieren eines Masse-Sternpunktes,
- e) Aufzeichnung des Messsignals im unbelasteten Zustands, Hinzuschalten von zusätzlichen Verbrauchern / Störquellen wie z.B. Motoren, Thermostaten, etc,
- f) Aufzeichnung des Messsignals bei verschiedenen Abtastfrequenzen, um Störquellen oder Aliasing Effekte zu erkennen,
- g) Verbinden des Niederspannungs-Anschluss von Notebooks mit Schutzleiter,
- h) Einfügen zusätzlicher Lastwiderstände an den Eingängen der Datenerfassung (sofern zulässig und notwendig)