



White Paper

Kraftmessung mit Dehnungssensoren

Kräfte misst man mit einem Kraftsensor, ist doch klar. Oder? Tatsächlich ist das nicht so offensichtlich, wie es auf den ersten Blick scheint, denn Dehnungssensoren können in vielen Fällen eine sinnvolle Alternative darstellen. Gerade, wenn es um das Messen großer Kräfte geht, sind sie oft die kosteneffizientere und leichter integrierbare Wahl.

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Kraftmessung mit Dehnungssensoren	3
3	Die Auswahl des passenden Dehnungssensors	3
3.1	Komponenten für die Messkette mit einem Dehnungssensor	4
3.2	Montage und optimale Platzierung	4
3.3	Kalibrierung bei der Kraftmessung	5
4	Zusammenfassung	5
5	Autor	6

1 Einleitung

Dieses Whitepaper liefert eine Anleitung, wie Dehnungssensoren in einem Projekt konkret eingesetzt werden können und gibt Antworten auf folgende zentrale Fragen:

- Wie funktioniert die Kraftmessung via Dehnungssensoren?
- Welcher Dehnungssensor ist die optimale Wahl für meine Anwendung?
- Welche Komponenten benötige ich für meine Messkette?
- Wie werden diese korrekt montiert und platziert?
- Wie kalibriere ich meine Dehnungsmessung?

2 Kraftmessung mit Dehnungssensoren

Im Gegensatz zu Kraftsensoren, die direkt im Kraftfluss installiert sind, werden Dehnungssensoren im Kraftnebenfluss eingesetzt: Sie erfassen die Verformungen, die bei der Belastung einer Maschinenstruktur auftreten, indem sie die Dehnung zwischen den Aufschraubflächen durch Dehnungsmessstreifen (DMS) messen. Die gemessene Oberflächendehnung ist $\epsilon (\Delta L/L)$ proportional zur einwirkenden Kraft und ist abhängig vom Materialquerschnitt A und dem Elastizitätsmodul E .

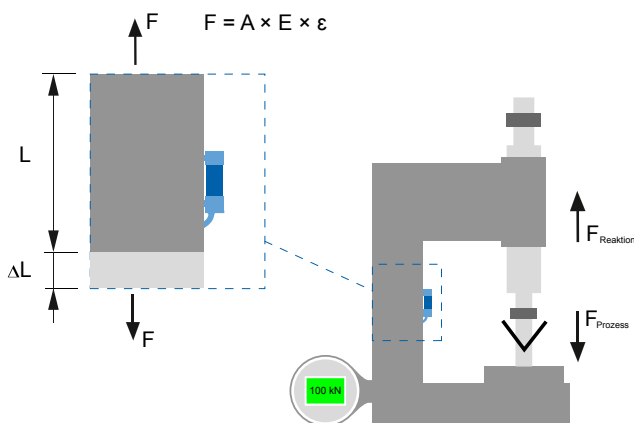


Abbildung 1: Kraftmessung im Kraftnebenfluss

Die DMS wandeln dabei die mechanische Dehnung, die bei der Verformung der Maschinenstruktur auftritt, in eine elektrische Widerstandsänderung um und wirken als mechanisch-elektrischer Konverter. Durch diese Widerstandsänderung erzeugen sie eine der Dehnung proportionale Spannungsänderung. Mit Hilfe der intelligenten Verschaltung der einzelnen DMS zu einer Wheatstone'schen Messbrücke können so selbst kleinste Dehnungen erfasst werden. Das Messsignal der Brücke verhält sich dabei proportional zur Speisespannung (ratiometrisch).

Das typische Messsignal von DMS Dehnungssensoren liegt zwischen 0.4...2.0 mV/V. Dehnungssensoren sind dauerhaft ausgelegt und eignen sich hervorragend für zyklische Anwendungen. Kurze Zykluszeiten im Millisekunden-Bereich sind einfach zu überwachen. Dehnungssensoren mit entsprechender Messmechanik können aber auch für statische Anwendungen gut eingesetzt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass Dehnungen, welche nicht durch die Belastung, sondern durch externe Einflüsse wie zum Beispiel Temperaturänderungen hervorgerufen werden, das Ausgangssignal verfälschen könnten. Dafür gibt es jedoch Massnahmen, welche diese Effekte kompensieren.

3 Die Auswahl des passenden Dehnungssensors

Baumer bietet ein umfassendes Produktportfolio von aufschraubbaren Dehnungssensoren, das die Mehrheit der möglichen Einsatzszenarien abdeckt. Darunter finden sich Optionen für begrenzte Platzverhältnisse, normale Industrieanwendungen sowie den Einsatz unter rauen Aussenbedingungen. Der grosse Vorteil von aufschraubbaren Dehnungssensoren mit heissgeklebten DMS besteht darin, dass sie eine langzeitstabile, qualitativ hochwertige und reproduzierbare Lösung für die Serie darstellen wobei kaltgeklebte Dehnungsmessstreifen eher in Entwicklungsversuchen eingesetzt werden.



Abbildung 2: Portfolio für vielseitige Anwendungen

Der **Dehnungssensor DST76** ist die Standardoption für die indirekte Kraftmessung in industriellen Innenanwendungen wie etwa dem Einsatz in der Fabrikautomation im Anlagen- und Maschinenbau.

Der **DST53** ist der Performance Dehnungssensor für industrielle Innenanwendungen speziell für kleinere und grössere Messbereiche. Durch die geringe Steifigkeit wird die zu überwachende Struktur minimal beeinflusst.

Der miniaturisierte Dehnungssensor DST20 eignet sich besonders gut für Anwendungen mit begrenztem Bauraum etwa im Maschinen- und Gerätebau oder der Prozessautomation. Zudem stellt er eine langzeitstabile Lösung dar, um bei limitiertem Bauraum kaltgeklebte Dehnungsmessstreifen aus ersten Tests im Versuchslabor in der Serie abzulösen.

Der besonders robuste Dehnungssensor DST55R eignet sich durch die solide Konstruktion, den Einsatz widerstandsfähiger Materialien und das umfassende Dichtigkeitskonzept für industrielle Anwendungen im Aussenbereich unter rauen Bedingungen wie z. B. Mobile Automation.

Neben den aufschraubbaren Dehnungssensoren gibt es auch Ausführungen, welche Dehnung in einer Bohrung abgreifen. Zur Verfügung stehen Messlanzen und Messdübel. Diese werden beispielsweise in den Holmen von Spritz- und Druckgussmaschinen verwendet für die Überwachung der Werkzeugschliesskraft. Was davon der passende Dehnungssensor für eine spezifische Anwendung ist, lässt sich anhand dieser Kriterien entscheiden:

- Zunächst ist die Einsatzumgebung entscheidend: Handelt es sich um eine raue Aussenanwendungen oder den Industrieinnenbereich?
- Die konstruktiven Gegebenheiten an der zu überwachenden Struktur entscheiden anschliessend, ob man einen aufschraubbaren Dehnungssensor verwenden kann oder zum Beispiel besser in einer Bohrung die Dehnung abgreift.
- Auch die Platzverhältnisse sind zu beachten, bei begrenztem Bauraum bietet sich eine miniaturisierte Variante an.
- Der Messbereich vom Dehnungssensor sollte entsprechend der zu erwartenden Dehnung an der vorgesehenen Position gewählt werden. Wenn die zu erwartende Dehnung noch unklar ist, wählt man für einen ersten Versuch besser einen Dehnungssensor mit einem grösseren Messbereich.

3.1 Komponenten für die Messkette mit einem Dehnungssensor

Die Auswahl der benötigten Komponenten für eine Messkette mit Dehnungssensoren ist oft durch die vorhandene Steuerung vorgegeben. Die meisten Dehnungssensoren von Baumer verfügen über eine eingebaute Verstärkerelektronik, die Standard-signale liefern wie +/- 10V, 4..20 mA, CANopen, IO-Link. Diese Dehnungssensoren können direkt an die Steuerung angeschlossen werden. Die DST53 und DST76 können zusätzlich über die IO-Link Schnittstelle einfach auf die spezifische Anwendung optimiert werden.

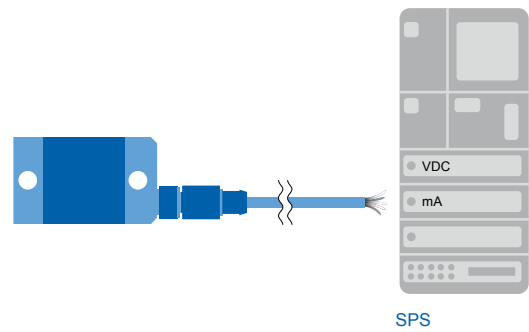


Abbildung 3: Dehnungssensoren mit integrierter Verstärkerelektronik

Für passive Dehnungssensoren, die ein mV/V Ausgangssignal liefern, bietet Baumer die passenden Verbindungskabel und Verstärker, damit der Dehnungssensor ein Standard-signal ausgibt und einfach an die Steuerung angeschlossen werden kann. Der Verstärker sollte nahe beim Sensor platziert werden, um mit verstärkten Signalen über grössere Distanzen zur Steuerung zu gelangen. Teilweise verfügen Steuerungen bereits über interne Karten mit mV/V Eingang. Dort können passive Sensoren einfach über ein Verbindungskabel direkt an die Steuerung angeschlossen werden.

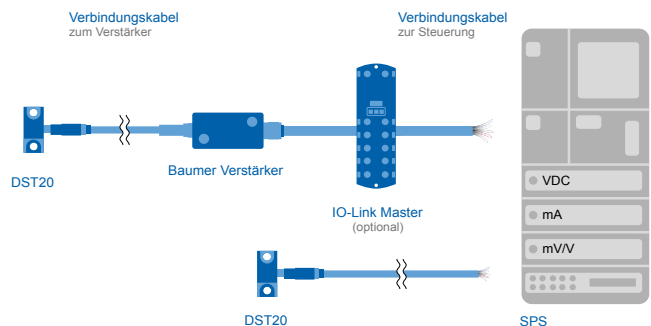


Abbildung 4: Messkette mit und ohne Verstärker

Weitere Details können der Betriebsanleitung entnommen werden.

3.2 Montage und optimale Platzierung

Aufschraubbare Dehnungssensoren sind einfach zu montieren und können kleinste Dehnungen im Mikrometerbereich an einer Struktur durch Krafteinwirkung abgreifen. Daher werden sie für gute Messergebnisse fest auf dem Bauteil verschraubt. Bei dünneren Strukturen werden sie mit Durchgangslöchern und einer Mutter befestigt, andernfalls mithilfe der mitgelieferten Befestigungsschrauben in Sacklöchern.

Um die optimale Stelle für die Platzierung eines Dehnungssensors zu bestimmen und die bestmöglichen Resultate zu erhalten, sollten ein paar Punkte beachtet werden:

- Der Dehnungssensor sollte an Stellen platziert werden, wo messbare Dehnungen an der Struktur durch Kräfteinwirkung in der passenden Richtung zu erwarten sind. Dies sind meistens Dehnungen oder mechanische Spannungen, welche durch Biegung und Zug- Druckbelastung generiert werden. Mittels der Finite-Element-Methode kann die zu erwartende Oberflächendehnung und Richtung bei mehrachsigen Spannungszuständen und somit der benötigte Messbereich an der vorgesehenen Stelle ermittelt werden.

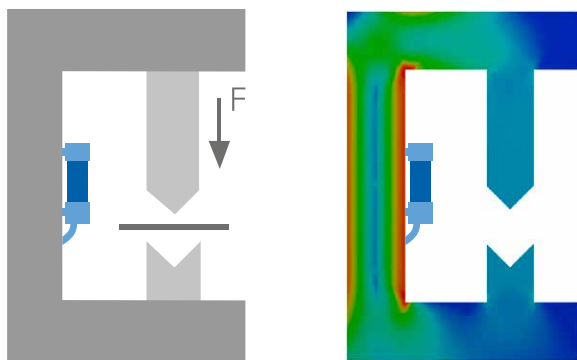


Abbildung 5: Optimale Platzierung von Dehnungssensoren

- Wenn diese Möglichkeit nicht besteht, ist es am einfachsten, einen Versuch mit einem Dehnungssensor mit grösserem Messbereich, z. B. 750 oder 1000 $\mu\text{m/m}$, durchzuführen und somit die wirklich auftretende Dehnung an der ausgewählten Stelle zu bestimmen.
- Daneben spielen auch Faktoren wie die konstruktiven Gegebenheiten, Zugänglichkeit oder Schutz des Dehnungssensors eine wichtige Rolle bei der Positionierung von Dehnungssensoren.
- Wichtig zu beachten für genaue Messresultate ist, dass der Sensor auf eine saubere, bearbeitete ebene Messoberfläche richtig montiert wird. Die jeweiligen Bearbeitungshinweise, Montageschrauben, Lochabstände und Durchmesser sind der jeweiligen Betriebsanleitung zu entnehmen.
- Falls es schwierig ist, die Montageoberflächen in genügender Qualität vorzubereiten, können Kugelunterlagscheiben benutzt werden, um Oberflächenwinkelfehler oder Lochwinkelabweichungen auszugleichen. Auch sind am Markt diamantbeschichtete Unterlagscheiben erhältlich (Friction Shims), welche leichte Unebenheiten ausgleichen und die Reibung erhöhen.
- Üblicherweise entsteht durch die Montage ein leichter Verzug des Dehnungssensors und somit bereits ein Dehnungssignal. Durch die Tarierung auf der entlasteten Maschinenstruktur wird dieser Montageeinfluss ähnlich wie bei einer Waage wegtariert.

- Wir empfehlen auch nach der Montage eine regelmässige Tarierung vom Sensor um Nullpunktänderungen z. B. durch Temperatureinflüsse zu kompensieren.

3.2 Kalibrierung bei der Kraftmessung

Üblicherweise in der Entwicklungsphase bietet es sich an, die zu überwachende Maschine einmal mit einer bekannten Kraft zu kalibrieren. Dadurch ergibt sich eine einfache Korrelation zur entsprechenden Dehnung an der zu überwachenden Struktur. Hierzu vergleicht man die gemessene Dehnung unter Last mit einem Kraftsensor. Somit können auch gleich Finite-Element-Methode-Berechnungen überprüft werden.

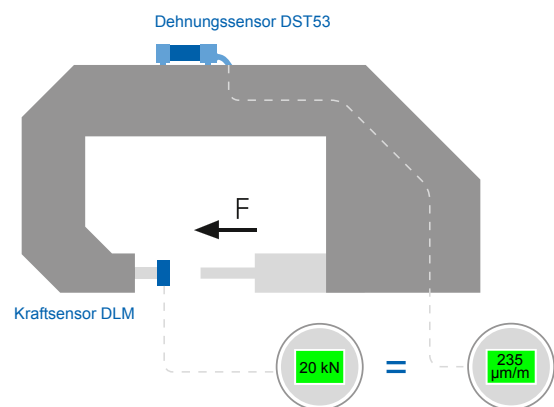


Abbildung 6: Kalibrierung von Dehnungssensoren

Bei höheren Anforderungen an die Genauigkeit kann in der Serie bei Bedarf auch jede Maschine kalibriert werden. Da der Dehnungssensor im Kraftnebenfluss misst, bedeutet dies auch, dass die Maschine ein Teil des Messsystems ist. Dadurch haben Herstellungstoleranzen auch einen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Baumer Dehnungssensoren werden bereits in der Fertigung auf Dehnung abgeglichen. Dadurch können sie bei einem allfälligen Ersatz einfach auf der zu messenden Struktur ersetzt werden und liefern nach der Montage wieder den gleichen Messwert.

4 Zusammenfassung

- Dehnungssensoren sind eine kostengünstige Alternative zu Kraftsensoren bei grossen Kräften.
- Aufschraubbare Dehnungssensoren von Baumer können einfach in die Maschine integriert werden und bieten für alle Anwendungsgebiete eine passende Lösung.
- Durch die Beachtung der aufgeführten Punkte in diesem Whitepaper können bei bestehenden Maschinen oder neuen Projekten einfach erste Funktionstest durchgeführt werden für die spätere Serienintegration.

5 Autor



Thomas Hertig
Product Management
Baumer Electric AG

Baumer Electric AG

Hummelstrasse 17
CH-8501 Frauenfeld
Phone +41 (0)52 728 1122
Fax +41 (0)52 728 1144

Baumer Group

Die Baumer Group ist einer der international führenden Hersteller von Sensoren, Drehgebern, Messinstrumenten und Komponenten für die automatisierte Bildverarbeitung. Baumer verbindet innovative Technik und kundenorientierten Service zu intelligenten Lösungen für die Fabrik- und Prozessautomation und bietet dafür eine einzigartige Produkt- und Technologiebreite. Das Familienunternehmen ist mit rund 2700 Mitarbeitern und Produktionswerken, Vertriebsniederlassungen und Vertretungen in 38 Niederlassungen und 19 Ländern immer nahe beim Kunden. Mit weltweit gleichbleibend hohen Qualitätsstandards und einer grossen Innovationskraft verschafft Baumer seinen Kunden aus zahlreichen Branchen entscheidende Vorteile und messbaren Mehrwert. Weitere Informationen im Internet unter www.baumer.com.



Baumer Group
International Sales
Hummelstrasse 17
CH-8501 Frauenfeld
Phone +41 (0)52 728 1122
Fax +41 (0)52 728 1144
sales@baumer.com