

## Fachartikel

### **Piezoelektrische Messtechnik als Schlüsselfaktor zum wirtschaftlichen Erfolg in der industriellen Fertigung**

**Aufgrund des globalen Wettbewerbs in der industriellen Fertigung werden die Anforderungen an Qualität und Präzision immer grösser. Zur Optimierung und Kontrolle der gesamten Fertigungskette hat sich die integrierte Überwachung von dynamischen Prozessen, insbesondere mithilfe piezoelektrischer Sensoren, für viele produzierende Unternehmen als die effizienteste und wirtschaftlichste Lösung herausgestellt.**

Bereits heute wird die Vision der Industrie 4.0 in vielen industriellen Anwendungen, wie in der Automobilindustrie, Medizintechnik oder Elektrotechnik, mit Erfolg umgesetzt. Die fortschreitende Digitalisierung und eine immer engere Vernetzung von Maschinen und Systemen führen zu einer bisher nie dagewesenen Optimierung sämtlicher Produktionsprozesse. Insbesondere die konsequente Kontrolle der Fertigungskette mit dem Ziel der Null-Fehler-Produktion ist für moderne Produktionsbetriebe unerlässlich, um am Markt der Zukunft bestehen zu können.

Während Produkte noch vor wenigen Jahren fast ausschliesslich „off-line“, also nach dem eigentlichen Herstellungsprozess, geprüft wurden, wird die Herstellung von Produkten heute immer öfter bereits während des Prozesses, also „in-line“, überwacht, um unnötigen Kosten vorzubeugen. Eine zentrale Basis für die Optimierung der Produktionsprozesse in Richtung Null-Fehler-Produktion bei Füge-, Montage- und Prüfprozessen bildet die auf dem piezoelektrischen Prinzip beruhende Sensortechnologie, die sich für die Messung physikalischer Grössen wie Kraft, Druck, Beschleunigung und Drehmoment besonders gut eignet.

#### **Grundlagen des piezoelektrischen Sensors**

Physikalische Grundlage für die Anwendung solcher Sensoren bildet der sogenannte piezoelektrische Effekt, der im Jahr 1880 von Pierre und Jacques Curie entdeckt wurde: Piezoelektrische Materialien erzeugen bei mechanischer Belastung (griechisch "pie-zein": drücken) elektrische Ladungen. Ein wichtiger Schritt hin zur Anwendung des piezoelektrischen Effekts erfolgte mit der Patentierung des Ladungsverstärkers für piezoelektrische Signale durch Walter P. Kistler im Jahr 1950.

Mit dem Quarzkristall lässt sich der piezoelektrische Effekt besonders gut nutzbar machen: Bei mechanischer Belastung kann aus entsprechend bearbeitetem Quarz ein Ladungssignal generiert werden, das direkt proportional zur einwirkenden Kraft ist. Die Erfassung der Messgrösse ist also nicht abhängig von Dehnung und Auslenkung wie dies bei anderen Technologien der Fall ist. Die Dimension des Quarzelementes bestimmt dabei lediglich die maximal zulässige Amplitude der Messgrösse. Ein grosser Sensor erzeugt demnach ein vergleichbares Signal wie ein gleich aufgebauter kleinerer Sensor. Über den nachgeschalteten Verstärker wird dann der erforderliche Messbereich eingestellt, wodurch die präzise Messung mit nur einem Sensor über mehrere Dekaden möglich wird, ohne den mechanischen Aufbau zu verändern. Kistler bietet auch piezoelektrische Kraftaufnehmer mit einem ICP®- Ausgang, die das Rohsignal bereits im Sensor in eine Ausgangsspannung von 5 oder 10 Volt wandeln.

Durch die enorm hohe Steifheit des Kristalls sind die Messwege entsprechend klein. Sie liegt meist im Bereich mehrerer Kilonewton pro Mikrometer, woraus eine hohe Eigenfrequenz des

Messsystems resultiert. Dies ist gerade bei hochdynamischen Prozessen ein wesentliches Kriterium. Hinzu kommt, dass Quarz und Kristalle keine Ermüdung oder Langzeiteffekte wie Nullpunktverschiebungen oder Linearitätsänderungen aufweisen. Limitierend für den Einsatz piezoelektrischer Sensoren kann in einigen Fällen die aus physikalischen Gründen auftretende Ladungsdrift sein. Je nach Amplitude der Messgrösse und Auslegung der Messtechnik kann dennoch über mehrere Minuten oder sogar Stunden hinweg quasistatisch gemessen werden.

Mit der von Kistler entwickelten Quarzsensortechnologie lassen sich dynamische Kräfte sowohl direkt als auch indirekt messen. Bei der direkten Messung liegt der Sensor voll im Kraftfluss (1) und misst die ganze Kraft. Das ergibt eine hohe Messgenauigkeit, die nahezu unabhängig vom Angriffspunkt der Kraft ist. Kann der Sensor nicht direkt in den Kraftfluss platziert werden, misst der Sensor nur einen Teil der Kraft (3) und der Rest fliesst über die Einbaustruktur, den so genannten Kraftnebenschluss, ab. Bei indirekter Kraftmessung wird mit Dehnungssensoren die Prozesskraft indirekt über die Strukturdehnung (2) gemessen.

### Anwendungen in Forschung und Industrie

Neben den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind auch die Einbaubedingungen zunehmend entscheidend. Abmessungen sind häufig ein entscheidender Punkt bei der Auswahl eines Kraftaufnehmers. Quarzsensoren sind ausserordentlich stabil, robust und kompakt und erlauben oftmals den Einbau an Messpunkten, wo andere Technologien gar nicht eingesetzt werden können. Daher sind sie nicht mehr nur in der Forschung und Entwicklung, sondern zunehmend auch in Produktionsbereichen und industrieller Prüftechnik weit verbreitet.

Eine langzeitstabile, dynamische Kraftmessung ist beispielsweise bei den Alterungs- und Belastungsuntersuchungen an Kraftfahrzeugkomponenten erforderlich – also unter anderem bei Druck-, Zug-, Aufprall- sowie Daueruntersuchungen an Schlössern, Türen, Motorhauben, Kofferraumdeckeln, Sitzen, Federn, etc. Quarz-Kraftaufnehmer sind in dieser Hinsicht anderen Aufnehmern überlegen, da Quarz keine Alterserscheinungen zeigt und damit auch die Kalibrierungen vorwiegend auf in Qualitätssicherungssystemen wie der DIN EN ISO 9001:2015 geregelten Zyklen beschränkt werden können. Diese Umstände schlagen sich zeit- und kostensparend in der Gesamtrechnung nieder. Quarz-Kraftaufnehmer bieten demnach bei gewissen Anwendungen sowohl diverse technische Vorteile als auch den Vorteil von markanten Kosteneinsparungen dank ihrer tieferen Lebenszykluskosten.

Neben der dynamischen Kraftmessung, wie beim Stanzen von Blechteilen, finden piezoelektrische Kraftsensoren auch ihre Anwendung bei quasistatischen Vorgängen, zum Beispiel beim Einpressen von Lagern in Motorblöcken, wo die Prozesskräfte zuverlässig aufgelöst werden können während beim Auftreten von Kraftspitzen, die herkömmliche Messsysteme dauerhaft zerstören können, trotzdem keine Beschädigungen an der Messtechnik auftreten.

Für die Analyse und Dokumentation beim Spritzgiessen stellen die Systeme von Kistler optimale Lösungen zur Qualitätssicherung dar: Als aussagekräftigste Prozessgrösse beschreibt der Werkzeuginnendruck die Bedingungen unmittelbar während der Entstehung des Formteils. Auf Basis des Werkzeuginnendrucks erkennen Sensoren und Systeme demnach frühestmöglich, ob gerade Gutteile oder Ausschussteile entstehen.

### Systemlösungen für prozessintegrierte Qualitätssicherung

Damit die von den hoch empfindlichen Piezo-Sensoren erfassten Daten auch nutzbar sind, werden diese in entsprechenden Monitorsystemen visualisiert, bewertet und dokumentiert. Aufgrund der Integration dieser Messsysteme in den Produktionsablauf, können Produktionsfehler frühzeitig erkannt werden und damit reduziert sich der mögliche finanzielle Schaden durch Fehlteile.

Das Monitorsystem maXYmos von Kistler erlaubt die zuverlässige Überwachung von Herstellungsprozessen in der Montagetechnik und ermöglicht eine Optimierung der Produktion in Richtung Null-Fehler Produktion bei maximaler Kosteneffizienz. Das System zeichnet sich vor allem auch durch seine besondere Flexibilität und die benutzerfreundliche Bedienungsoberfläche aus. Neben automatisierten Füge- und Einpressprozessen kann es auch bei manuellen Prozessen, wie handbetriebenen Pressvorgängen, eingesetzt werden. Kistler Sensoren und XY-Monitore kommen aber nicht nur bei der Fertigung und Montage, sondern auch bei der Überprüfung der Funktionalität des Endprodukts zum Einsatz. Dank dieser Vielseitigkeit werden Kistlers XY-Monitore den Anforderungen all jener Industrien gerecht, für die Qualitätssicherung zunehmend in den Vordergrund rückt.

## Erhöhte Wirtschaftlichkeit im Fokus

In Europa, den USA, in Asien und damit weltweit, kommen die piezoelektrischen Sensoren samt den dazugehörigen Überwachungssystemen von Kistler zum Einsatz. Innerhalb der Fertigungskette von produzierenden Unternehmen sorgt die auf dem piezoelektrischen Prinzip beruhende Sensortechnologie für eine markante Erhöhung der Prozesssicherheit sowie für eine nachhaltige Produktivitätssteigerung – und macht damit den Weg frei zu einer Null-Fehler-Produktion sowie zu einer maximalen Prozesseffizienz. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht schafft die hochpräzise Technologie vor allem eines; die solide Basis für wirtschaftlichen Erfolg in einem global hart umkämpften Markt.

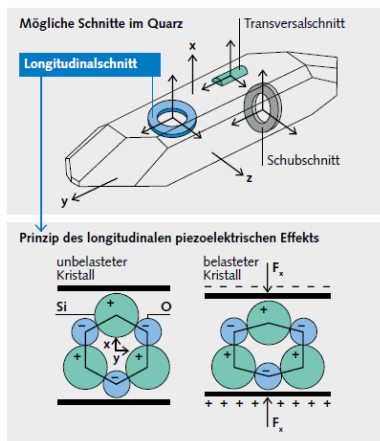


Bild 1:

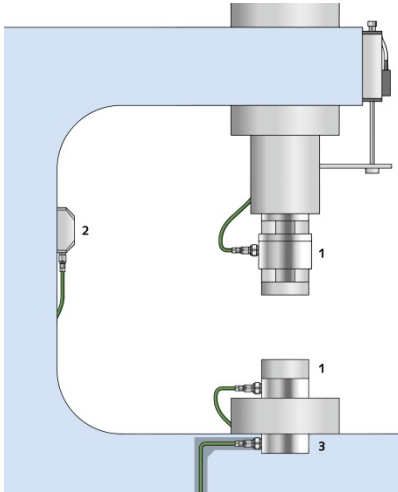


Bild 2:



Bild 3:

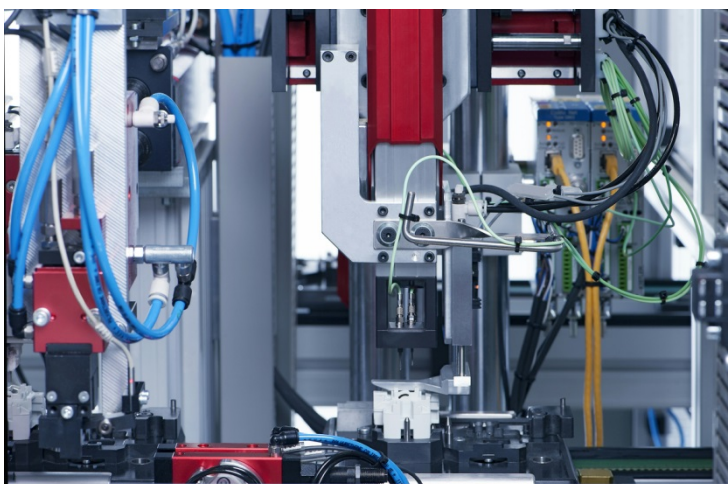


Bild 4



Bild 5

### Legende:

Bild 1: Mit dem Quarzkristall lässt sich der piezoelektrische Effekt besonders gut nutzbar machen: Es erzeugt bei mechanischer Belastung ein Ladungssignal, das direkt proportional ist zur einwirkenden Kraft.

Bild 2: Abhängig von der Einbausituation stehen verschiedene Sensoren zur Verfügung, die eine optimale Produktionsüberwachung ermöglichen: 1. Direkte Messung (Die gesamte Prozesskraft geht durch den Sensor), 2. Indirekte Messung (Ein kleiner Teil der Kraft geht durch den Sensor), 3. Nebenschluss-Messung (Kraft wird indirekt über die Aufbiegung des C-Gestells gemessen)

Bild 3: Die XY-Monitore maXYmos können die Qualität eines Produktes oder Fertigungsschrittes anhand eines Kurvenverlaufs überwachen und bewerten. Mithilfe von Bewertungselementen passt der Anwender die Kurvenauswertung an die individuelle Überwachungsaufgabe an.

Bild 4: Platzsparende, kompakte Bauweise der Kleinkraftsensoren für optimale Integration ins Maschinendesign.

Bild 5: Mit seinem besonders geringen Durchmesser von nur 8 mm ergänzt der Messdübel die breite Palette an Kistler Dehnungssensoren geradezu perfekt.

### Über die Kistler Gruppe

Kistler ist Begründer der piezoelektrischen Messtechnik und führend in der dynamischen Messung von Druck, Kraft, Drehmoment und Beschleunigung. Spitzentechnologien bilden die Basis der modularen Systeme und Services von Kistler.

Als erfahrener Entwicklungspartner ermöglicht Kistler seinen Kunden in Industrie, Forschung und Entwicklung, ihre Produkte und Prozesse zu optimieren und nachhaltige Wettbewerbsvorteile zu schaffen. So prägt das inhabergeführte schweizerische Unternehmen die Automobilentwicklung und Industrieautomation sowie zahlreiche aufstrebende Branchen mit innovativer Sensortechnologie. Mit einem breiten Anwendungswissen und der absoluten Verpflichtung zu Qualität treibt Kistler Innovationen in Leichtbau, Fahrzeugsicherheit, Emissionsreduktion und Industrie 4.0 voran.

Rund 1 500 Mitarbeitende an 56 Standorten weltweit widmen sich der Entwicklung neuer Messlösungen und bieten individuelle anwendungsspezifische Unterstützung vor Ort. Seit der Gründung 1959 wächst die Kistler Gruppe gemeinsam mit ihren Kunden und erzielte 2015 einen Umsatz von 329 Mio. CHF. Rund 10 % davon fließen zurück in Innovation und Forschung – und damit in bessere Ergebnisse für alle Kunden.

### Über den Autor

Matthias Giese ist Leiter des Geschäftsfeldes Production Monitoring bei der Kistler Instrumente AG in Winterthur, Schweiz. Herr Giese verfügt über eine langjährige Erfahrung im Bereich der piezoelektrischen Kraftmessung und deren Anwendung im Zusammenhang mit XY-Monitoring Systemen. Die Monitoring Systeme sind eine Schlüsselkomponente für eine 100% Qualitätssicherung bei den Kunden des Geschäftsfeldes, die sich zu einem grossen Teil aus direkten oder indirekten Lieferanten der Automobilindustrie zusammensetzen.

## Leser Kontakt

Matthias Giese

Leiter des Geschäftsfeldes Production Monitoring

Phone: +41 52 224 16 25

E-Mail: [matthias.giese@kistler.com](mailto:matthias.giese@kistler.com)

## Medien Kontakt

Simone Koch

Divisional Marketing Manager IPC

Phone +41 52 2241 802

E-Mail: [simone.koch@kistler.com](mailto:simone.koch@kistler.com)

## Kistler Gruppe

Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur  
Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11  
Fax +41 52 224 14 14  
[info@kistler.com](mailto:info@kistler.com)

ZKB Winterthur BC 732  
Swift: ZKBKCHZZ80A  
Konto: 1132-0374.628

IBAN: CH67 0070 0113 2003 7462 8  
MwSt. Nr.: 229 713  
ISO 9001 zertifiziert