

DLR_School_Lab

Braunschweig

Schwingungs- bekämpfung durch Piezos:

Kleine Elemente ganz groß

Schon mal was vom Piezoeffekt gehört? Nein? Dann wird es aber höchste Zeit, denn egal ob Quarzuhr oder Feuerzeug – es steckt dieser Piezoeffekt drin. Piezoelektrische Materialien – kurz Piezos – verrichten heute in vielerlei technischen Anwendungen nahezu unbemerkt, weil klein und geräuschlos, dabei aber sehr genau, die ihnen zugeordneten Aufgaben.

Sie sorgen im Feuerzeug für den zündenden Funken, dienen in einer Quarzuhr als präziser Taktgeber und können Bewegungen erfühlen. Warum sind barometrische Höhenmesser heute so genau? Ein Modellhubschrauber kann stabil durch die Luft fliegen, indem die Elektronik die notwendigen durch die Piezos erkannten Abweichungen korrigiert. Überall wirken diese Piezozwerge als Sensoren für die physikalischen Größen Kraft, Beschleunigung und Druck.

Piezoelektrische Materialien erobern unseren Alltag

Piezokeramiken können aber auch selbst aktiv werden und sogar als Piezolausprecher Schallwellen im Ultraschallbereich erzeugen. Druckköpfe in Tintenstrahldruckern und Kraftstoff-Einspritzdüsen bei Automotoren nutzen zur Ventilsteuerung ebenfalls die Piezotechnologie.

Dass durch geschickten Einsatz dieser Materialien noch viel mehr möglich ist, zeigt euch im DLR_School_Lab Braunschweig der Versuch zur aktuellen Adaptronik-Forschung.

Adaptronik ist eine Wortschöpfung, die aus den Worten **Adaption** (= Anpassung) und **Elektronik** entstanden ist.

Piezomaterialien erzählen, was sie fühlen. Aber warum funktioniert das so gut?

Grundprinzip des piezoelektrischen Effekts ist die Umwandlung mechanischer Impulse in elektrische Signale. Die Tatsache, dass ein Turmalinkristall bei mechanischer Verformung an den Kristalloberflächen unterschiedliche Ladungen und eine damit messbare elektrische Spannung erzeugt, wurde schon früh, u. a. 1880 von den Gebrüdern Jacques und Pierre Curie, entdeckt. Heute werden meist industriell erzeugte Materialien aus Keramik, sogenannte Piezokeramiken (PZT oder PMN), verwendet. Werden durch mechanische Verformungen elektrische Spannungen erzeugt, so spricht man vom direkten piezoelektrischen Effekt. Man kann den Effekt aber auch in der entgegengesetzten Richtung nutzen:

Legt man eine Spannungsquelle an einen Piezoquarz oder eine Piezokeramik an, kann diese zu bestimmten richtungsabhängigen Längenänderungen gebracht werden. Dieser Effekt wird in vielen Situationen ausgenutzt, insbesondere dort, wo Schwingungen Lärm erzeugen.

Wie kann man Lärm verhindern?

Vor unerträglicher Lautstärke schützen wir uns durch Schallschutzwände oder Ohrstöpsel. Doch wer hat sich nicht schon mal eine „Lärmverhinderungsmaschine“ gewünscht, wenn Bruder oder Schwester mal wieder die Stereo-Anlage zu laut aufdrehen?

Lärm entsteht, wenn ein Körper oder Teile davon in Schwingung geraten. Der Lautsprecher an der Musikanlage eures Bruders oder eurer Schwester wird an seiner Membran gezielt in Schwingung versetzt. Weil sie durch Schallwellen wiederum das Trommelfell in Schwingung versetzt, könnt ihr die Schwingung als Musik hören. Ist die Schwingung besonders intensiv, kann man sie sogar fühlen. Das kennen wir, wenn große Maschinen durch ihre Motoren in Schwingung geraten und wir uns dann unwohl fühlen. Um gegen den Lärm vorzugehen, muss die Schwingung beeinflusst werden. Man kann den Lärmpegel verändern, indem man den Körper mit der gleichen, aber entgegengesetzten Schwingung künstlich anregt. So lässt sich im besten Fall ein Geräusch ganz zum Verstummen bringen – selbst die nervige Musik aus dem Nachbarzimmer.

Wie funktioniert nun so eine Piezokeramik?

Aufbau eines Piezomoduls

Die Ober- und Unterseite der Piezokeramik ist mit einer sogenannten Elektrodiene bedampft. Dadurch entsteht eine vollflächige Elektrode. Zur Kontaktierung der Elektrode wird ein dünnes Metallnetz aufgebracht, welches selbst bei Bruch der Keramik den Funktionsausfall des Moduls verhindert. Zur Isolierung und Stabilisierung sind die Keramik und das Metallnetz von einem Kunststoffmantel umgeben.

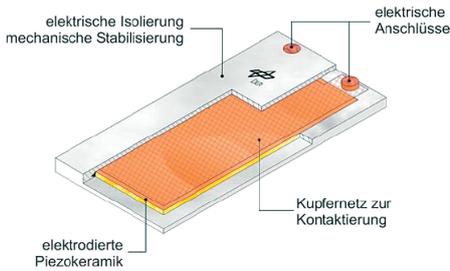
Wie kann nun ein eigentlich elektrisch nicht leitendes Material eine Spannung erzeugen?



Grüner Turmalin auf Bergkristal

© K.-C. Lyncker, Hamburg

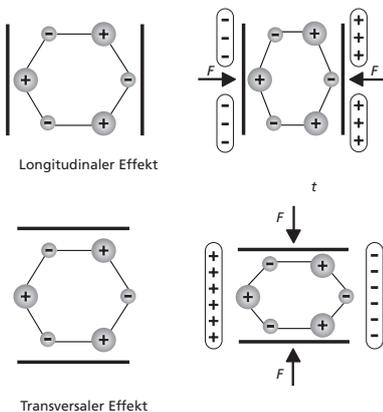
Aufbau eines Piezomoduls



Das Geheimnis liegt in der Anordnung der Atome, die die Struktur des Kristalls oder der Keramik bilden. Liegen die positiv und negativ geladenen Atome in einem asymmetrischen Gitter, so bewirkt eine Verschiebung der Atomrümpfe durch äußeren Druck auch eine Verschiebung der positiven und negativen Ladungszentren entlang der polaren Achse. Je weiter sich diese von einander entfernen, desto größer wird die an den gegenüberliegenden Oberflächen auftretende elektrische Spannung. Damit hat man eine physikalische Größe an der Hand, die sehr präzise die durch äußere Einflüsse verursachten mechanischen Veränderungen der Piezomaterialien anzeigt.

Verschieben sich die Ladungszentren entlang der Achse des Kristalls, spricht man von einer anisotropen Anordnung der Atome im Gitter, d. h. die physikalischen Eigenschaften sind je nach Richtung unterschiedlich.

Transversaler Effekt Kräfte senkrecht zur polaren Achse



Werden mit Piezomaterialien mechanische Kräfte in elektrische Spannungen umgewandelt, so spricht man von Sensoren. Im umgekehrten Fall, wenn nämlich das Anlegen eines elektrischen Feldes eine Längenänderung bewirkt, nennt man das piezoelektrische Bauteil einen Aktor.

Steuern, Regeln – was ist der Unterschied?

Die Aktoren brauchen Kommandos, um gegen die unerwünschte Schwingung anzuarbeiten. Dazu muss das Schwingungsverhalten des Balkens, d. h. die Anregungsfrequenz, bekannt sein. Durch rechtzeitige Ansteuerung kann man die Aktoren zur synchronen Gegenschwingung bringen und damit theoretisch die völlige Beruhigung des Balkens erreichen. Man spricht in diesem Fall von einer Steuerung.

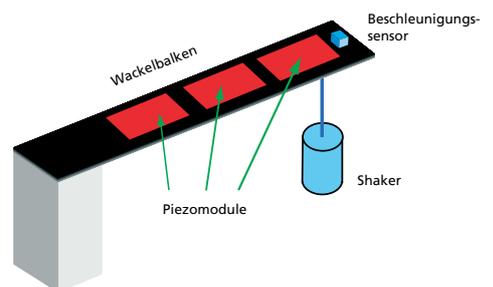
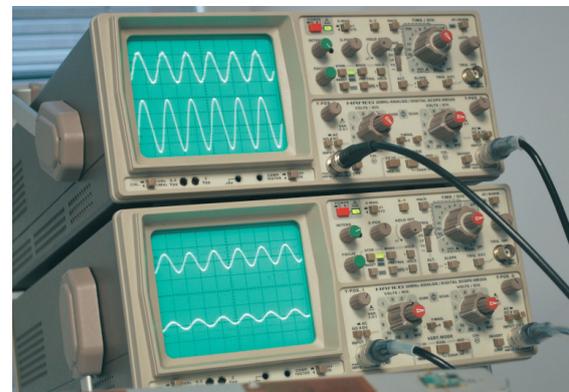
Oft ist aber die Anregungsfrequenz nicht bekannt. Für diesen Fall muss erst das Schwingungsverhalten gemessen, auf elektronischem Wege verarbeitet und dann wieder zurückgeführt werden, bevor sie auch in diesen Fällen die Schwingungen dämpfen können. Man nennt dieses Verfahren Regelung.

Versuchsdurchführung

Auf einem „Wackelbalken“ sind drei Piezomodule aufgebracht. Der Balken wird durch einen elektromechanischen Schwingungserreger (Shaker) in Schwingung versetzt. Die aufgeklebten Piezomodule können die Schwingung wahrnehmen und zur Auswertung auf einem Oszilloskop sichtbar machen. Sie arbeiten so zunächst als Sensoren. Werden Piezokeramiken elektrisch angesteuert, werden sie zu Aktoren. Bei Änderung der angelegten Spannung dehnen sie sich aus oder ziehen sich bei entgegengesetztem Vorzeichen der Spannungsänderung wieder zusammen und bewirken so eine Biegung des Balkens.

Um in dem Versuch den Balken zu beruhigen, muss zunächst sein Schwingungsverhalten analysiert werden. Dazu stehen mehrere Sensoren zur Verfügung, die helfen, die Eigenfrequenz und die Kräfte im Balken zu erkennen. So wird es mit den richtigen Aktoren gelingen, die Schwingung zu dämpfen oder sogar völlig zu beruhigen. Damit die Aktoren die richtigen Signale bekommen, ist noch ein geeigneter Regel- oder Steuerkreis einzurichten. In dem Versuch wird eindrucksvoll demonstriert, wie eben noch schwingende Bauteile zur vollständigen Ruhe gebracht werden können.

Schwingungsbekämpfung > Piezoelektrische Materialien



Glossar

Piezo

Piezo kommt aus dem Griechischen: piezein = drücken; piezo = ich drücke

Kristall

Ein Kristall ist ein Körper mit einer dreidimensionalen periodischen Anordnung von Teilchen auf der atomaren Ebene.

Isotrop

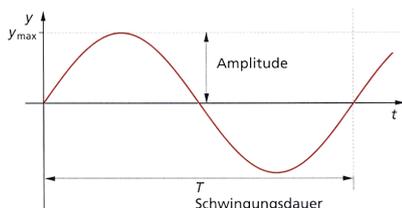
Physikalische Eigenschaften sind in allen Richtungen des Materials im Körper gleich.

Anisotrop

Physikalische Eigenschaften je nach Richtung im Material des Körpers unterschiedlich.

Harmonische Schwingung

Ein Beispiel für eine harmonische Schwingung ist eine Sinuskurve. Es existiert eine rückstellende Kraft, die proportional zur Auslenkung aus dem Gleichgewichtszustand ist und das System am Schwingen hält.



Frequenz

Eine wichtige physikalische Größe zur Beschreibung von Schwingungen. Sie stellt die regelmäßige Anzahl von Ereignissen innerhalb eines bestimmten Zeitraums dar. In der Akustik erzeugen Schwingungen mit hoher Frequenz hohe Töne, tiefe Frequenzen tiefe Töne. Die Dimension der Frequenz ist $1/\text{Zeit}$ ($1/s$) wofür die Einheit Hertz (Hz) verwendet wird.

Amplitude

Der maximale Ausschlag bei einer Schwingung. Bei Schallwellen ist die Amplitude für die Lautstärke eines Tons verantwortlich.

Phase

Zeitliche Entfernung eines Schwingungszustandes vom festgelegten Anfangswert. Zwei Schwingungen mit unterschiedlicher Phase haben eine Phasenverschiebung (angegeben als Zeit oder Winkel). Bei genau gegenläufiger Phase ansonsten gleicher Schwingungen tritt Auslöschung ein.

Eigenfrequenz

Frequenz mit der ein schwingungsfähiges System nach einmaliger Anregung selbstständig weiterschwingt. Für sie verwendet man üblicherweise das Formelzeichen f_0 .

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR-Standort Braunschweig

Die Aktivitäten in den DLR-Standorten Braunschweig und Göttingen konzentrieren sich auf die Geschäftsfelder Luftfahrt und Verkehr. Am Forschungsflughafen in Braunschweig setzt das DLR mit etwa 1000 hochqualifizierten Mitarbeitern die Tradition der 1936 gegründeten Deutschen Forschungsanstalt für Luftfahrt (DFL) fort.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

DLR_School_Lab Braunschweig
Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Leitung Dr. Anke Kovar
Telefon 0531 295-2190
Telefax 0531 295-2195
E-Mail schoollab-bs@dlr.de

www.DLR.de/dlrschoollab