

5.5 Piezokeramik – Technik und Anwendungen

- Andreas Schmid
Siemens AG Power Generation Ceramics
Redwitz

Die Folien finden Sie ab Seite 470 .

Piezokeramische Systeme – Physikalische Eigenschaften und Anwendungen

Einleitung

Der piezokeramische Effekt verknüpft elektrische und mechanische Größen miteinander. Piezoelektrik ist die Umwandlung von mechanischer Verformung in elektrische Signale und umgekehrt. Aufgrund des Sensor- und Aktorverhaltens der Piezokeramik ergibt sich eine Vielzahl von unterschiedlichsten Anwendungsmöglichkeiten. Die Anwendungsfelder finden sich in allen Bereichen der Elektrotechnik, des Maschinenbaus, der Akustik, der Automatisierungstechnik, der Nachrichtentechnik, der Informationstechnologie, des Automobilbaus, des Konsumerbereichs und in unzähligen weiteren Einsatzgebieten der Industrie und des täglichen Lebens. Zur Anwendung kommen piezokeramische Formteile, piezokeramische Aktoren und Sensoren sowie komplexe Baugruppen und Systeme. Die Vielzahl der technischen Lösungen wurde möglich durch die Entwicklung von hocheffektiven für den technischen Einsatz optimierten kostengünstigen piezokeramischen Werkstoffen.

Grundlagen zur Piezoelektrizität

Das erste grundlegende physikalische Verständnis der Piezoelektrizität wurde von den Brüdern Pierre und Jacques Curie im Jahre 1880 entwickelt. Sie stellten fest, dass bei Turmalinkristallen ein gerichteter mechanischer Druck auf den Außenflächen des Kristalls an den

gegenüberliegenden Flächen eine dazu proportionale ungleichnamige Oberflächenladung erzeugt.

Der inverse piezoelektrische Effekt wurde von M. G. Lippmann im folgendem Jahr aufgrund von thermodynamischen Überlegungen vorausgesagt und von den Brüdern Curie auch anschließend experimentell bestätigt.

Direkter und reziproker piezoelektrischer Effekt

Unter der Piezoelektrizität ferroelektrischer Materialien versteht man eine lineare elektromechanische Wechselwirkung zwischen den mechanischen und den elektrischen Zuständen eines Kristalls.

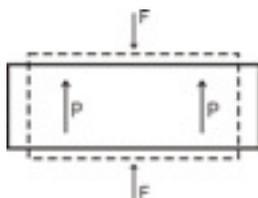


Bild 1: Direkter piezoelektrischer Effekt. Eine äußere Kraft verursacht durch Deformation eine ungleichnamige Oberflächenladung.

Der direkte piezoelektrische Effekt tritt dann auf, wenn eine mechanische Deformation des Kristalls von einer hierzu proportionalen Änderung der elektrischen Polarisation und einer entsprechenden Ladungsverschiebung begleitet wird. Hieraus resultiert die technisch nutzbare ungleichnamige Oberflächenladung.

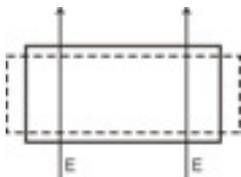


Bild 2: Inverser piezoelektrischer Effekt. Ein äußeres elektrisches Feld verursacht eine Deformation.

Der reziproke oder inverse piezoelektrische Effekt zeichnet sich durch eine innere mechanische Spannung des Kristalls aus, welche proportional zu einem äußeren, die mechanische Spannung verursachendem elektrischen Feld ist. Aus den inneren Spannungen resultiert die Deformation des Kristalls.

Veranschaulicht deformiert beim piezoelektrischen Effekt eine äußere Kraft F den Kristall und bewirkt hierbei eine elektrische Polarisation P . Beim reziproken oder inversen piezoelektrischen Effekt erzeugt ein äußeres elektrisches Feld eine mechanische Spannung, welche den Kristall deformiert.

Perowskit Kristallstruktur

Die heutzutage gängigsten piezoelektrischen Materialien werden auf der Basis des ferroelektrischen Kristalls Bleizirkonattitant $Pb(Zr_x Ti_{(1-x)})O_3$ hergestellt. Für die Herstellung einer Keramik wird das piezoelektrische Material in polykristalliner Form verarbeitet. Die beiden gebräuchlichsten Herstellungsverfahren für Piezokeramiken sind das Pressverfahren und das Foliengießverfahren. Bei der Presstechnik wird ein Block des Piezomaterials in einer Form gepresst und anschließend gebrannt und weiterverarbeitet. Bei der Foliengießtechnik wird das Piezomaterial auf eine Folie gegossen, gestanzt und anschließend gebrannt. Typische Brenntemperaturen liegen zwischen 1.200° und 1.300° Celsius. Bleizirkonattitant und andere piezoelektrische Materialien besitzen eine perowskitische Kristallstruktur.



Bild 3: Perowskit Kristallstruktur von Bleizirkonattitanat Oberhalb und unterhalb der Curietemperatur.

Oberhalb der Curie-Temperatur besitzen die Elementarzellen des perowskitischen Kristalls eine kubische Form. Der Kristall besitzt ein Symmetriezentrum. Es ist kein piezoelektrischer Effekt feststellbar. Die Schwerpunkte der positiven und negativen Ladungen liegen im Zentrum der Elementarzelle des Kristalls. Unterhalb der Curie-Temperatur tritt spontane Polarisation auf.

Die Einheitszelle des Kristalls besitzt eine tetragonale oder rhomboedrische Form. Diese spontane Polarisation setzt sich zum größten Teil aus einer Verschiebung der Elektronenwolken gegenüber den Atomrümpfen und zu einem kleineren Teil aus der Verschiebung der positiv geladenen Ionen gegenüber den negativ geladenen Ionen zusammen. Diese beiden Polarisationen besitzen dementsprechend die Bezeichnung Elektronen- und Ionenpolarisation.

Die Ursache für die Polarisation unterhalb der Curie-Temperatur ist die energetisch günstigere Verschiebung der Ionen zueinander. Hierbei geht das Symmetriezentrum des kubischen Kristallgitters verloren. Die Kristallsymmetrie wird durch den Übergang in die ferroelektrische Phase stets erniedrigt. In jeder Elementarzelle des Kristallits entsteht ein elektrischer Dipol.

Besonders zu beachten ist, dass sich diese Dipole gegenseitig beeinflussen und spontan Bereiche mit einheitlicher Ausrichtung bilden. Die-

se Bereiche werden in Analogie zum Magnetismus als Domänen bezeichnet. Benachbarte Domänen innerhalb eines Kristalls stehen sich in ihrer Polarisationsrichtung in einem Winkel von 90° oder 180° gegenüber. Man spricht deshalb auch von einer 90° - und 180° -Domänenstruktur. Jeder Domäne hat sein eigenes Dipolmoment. Die Wertigkeit der spontanen Polarisation des einzelnen Bereichs ergibt sich bei Division durch das Volumen der Domäne. In einem makroskopischen Kristall oder einer polykristallinen Keramik sind die Orientierungen der resultierenden Dipolmomente nach der spontanen Polarisation und Ausbildung von Domänen bei Unterschreiten der Curie-Temperatur statistisch verteilt. Somit zeigt der makroskopische Körper keine Polarisation und damit auch keinen technisch nutzbaren piezoelektrischen Effekt.

Eine Erklärung für die Ursache der Domänenbildung ist die dadurch bedingte Verringerung der freien Energie und die Reduzierung des elektrischen Streufelds. Die Aufteilung in Domänen kann jedoch nicht unbegrenzt fortgesetzt werden, weil für die Bildung der Domänenwände eine bestimmte Energie erforderlich ist und die Summe der Streufeld- und Wanderenergien der Domänenwände minimal bleiben muss.

Hystereseverhalten von Piezokeramiken

Eine polykristalline ferroelektrische Piezokeramik erhält erst durch einen Polarisationsprozess ihre technisch relevanten piezoelektrischen Eigenschaften. Die Domänen der Ferroelektrika verursachen die nicht linearen Eigenschaften der piezoelektrischen Kristalle. Die nicht lineare Abhängigkeit der Polarisation von der elektrischen Feldenergie führt zum Hystereseverhalten der piezoelektrischen Materialien. Durch Anlegen eines elektrischen Feldes an die Keramik erfolgt eine Vergrößerung der Domänenbereiche in Abhängigkeit der Ausrichtung der Polarisation. Bereiche, deren Polarisation in Feldrichtung ausgerichtet ist, wachsen an. Bereiche, in denen die Polarisation nicht der Feldrichtung entspricht, werden von Bereichen mit Polarisationsrichtung in Feldrichtung verdrängt.

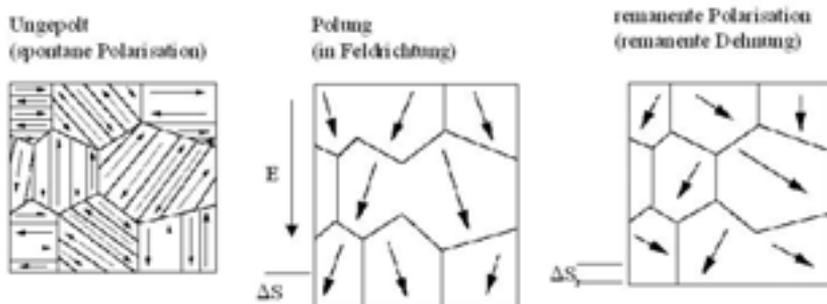


Bild 4: Schematischer Gefügebau einer Bleizirkonattitanatkeramik mit Domänen. Dargestellt ist der ungepolte Zustand nach der spontanen Polarisation, der Zustand während der Polung und die remanente Polarisation.

Das Anwachsen bzw. Verringern der Bereiche geschieht umso schneller, je näher oder weiter weg die Polarisation des Bereiches in Richtung des äußeren elektrischen Feldes ausgerichtet ist. Bei zunehmender Feldstärke besteht der Kristallit letztendlich ab einer gewissen Feldstärke nur noch aus einer einzigen Domäne. Diese Domäne zeichnet sich dadurch aus, dass ihre ursprüngliche Polarisation der äußeren Feldrichtung am nächsten gekommen ist. Bei weiter anwachsendem elektrischen Feld erfolgt letztendlich ein Ausrichten des resultierenden Dipols in Feldrichtung. Die Sättigungspolarisation P_S ist erreicht. Für eine noch nicht polarisierte Keramik entspricht der Verlauf des Polarisationsvorgangs dem Graphen der Neukurve in Bild 5.

Bei Abschalten des elektrischen Feldes bleibt das Dipolmoment der Domäne jedoch nicht vollständig in Feldrichtung stehen, da die Dipolmomente an bestimmte Vorzugsrichtungen in den einzelnen statistisch verteilten Kristalliten der Keramik gebunden sind. Die resultierende Polarisation der Keramik heißt remanente Polarisation P_R und die physikalische Eigenschaft Remanenz. Am Domänenmodell lässt sich für das einzelne Kristallit veranschaulichen, warum eine remanente Polarisation erhalten bleibt. Für die statistisch verteilten Kristallite ist die Vorzugsrichtung ihres bei Sättigungspolarisation in Feldrichtung ausgerichteten Dipolmoments statistisch bedingt nicht immer identisch mit der Feldrichtung. Wird das äußere Feld abgeschaltet, so richtet sich das Dipol-

moment der Domäne in seine Vorzugsrichtung aus. Des Weiteren ist für den Kristallit nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik eine Zunahme der Entropie zu erwarten. Dem Bestreben der Zunahme der Entropie folgt eine Zunahme von Domänen mit Polarisierungen, deren Richtung nicht der ursprünglichen äußeren Feldrichtung entspricht. Dieser Vorgang wird aber durch Störstellen im Kristallit verzögert. Für das Entstehen von neuen Domänen ist es nötig, dass sich die bestehenden Domänen verkleinern. Hierzu müssen die Domänenwände bewegt werden. Diese benötigen eine bestimmte Energie, um über die Störstellen hinwegzuwandern. Diese Energie muss dem Kristall oder der Umgebung entnommen werden. Aus statistischen Überlegungen lässt sich zeigen, dass die maximal mögliche remanente Polarisation höchstens dem 0,86-fachen der Sättigungspolarisation P_S entspricht. Um die remanente Polarisation wieder aufzuheben, ist die Zufuhr von Energie nötig. Die Zufuhr der Energie kann durch ein äußeres elektrisches Feld erfolgen, dessen Richtung der ursprünglichen Feldrichtung entgegengesetzt ist. Die hierfür nötige Feldstärke wird Koerzitivfeldstärke E_C genannt.

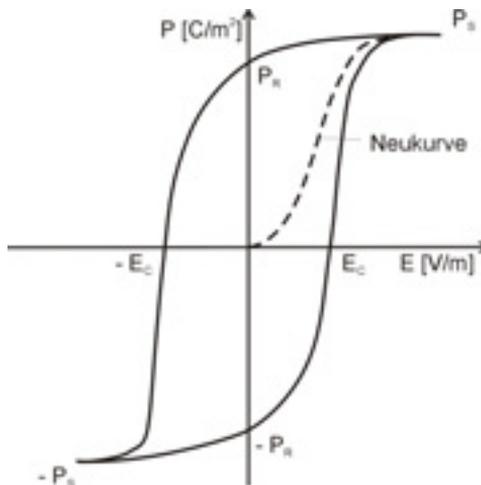


Bild 5: Hysteresekurve von piezoelektrischen Keramiken. Die gestrichelte Linie zeigt die Neukurve, welche den Verlauf für den Fall, dass das Material noch nicht polarisiert wurde, darstellt.

Wird ein hinreichend großes alternierendes elektrisches Feld an die Piezokeramik angelegt, so wird das Material laufend umpolarisiert und es ergibt sich für die Polarisierung als Funktion der Feldstärke eine für das jeweilige Material charakteristische Hystereseschleife (Bild 5).

Piezoprodukte

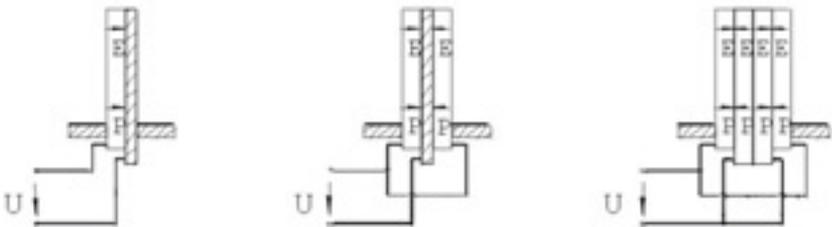
Die heutigen Anwendungen in der Technik, Industrie und im Konsumbereich erfordern eine Vielzahl von unterschiedlichsten piezokeramischen Formteilen, Bauelementen und Systemen. Die Anwendungen und Herstellungstiefen von piezokeramischen Produzenten kann man grob in drei Bereiche zergliedern. Anwendungen welche ausschließlich durch piezokeramischen Formteile realisiert werden können. Piezokeramische Bauelemente und piezokeramische Baugruppen.

Standardmäßig werden heute piezokeramische Scheiben, Platten, Streifen, Ringe, Kalotten, Röhrchen und eine Vielzahl von Sondergeometrien gefertigt. Zum Teil werden die piezokeramischen Formteile direkt am Markt abgesetzt. Ein erheblicher Teil wird jedoch weiterverarbeitet zu piezokeramischen Bauelementen wie Aktoren und Sensoren. Die piezokeramischen Aktoren und Sensoren finden Verwendung in der Textilindustrie, der Robotik, Pneumatik, Medizintechnik, Automatisierungstechnik und in vielen weiteren Bereichen der Industrie und im Konsumermarkt. Ein Teil der piezokeramischen Sensoren und Aktoren wird weiterveredelt zu komplexen Systemen oder Baugruppen. Bei diesen Systemen sind die piezokeramischen Komponenten nur noch eine von vielen Bausteinen. Beispiele hierfür sind komplexe piezokeramische Module für die Textilindustrie, Ultraschallmesssysteme für die Medizintechnik und für die exakte Bestimmung von Tankinhalten in petrochemischen Raffinerien, Ultraschallzerstäuber für Luftbefeuchter oder Medizintechnik sowie Multilayeraktoren für Diesel- und Benzin-direkteinspritzung im Automobilbau.

Aufbautechniken und Vorteile von Piezoaktoren

Werden zwei Piezokeramikplatten mit einem Trägermaterial verklebt und wechselseitig entgegengesetzt angesteuert, erhält man, ähnlich wie beim Bimetall eine starke Verbiegung des Verbundes.

Der typische piezokeramische Biegewandler ist eine Kombination aus einer oder zwei piezokeramischen Komponenten in Single- oder Multilayertechnologie mit oder ohne Zwischenlage. Aktoren mit passiver Lage und piezokeramischer Komponente bezeichnet man als Monomorph oder Unimorph. Ein System aus zwei piezokeramischen Komponenten und einer passiven Zwischenlage bezeichnet man als Trimorph. Ein Bimorph besteht aus zwei piezokeramischen Keramiken. Ein Multimorph besitzt keine passive Zwischenlage.



Monomorph

Trimorph

Multimorph

Bild 6: Aufbauvarianten von piezokeramischen Biegewandlern. Der typische Biegewandler besteht aus ein oder zwei piezokeramischen Platten mit oder ohne Zwischenlage.

Ist die Piezokeramik aus einer Schicht aufgebaut spricht man von Singlelayertechnologie. Ist die piezokeramische Komponente aus mehreren aktiven piezokeramischen Schichten aufgebaut spricht man von einer Multilayertechnologie. Der multimorphe Biegewandler ist ein piezokeramischer Multilayer ohne passive Zwischenschicht.

Durch das jeweilige individuelle Design des Biegewandlers können Auslenkungen von einigen Millimeter, Kräfte bis zu einigen Newton und kurze Stellzeiten erzielt werden. Damit kann der Biegewandler als leistungsfähiges und schnelles Stellelement eingesetzt werden. Durch die hohe Stellgeschwindigkeit steigert sich die Produktivität gegenüber dem Elektromagneten um ein vielfaches. Aufgrund seiner kompakten Bauweise nimmt der piezokeramische Aktor deutlich weniger Platz ein. Auch ist sein Energieverbrauch im Vergleich zum Elektromagneten deutlich geringer.

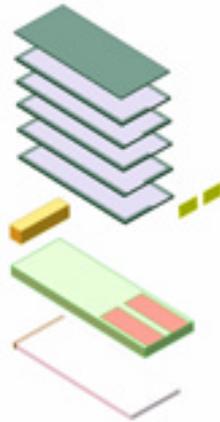


Bild 7: Prinzipieller Aufbau eines Monomorphen Biegewandlers in Multilayertechnologie.

Ein weiterer Vorteil ist die hohe Zuverlässigkeit - sie macht Ausfallzeiten zur großen Ausnahme. Heutige piezokeramische Hochleistungsbiegewandler haben eine Lebensdauer von mehr als 10^9 Schaltzyklen.

Auslenkung eines piezokeramischen Biegewandlers

Durch Anlegen einer Betriebsspannung an einer der beiden piezokeramischen Komponenten eines trimorphen Biegewandlers erfolgt eine Kontraktion der Piezokeramik. Die durch die Kontraktion hervorgerufene Längenänderung der Piezokeramik verursacht eine Verbiegung des Biegewandlers.

Der trimorphe Biegewandler kann entsprechend bei Anlegen der Betriebsspannung an der auf der gegenüberliegenden Seite angeordneten Piezokeramik in die entgegengesetzte Richtung ausgelenkt werden.

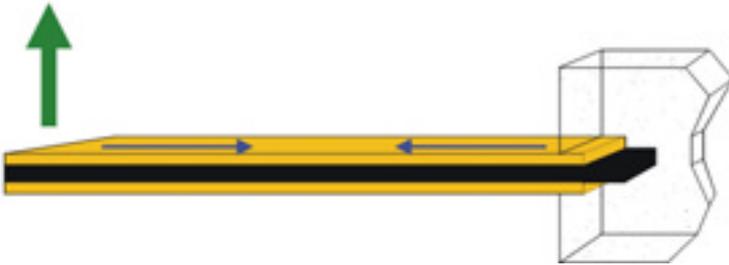


Bild 8: Auslenkung eines trimorphen Biegeumwandlers. Durch Anlegen der Betriebsspannung verursacht eine Kontraktion der Piezokeramik die Verbiegung des Biegeumwandlers.

Anwendungsbeispiele für piezokeramische Aktoren

Der piezokeramische Aktor ist anwendungsspezifisch modifizierbar, und damit ein äußerst vielseitiges Stellelement. Er eignet sich durch seine kompakte Aufbauweise für eine Vielzahl von technischen Anwendungen. Piezokeramische Aktoren finden sich beispielsweise im Automobilbau als Diesel- oder Benzindirekteinspritzung, in der Elektrotechnik, im Maschinenbau als Fadensteuerung für Textilmaschinen, in der Informationstechnologie zur exakten Positionierung von Schreib- und Leseköpfen. Den jeweiligen technischen Anwendungsfeldern sind kaum Grenzen gesetzt.

Piezokeramische Aktoren in Textilmaschinen

Beispielsweise laufen durch den Einsatz von Steuermodulen mit piezokeramischen Aktoren bzw. Biegeumwandlern Textilmaschinen schneller, ruhiger und zuverlässiger als mit herkömmlicher Steuerung durch Magnetsysteme. Mit piezokeramischer Technik sind Jacquard-, Wirk-Strick- und Rundstrickmaschinen rund um die Uhr einsatzbereit. Die Produktivität in den textilverarbeitenden Betrieben wird aufgrund der geringen Schaltzeit von Piezokeramiken erheblich gesteigert. Piezokeramische Aktuatoren, die in einem speziellen Gehäuse und kundenspezifisch mit oder ohne Ansteuerelektronik geliefert werden, optimieren die Fadensteuerung in Textilmaschinen.

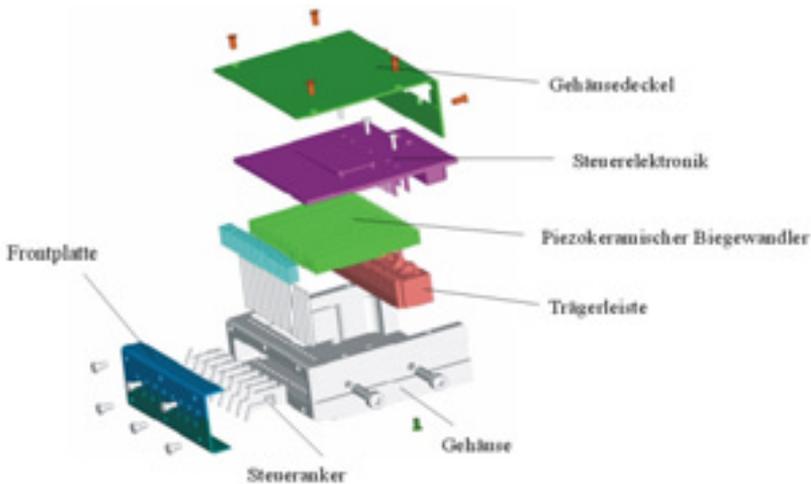


Bild 9: Aufbau eines SITEX[®]-Moduls für Rundstrickmaschinen

Durch die geringe Baugröße ist der Platzbedarf der Steuermodule in den Maschinen minimal. Da die Module mit geringer Energiezufuhr und ohne Wärmeabgabe arbeiten, kann auf eine zusätzliche Kühlung verzichtet werden. Aufgrund eines speziellen Lacküberzugs (Coating) sind Elektronik und Biegewandler gegen Staub, Stofffussel, Öle und Fette unempfindlich. Biegewandler werden der technischen Anforderungen und den Kundenwünschen entsprechend mit und ohne Elektronik geliefert.

Piezokeramische Aktoren in Ventilen

Piezokeramische Aktoren finden vermehrt Einsatz in Ventilen. Ihr Anwendungsspektrum deckt beispielsweise über Industrieautomatisierung, Medizintechnik, Automatisierungstechnik und Konsumerbereich einen weiten technischen Bereich ab.

Piezokeramische Aktoren eignen sich für den Einsatz in Ventilen insbesondere wegen der extrem schnellen Schaltgeschwindigkeit und den nicht vorhandenen Wärmeverlusten. Dies ist gegenüber anderen Antriebskonzepten wie magnetischen Aktoren ein entscheidender Wettbewerbsvorteil.

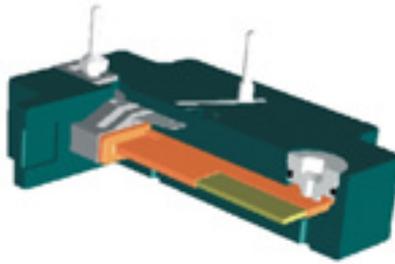


Bild 10: Schematischer Aufbau eines piezokeramischen Ventils.

Piezokeramische Ultraschallzerstäuber

Mit piezokeramischen Ultraschallzerstäubern können Aerosole perfekt erzeugt werden. Sie eignen sich zur Erzeugung kleiner Tröpfchen mit großen Vorteilen. Die exakte Einhaltung der gewünschten Tröpfchengröße in bester Homogenität ist kein Problem mit piezokeramischen Ultraschallwandlern.

Mit den Ultraschallzerstäubern arbeiten Anwendungen flexibler und wirtschaftlicher als mit herkömmlichen Befeuchtungssystemen, denn der Flüssigkeitsverbrauch sinkt spürbar, die Stillstandszeiten werden kürzer, und beim Zerstäuben wird viel weniger Energie benötigt. Außerdem beanspruchen die Zerstäuber erheblich geringeren Platz.

Ultraschallzerstäubung benötigt keine Treibgase. Pflanzenschutzmittel in der Industrie können exakt dosiert und gezielt verteilt werden. Beim Zerstäuben von Kosmetika muss Lungengängigkeit vermieden werden.

Hingegen müssen bei medizinischen Anwendungen zur Inhalation Medikamente gezielt lungengängig und gleichmäßig zerstäubt werden. Dies ist möglich, dann die Tröpfchengröße ist exakt und homogen einstellbar. Die zerstäubten Medikamente wirken effektiver, da der Patient sie über die Atmung viel besser und schneller aufnehmen kann. Ultraschallwandler für die Medizintechnik haben darüber hinaus noch den Vorteil, das mittels Ultraschalleinwirkung Bakterien vernichtet werden können. Das Aerosol ist praktisch keimfrei.



Bild 11: Schematischer Aufbau eines piezokeramischen Ultraschall Tascheninhalators für die Medizintechnik. Mit dem Tascheninhalator können sowohl Medikamente gegen Asthma und chronische Lungenerkrankungen als auch Medikamente zur Schmerztherapie zerstäubt werden

Piezokeramische Ultraschallzerstäuber zeichnen sich durch den geringen Energiebedarf, den niedrigen Unterhaltskosten und einer langen Lebensdauer aus. Ein großer Vorteil ist die Möglichkeit für jeden Anwendungsfall die Tröpfchenverteilung und Tröpfchengröße individuell einstellen zu können.

Piezokeramische Ultraschallmeßsystem

Piezokeramische Ultraschallmeßsysteme besitzen eine Vielzahl von Vorteilen. Beispielsweise können mittels Tankinhaltsmesssystemen die Füllhöhen der Tankinhalte ermittelt werden ohne mit mechanischen Abtastsystemen arbeiten zu müssen. Hierdurch kann eine sehr gute Messgenauigkeit erreicht werden. Ultraschallmeßsysteme können einfach in bestehende Tanksysteme integriert werden. Sie eignen sich zur Messung unterschiedlichster Medien.

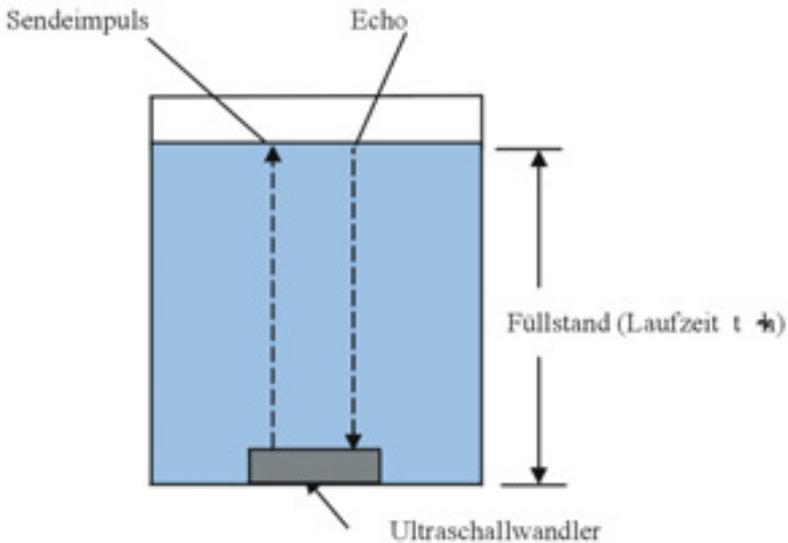


Bild 12: Prinzipielle funktionsweise des Ultraschall Tankinhaltsmeßsystem TIM[®]. Aus der Laufzeit des Ultraschallsignals kann die Füllstandshöhe ermittelt werden

Das Ultraschall Tankinhaltsmeßsystem TIM[®] arbeitet nach dem Ultraschall Echolot Prinzip. Ein Ultraschallwandler sendet Ultraschallimpulse aus, die an der Oberfläche der Flüssigkeit reflektiert werden. Die reflektierten Schallwellen werden vom Wandler wieder aufgenommen. Sie werden unmittelbar zur Bestimmung der Füllhöhe herangezogen.

Mit Ultraschalltankinhaltsmesssystemen ist eine präzise Messung der Tankinhalte möglich. Durch rechnerischen Abgleich der Medientemperaturen können auch Sumpfablagerungen bestimmt werden. Darüber hinaus ist eine Qualitätsbestimmung des Treibstoffs möglich. Ultraschalltankinhaltsmesssysteme ermöglichen eine vereinfachte Messung im Vergleich zu anderen Messverfahren.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 15) finden sich auf den folgenden Seiten.

Mechanik und Elektronik

Piezokeramik – Technik und Anwendungen

Dipl.-Phys. Andreas J. Schmid
Siemens AG
Power Generation Ceramics - Piezoproducts
Redwitz a.d. Rodach



Piezokeramische Systeme

Physikalische Eigenschaften und Anwendungen

Dipl.-Phys. Andreas J. Schmid
Siemens AG
Power Generation Ceramics - Piezoproducts
Redwitz a.d. Rodach



Überblick

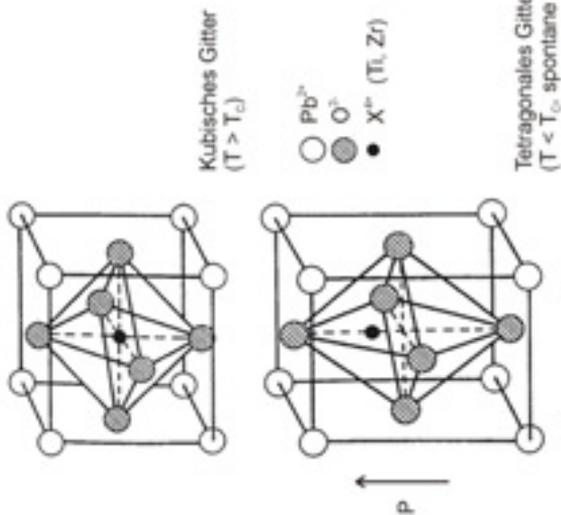


Piezokeramische Systeme - Physikalische Eigenschaften und Anwendungen

- Piezoeffekt
- Piezoprodukte
- Aufbautechniken von Aktoren
- Anwendungsbeispiele für Aktoren
- Anwendungsbeispiele für Ultraschallaktoren
- Anwendungsbeispiele für Ultraschallsensoren

Piezokeramik

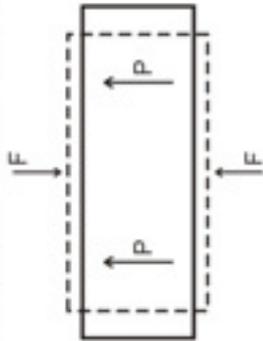
Perowskit Kristallstruktur (Blei - Zirkonat - Titanat)





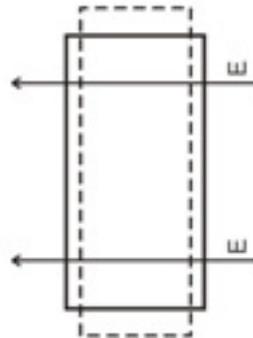
Piezoeffekt I

Direkter piezoelektrischer Effekt



Eine äußere Kraft verursacht mittels Deformation eine ungleichnamige Oberflächenladung.

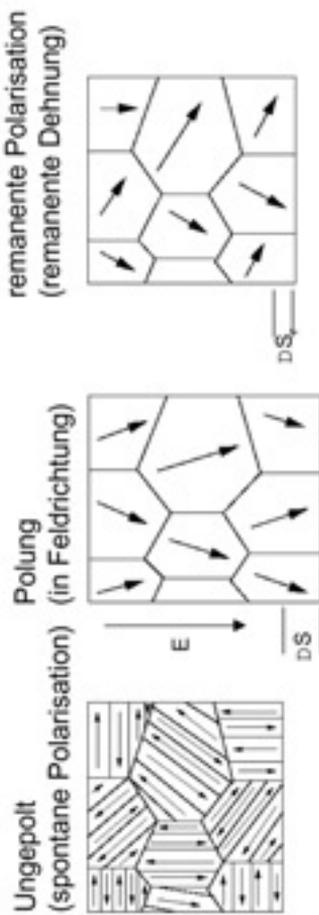
Inverser piezoelektrischer Effekt



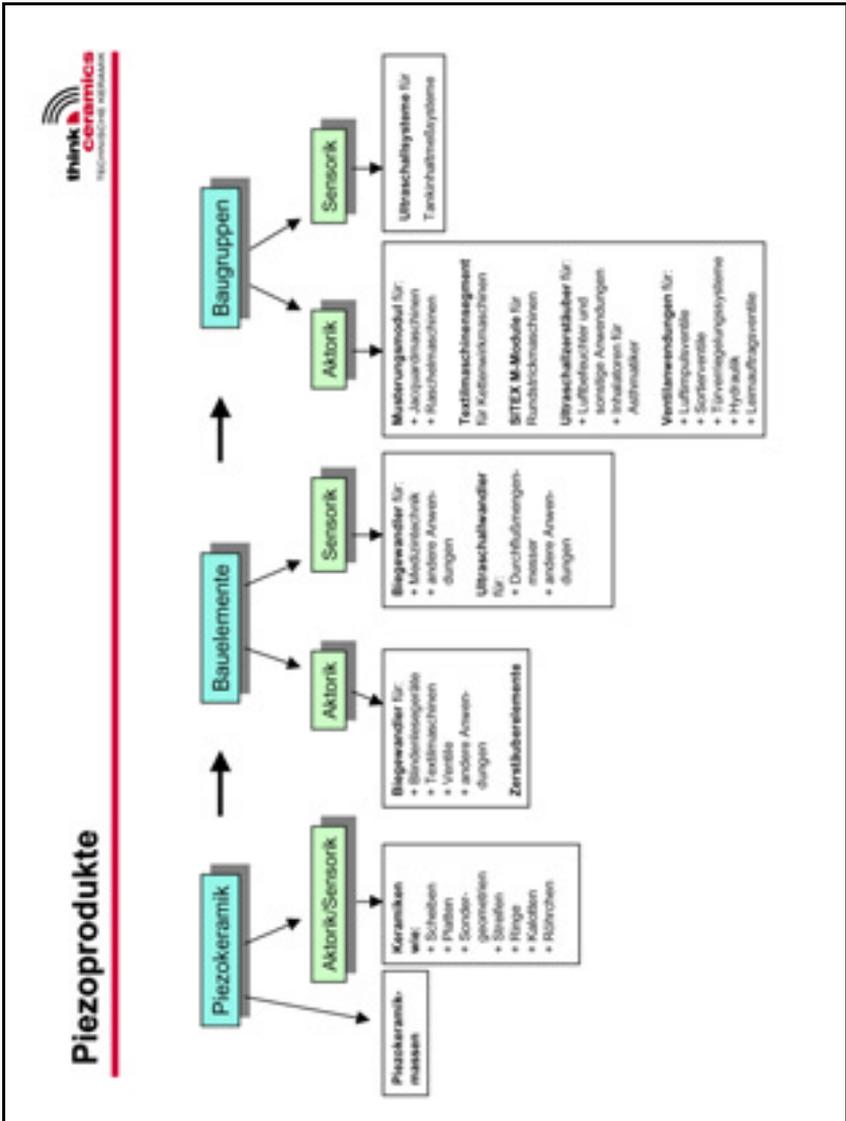
Ein äußeres E-Feld verursacht eine Deformation.

Piezeeffekt II

Schematischer Gefügebau einer PZT-Keramik mit Domänen

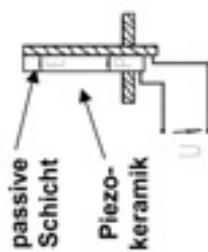
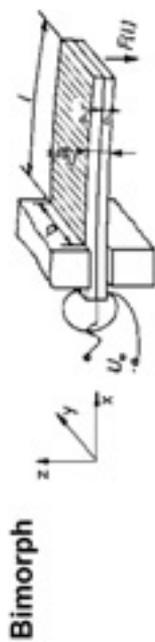


D_S : Dehnung der Keramik
 D_{S_r} : remanente Dehnung der Keramik

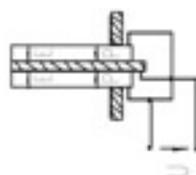


Folie 7

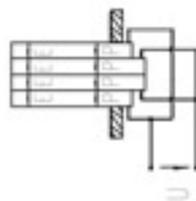
Biegewandler Aufbautechnik



Monomorph



Trimorph

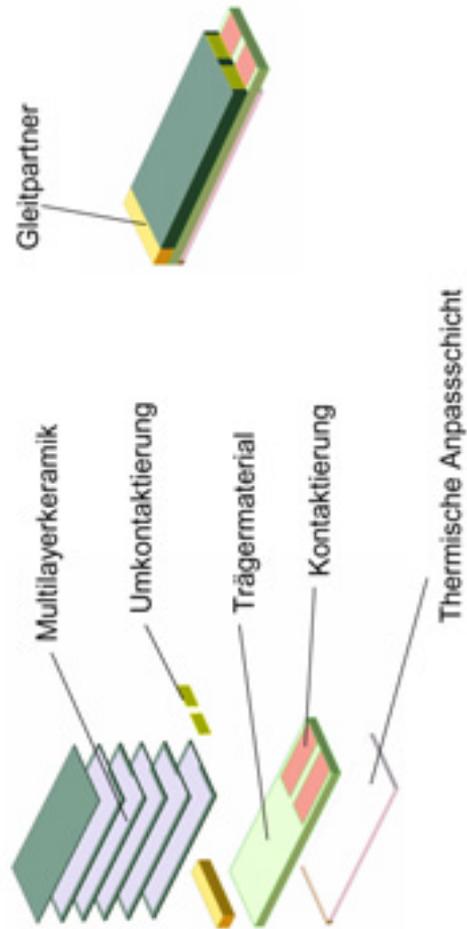


Monolithischer
Multilayer



Multilayer-Biegewandler

Multilayeraufbau: Design mit thermischer Anpassschicht und Gleitpartner

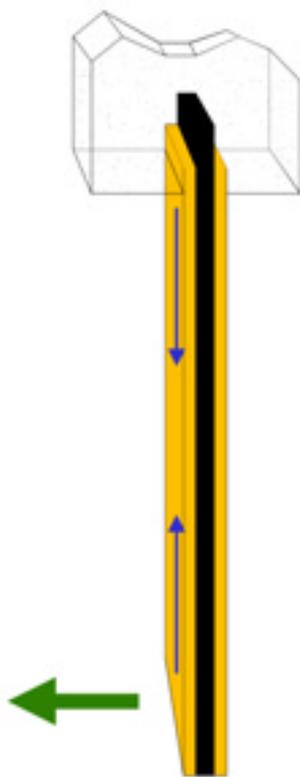


Betrieb eines Biegewandlers



Auslenkung eines trimorphen Biegewandlers (inverser piezoelektrischer Effekt)

**Kontraktion der Keramik bei anliegender Betriebsspannung
führt zur Auslenkung des Biegewandlers**

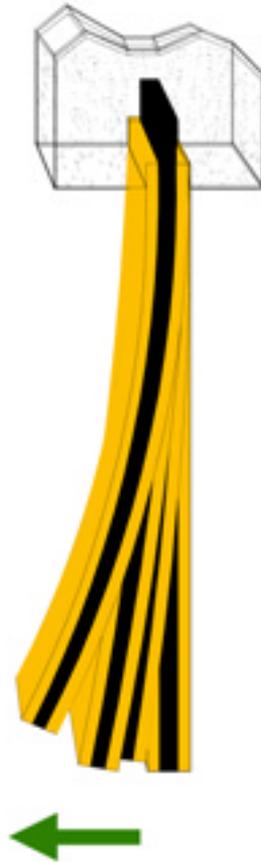


Betrieb eines Biegewandlers



Auslenkung eines trimorphen Biegewandlers (inverser piezoelektrischer Effekt)

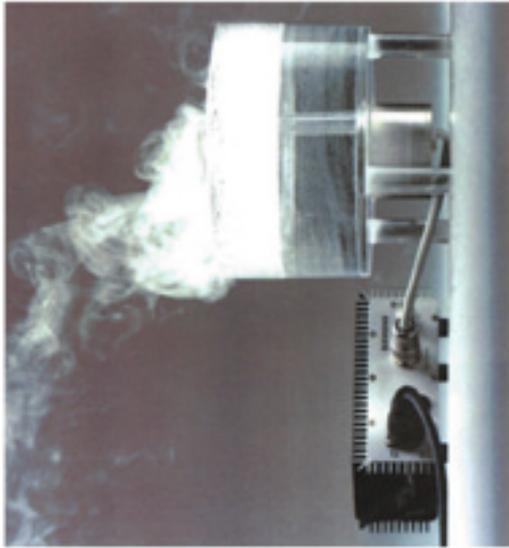
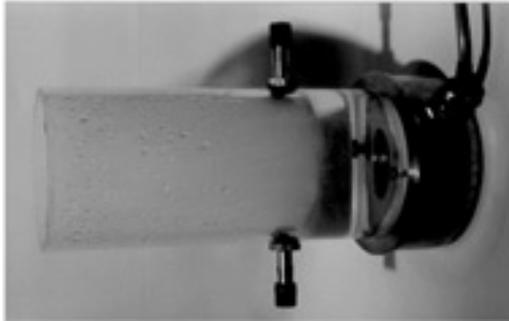
**Kontraktion der Keramik bei anliegender Betriebsspannung
führt zur Auslenkung des Biegewandlers**



Vorteile von Piezoaktoren

- hohe Produktivität durch hohe Stellgeschwindigkeit
- hohe Zuverlässigkeit reduziert Ausfallzeiten dramatisch
- geringe Verlustleistung
- niedrige Betriebskosten.
- kompakten Bauweise
- nahezu geräuschlose Betrieb
- Anwendungsspezifisch modifizierbar

LIQUIFOG® - Ultraschallaktor



Vorteile eines Piezo Ultraschall Zerstäubers

- keine Treibgase, die die Ozonschicht zerstören
- Pflanzenschutzmittel können exakt dosiert werden
- Einstellung der Tröpfchengröße und Homogenität möglich
- Medikamente können fein und gleichmäßig zerstäubt werden
- Ultraschalleinwirkung vernichtet Bakterien

Vorteile des Ultraschallwandlers TIM® III



- Systemintegration von der Raffinerie bis zum Verbraucher
- bei Systemintegration keine Verluste zwischen den einzelnen Stationen (Raffinerie bis Verbraucher)
- präzise Messung der Tankinhalte
- Bestimmung der Sumpfablagerungen im Tank
- keine mechanischen Komponenten nötig
- Bestimmung der Qualität des Treibstoffs
- Temperaturunabhängiges Messsystem
- Eichfähig
- vereinfachte Messung im Vergleich zu anderen Messverfahren