

## Piezoelektrizität und was daraus wurde

von Johannes Wagner

### Die Gegenwart

Mit gedämpftem Knack springt das Feuerzeug an, eine stille, aber heiße Flamme brennt. Das ausströmende Gas wird von einem Funken entzündet, der aus keiner Batterie, aus keiner Steckdose stammt.

Was passiert? Eine Taste öffnet das Ventil zum Flüssiggasbehälter. Gleichzeitig spannt sie ein Federsprungwerk, das beim Kippsprung auf einen Keramikkörper schlägt. Er trägt zwei metallische Elektroden. Durch den kurzen, mechanischen Schlag werden im Inneren dieser Keramik elektrische Ladungen verschoben, die sich auf den Elektroden sammeln. An ihnen entsteht eine hohe elektrische Spannung, die den Funkenüberschlag auslöst. Durch den Funken von der "heißen" Elektrode zur Düse am Ventil wird das Gas-Luft-Gemisch entzündet. Die Energie für die Zündung liefert bei jeder Betätigung die Kraft des drückenden Fingers.

Kern des Zünders ist ein mechanisch-elektrischer Wandler aus einer speziellen Keramik, piezoelektrischer Keramik. Diese piezoelektrische Keramik wandelt direkt mechanische in elektrische Energie um.

Auch der gegenteilige Effekt ist verbreitet. In vielen Geräten sind Piepser mit piezoelektrischen Membranen eingebaut. Dieser Effekt, der piezoelektrische Effekt, ist nun seit 117 Jahren bekannt. Den Mitarbeitern unseres Betriebes beschert er neben anderer Physik seit etwa 4 Jahrzehnten ihr Einkommen.

### Der Name

Die Piezoelektrizität ist - mit unserem schnelllebigen Zeitmaßstab beurteilt - schon recht lange bekannt. Dafür spricht, dass das bestimmende Wort für **Druck** (piezo) und auch der erste Teil der **Elektrizität** aus dem Griechischen stammen. Dieser Effekt wurde also in einer Zeit entdeckt und benannt, in der der naturwissenschaftlich Forschende humanistisch gebildet war und vielleicht die alten Griechen im Urtext las. Die Elektrizität muss schon bekannt gewesen sein und mindestens Mess- oder Nachweisgeräte dazu, sonst hätte dieser Effekt nicht entdeckt werden können.

Wäre die Entdeckung jüngerer Datums, sicher wäre daraus so etwas wie "pressure electricity" geworden. Aber auch daran ist erkennbar, dass die alten Griechen sich durchgesetzt haben. Sie sind wirklich schon sehr alt, doch ihre Begriffswelt umgibt uns immer noch. Der namensgebende Bernstein (ελεκτρον) ist inzwischen nicht mehr Forschungsobjekt der Elektrotechniker, er ist wohl nur noch Schmuck. Ich denke an die schöne, dicke Kette meiner Großmutter, aber auch an das vielgesuchte und berühmte Bernsteinzimmer.

Eine Verbindung zwischen der Bernsteinkette meiner Großmutter und dem Strom aus der Steckdose besteht für mich nicht. Ich halte es mehr mit der sachlich betrachteten Elektrotechnik, mit den Herren Volta, Ampere, Ohm, genauso wie mit Gauß, Siemens, Weber, Tesla, denen in den elektrischen Maßeinheiten Denkmäler gesetzt wurden.

### Die Entdeckung

An der Piezoelektrizität, an der Untersuchung der natürlichen Materialien, an der Herstellung und Verbreitung künstlicher Werkstoffe lässt sich sehr gut der Lebenslauf eines Wissensgebietes darstellen.

Bekannt waren elektrische Eigenschaften des Turmalins. Turmalin, ein Edelstein, im Glutbett erhitzt, zog Teilchen der Asche an und stieß sie auch wieder ab. Diese elektrische Eigenart war auch von anderen elektrisch geladenen Körpern bekannt. Vermutet wurde wegen dieser temperaturbedingten Elektrizität auch eine vom Druck abhängige. Nach vielen Irrwegen, bei denen im wesentlichen Reibungselektrizität beschrieben wurde, entdeckten die legendären Brüder Curie diesen Effekt am Turmalin. Das war 1880, Später fanden sie diese Eigenart auch an Quarz und anderen Kristallen. Sie bezeichneten die Eigenschaft als Polarelektrizität. Ein Jahr später wurde die Bezeichnung "piezoelektrischer Effekt" vorgeschlagen. Das hat sich offensichtlich durchgesetzt. Der reziproke Effekt - durch Anlegen einer elektrischen Spannung bewegt sich der Kristall - wurde zunächst 1881 vorausgesagt und kurz darauf - wieder von den Brüdern Curie - im Experiment gefunden. Beide müssen sehr geschickte Experimentatoren gewesen sein und über märchenhafte Mittel verfügt haben.



## Der Lebenslauf

Der Effekt, die Zündquelle des anfangs beschriebenen Feuerzeugs, ruhte in wenigen Laboratorien als Kuriosum spezieller Stoffe, die meist sehr hart waren und Kristalleigenschaften hatten, bekannt wurden Turmalin und Quarz. Die Kristallwissenschaft suchte weiter. Berühmte Leute beschäftigten sich mit der Theorie z.B. auch Lord Kelvin. Aber erst 1954 fand Max Born eine prinzipielle Lösung, aus dem Kristallgitter die piezoelektrischen Konstanten abzuleiten. Die technische Anwendung war zögernd, aber doch schneller als die prinzipielle Lösung. Sie begann mit piezoelektrischen Resonatoren, also mit dem reziproken piezoelektrischen Effekt.

Auslöser war die Untersuchung von Nachrichtenübermittlung unter Wasser mit Ultraschall, sicher eine Folge des 1. Weltkrieges und der damals neuen Unterseeboote. Die ersten Veröffentlichungen dazu stammen aus den 20er Jahren. Die militärische Anwendung führte zur Geheimhaltung, es wurde still.

Trotzdem wurde weitergearbeitet. Es wurde erkannt, dass mit piezoelektrischen Resonatoren Frequenzgeneratoren gesteuert werden können, die den Kern sehr genauer und weitgehend temperaturunabhängiger Zeit- und Frequenznormale bilden. Als erste zivile Anwendung wurden diese Resonatoren als frequenzbestimmende Elemente in Rundfunksendern eingesetzt. Damit konnten in der dichter werdenden Rundfunksenderlandschaft die Sendefrequenzen stabil gehalten werden. Aus meiner Lehrzeit kenne ich noch Schwingquarze aus Beständen der deutschen Wehrmacht, eingebaut in ein steckbares Stahlgehäuse wie das einer Stahlröhre der 11er Reihe. Kennen Sie die alten Röhren als Verstärkerelemente überhaupt noch - oder kennen Sie die neuen bildschönen, sanft glühenden Röhren, nicht mehr versteckt sondern offen aufgebaut und präsentiert in den modernen *high end power amplifiers*?

Es war wieder ein Krieg, der die Entwicklung beschleunigte. Von 1942 stammt eine französische Veröffentlichung, in der piezoelektrisch angeregte Quarzelemente als Sender und auch als Empfänger von Ultraschall für die Tiefenmessung und die Ortung von Gegenständen im Wasser beschrieben wird. Der Erscheinungsort Paris war zu dieser Zeit von der deutschen Wehrmacht besetzt. Mir ist nicht bekannt, welche Seite der Kriegsgegner diese Ergebnisse schneller und konsequenter genutzt hat und welchen Einfluss der piezoelektrische Effekt auf das Ende des Krieges hatte, hier also wieder ein Effekt unter vielen am Rande der Weltgeschichte.

Nach dem Ende des von Deutschland begonnenen Krieges, der weite Teile Europas und besonders auch deutsche Städte zu Schutthäufen gemacht hatte, begann eine stürmische Entwicklung für den beschriebenen Effekt. Anregungen kamen aus der Kristallphysik. Aus dem inneren Aufbau der Kristalle und dem damit festgelegten Ort der Ladungsträger ist nämlich ableitbar, ob sich durch Druck oder Temperatur die Ladungsverteilung ändert. Zusätzlich zu den bekannten Kristallen Quarz und Turmalin wurden andere Einkristalle entdeckt. Es erlangten aber nur einige wirtschaftliche Bedeutung. In der Anwendung habe ich selbst Quarz, Lithiumniobat und Seignettesalz kennengelernt. Seignettesalz hatte eine solche Bedeutung erlangt, dass im russischsprachigen Raum von Seignetteelektrizität gesprochen wird. Ein russisches Buch mit diesem Titel steht noch in meinem Bücherregal.

Im und nach dem Kriege entstanden viele Betriebe in Europa und in den USA, die im Umfeld der Luftfahrt und der sich entwickelnden Raketentechnik angesiedelt waren. Der Zwang zu minimalem Gewicht bei maximaler Antriebsleistung forderte bis an die Grenze gehende Ausnutzung der Materialeigenschaften Elastizität und Festigkeit. Ähnlich entwickelten sich die Forderungen der Kerntechnik. Schwingungsmessung spielt bei der Reaktorsicherheit eine große Rolle. Diesen Herausforderungen stellte sich die Messtechnik. Wohl alle bekannten Wandlermechanismen wurden auf ihre Verwendbarkeit abgeklopft. Auf dem Gebiet der Messung von Schwingungen hat der piezoelektrische Effekt bis jetzt einen festen Platz. Welcher andere Wandlereffekt ermöglicht schon einen Dynamikbereich von mehr als 6 Größenordnungen? Die Vielzahl der Hersteller und verschiedenen Wandlertypen sprechen dafür. Auch die Wandlermaterialien werden in verschiedenen Formen von vielen Firmen angeboten. Mit entscheidend für die Verbreitung war, dass der Piezoeffekt auch bei speziellen Keramiken auftritt, die im Gegensatz zu den piezoelektrischen Einkristallen weit einfacher hergestellt werden konnte. Diese haben als polykristalline Gebilde keine natürliche Piezoelektrizität. Im Polarisationsprozess werden die kleinen polaren Gebiete, man nennt sie Domänen, die nach dem Sintern wirt durcheinander liegen, im elektrischen Hochspannungsfeld ausgerichtet.

Für das Verständnis und die Anwendung wesentliche Veröffentlichungen erschienen. Wichtige Eckpunkte waren

- die umfangreichen Schriften von Maso, in denen die Koeffizienten der Materialien veröffentlicht wurden,
- das für die Anwendung des piezoelektrischen Effektes wichtige Patent von Dr. Kistler: Messverstärker zur Messung elektrischer Ladung. Schweizer Patentschrift 267431, Bern 1950,
- viele Untersuchungen neu gemixter Piezokeramiken mit speziellen Eigenschaften.



Gute zeitliche Stabilität, minimaler Temperaturkoeffizient, piezoelektrische Härte gegen Depolarisation, hoher Curiepunkt, temperaturstabile Frequenzeigenschaften, Herstellung aus einfachen und preiswerten Rohstoffen sind nur einige davon. Da Chemie und Physik ihre Gaben - fern von Gerechtigkeit - gleichmäßig verteilen, sind alle positiven Eigenschaften selten in einem Material vereint. Die Vielfalt der Hersteller lebt davon.

An der TU Dresden liefen noch viele Jahre wissenschaftliche Arbeiten zu den piezoelektrischen Problemen. Die letzte Arbeit zur Dissertation wurde 1971 eingereicht und mit "magna cum laude" abgeschlossen. Sie beschäftigte sich mit der quasistatischen Kraftwandlung mittels Piezokeramik und erklärte Probleme im tieffrequenten Bereich. Ergebnis war, dass die Kraftmessung mit vielen Fehlern zu kämpfen hat und nur unter sehr eingeschränkten Bedingungen verwendet werden kann. Als Nebenzweig wurde ein (nichtpraktikables, weil unanschauliches) Modell für die pyroelektrischen Wirkungen beschrieben.

Ein wichtiges Buch war "Piezoelektrische Messtechnik" von J.Tichy und G.Gautschi, im Jahr 1980 bei Springer erschienen. Diese Buch war wohl die letzte größere Veröffentlichung zum mit Piezoelektrizität messenden Fach. Zur gleichen Zeit gab es viele Veröffentlichungen zum reziproken piezoelektrischen Effekt. Mikrometerschritte für die Herstellung mikroelektronischer Schaltungen mussten bewältigt werden. Dafür boten sich Mikromotoren mit piezoelektrischen Antriebselementen an. Sie sind als jüngstes Kind der Piezo-Anwendungen inzwischen etabliert.

## Das Schicksal

Seitdem kenne ich nur Veröffentlichungen von Herstellern zu ihren Erzeugnissen. Es ist ruhig im Fachgebiet, es ist wissenschaftlich erschöpft, es enthält kein wissenschaftliches Neuland mehr. Die Untersuchung der Eigenschaften wurde zu Anwendungen. Der als Kuriosum bekannt gewordene Effekt wurde Allgemeingut. Die Wissenschaft hat sich anderen Wirkmechanismen zugewandt. Die Forschung beschäftigt sich mit optischen und mikromechanischen Objekten. Hin und wieder wird für kleine Verschiebungen der piezoelektrische Effekt verwendet.

Die Folge ist: Es sind keine spektakulären Gewinne mehr zu erzielen. Die Technologie zählt nicht mehr zur Hochtechnologie. Immer mehr Hersteller bieten an. Die Anwendung wird breiter. Sie reicht von Mikroantrieb über Gasanzünder, Ultraschallerreger, Beschleunigungsaufnehmer, Telefon-Mikrofonen bis zu penetranten Piepsern. Die neuen Hersteller haben nicht mehr den immensen Forschungsaufwand. In vielen Fällen kennen sie verborgene Wenn und Aber der Materie nicht. Die neunzeilige-neunspaltige Matrix mit allen Koeffizienten, dabei glücklicherweise einer großen Anzahl von Nullen, ist ihnen unbekannt. Sie gehen unbefangen mit dem Material um, häufig mit Erfolg und zum Schaden der in Forschung investierenden Unternehmen. Erst Neuentwicklungen, für den Markt neue Technik, ein neuer Schritt bringen für den Unternehmer, der den Vorsprung und das passende Schutzrecht hat, eine kurze Entlastung vom Druck des Wettbewerbs. Die Mitbewerber schlafen natürlich nicht, und so dreht sich die Forschungsspirale endlos weiter. Die Fliehkraft wirft die Schwachen ab.

Geflügelte Worte charakterisieren diese Verhältnisse: "Wer rastet, der rostet." Rost zerfällt und macht den harten, biegsamen Stahl wertlos. Oder der vielstimmige Gesang der Engel (Kannte Goethe die Gesetze des Marktes?) "Wer immer strebend sich bemüht, den können wir erlösen".

Nach einem Beitrag von Johannes Wagner, Metra Mess- und Frequenztechnik 1993