

# Proseminar Technische Informatik

Energy Harvesting - new approaches

Christian Damm 4356891

# Gliederung

0. Einleitung

1. Einsatzorte von Sensoren

2. Verschiedene Arten der Energiegewinnung

a) Piezoelektrizität

b) Photovoltaik

c) Thermoelektrik

d) Elektromagnetische Induktion

3. Fazit

## **0. Einleitung**

In den letzten Jahrzehnten hat der praktische Einsatz von elektronischen Sensoren stark zugenommen. Sie finden in allen Bereichen unseres Leben Anwendung und sind nicht mehr wegzudenken.

Viele Sensoren sind nicht an einer ständigen Stromquelle angebunden und werden mit Hilfe von Batterien oder Akkumulatoren betrieben. Der Vorteil hiervon liegt hauptsächlich in der besseren Mobilität gegenüber kabelgebundener Stromversorgung.

Mit fortschreitender Entwicklung verringerte sich die Größe der Sensorbauteile und gleichzeitig sank auch deren Energieverbrauch . Heutzutage haben viele Sensoren einen Energieverbrauch von wenigen Milliwatt. Da aber die Kapazität von Batterien und Akkumulatoren begrenzt ist, hat dies zur Folge, dass die Lebenszeit der Sensoren auf wenige Jahre beschränkt ist. Danach müssen die Sensoren ausgetauscht werden. Dies erweist sich aber oft als umständlich und kostenintensiv, da es nicht selten vorkommt, dass Sensoren an Orten eingesetzt werden, die schlecht zu erreichen sind .

Da die Fortschritte zur Kapazitätssteigerung von Batterien seit Jahren stagnieren und es aus Platzgründen oftmals nicht möglich ist größere Batterien für die Sensoren zu nutzen, sind die Entwicklungen im Bereich des Energy Harvestings stark voran geschritten.

Ziel dieses Forschungsbereiches ist es, aus vorhandenen, bisher wenig genutzten Energiequellen elektrischen Strom zu erzeugen und somit die Sensoren zu versorgen.

Diese Ausarbeitung liefert einen grundlegenden Überblick über die vorhanden Energiequellen und erläutert mit welchen technischen Mittel sie genutzt werden können. Dabei beschränke ich mich auf die am weitesten verbreiteten Techniken.

Die Einsatzorte von Sensoren machen den ersten Abschnitt dieser Arbeit aus; hier möchte ich die Vielseitigkeit von Sensoren nahe bringen.

Im zweiten Abschnitt, dem Hauptteil dieser Arbeit, stelle ich 4 verschiedene Arten der Energiegewinnung vor. Sie werden bereits größtenteils im alltäglichen Leben genutzt und versprechen viel Potenzial für die Zukunft.

Abschließend folgt mein persönliches Fazit.

# 1. Einsatzorte von Sensoren

Die Hauptaufgabe von Sensoren besteht darin, bestimmte Daten aus seiner Umgebung zu erfassen. Dazu gehören unter anderem Luftdruck, Temperatur, Herzfrequenz, Geschwindigkeit etc.

Beispielsweise in der Tierforschung finden Sensoren oft Anwendung, da bei der Beobachtung im natürlichen Lebensraum anwesende Personen oder ähnliches die Ergebnisse verfälschen könnten.

Ein weiterer Einsatzbereich sind Bojen auf hoher See, welche Daten über den Wellenhöhe oder das Wetterverhältnis sammeln.

Industrielle Abläufe können durch die Sensoren ebenfalls digitalisiert werden um dadurch auf Fehler schneller reagieren zu können. Beispielsweise kann die Temperatur beim Schmelzen von Metallen genau gemessen werden, um dann notfalls erhöht oder verringert werden.

Im medizinischen Bereich existiert ebenfalls eine starke Verbreitung von Sensoren. Messungen der Vitalfunktionen im Krankenhaus mit dieser Technik sind heutzutage nicht mehr wegzudenken.

Auch in unserem Privatleben stoßen wir fast täglich auf Sensoren: Sei es der Bewegungsmelder für das Licht auf der Toilette oder der Abstandsmesser in der Tür vom Bus, die nicht optimal schließt.

Auch sind in den heutigen PKWs schon eine große Anzahl von Sensoren verarbeitet, die die unterschiedlichsten Daten, wie z.B. Temperatur, Geschwindigkeit, GPS-Position, Füllstand des Tanks, Krafteinwirkung zum Auslösen der Airbags, sammeln.

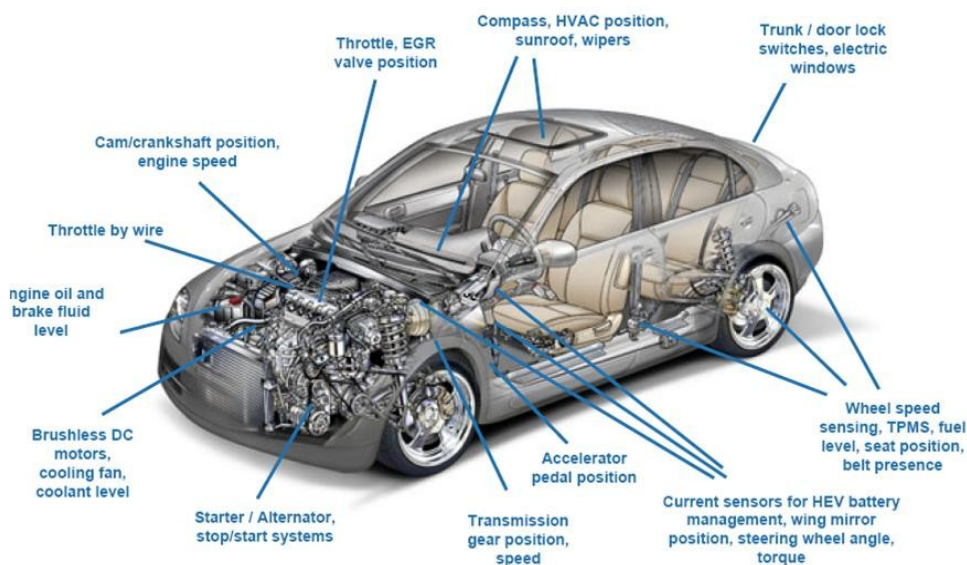
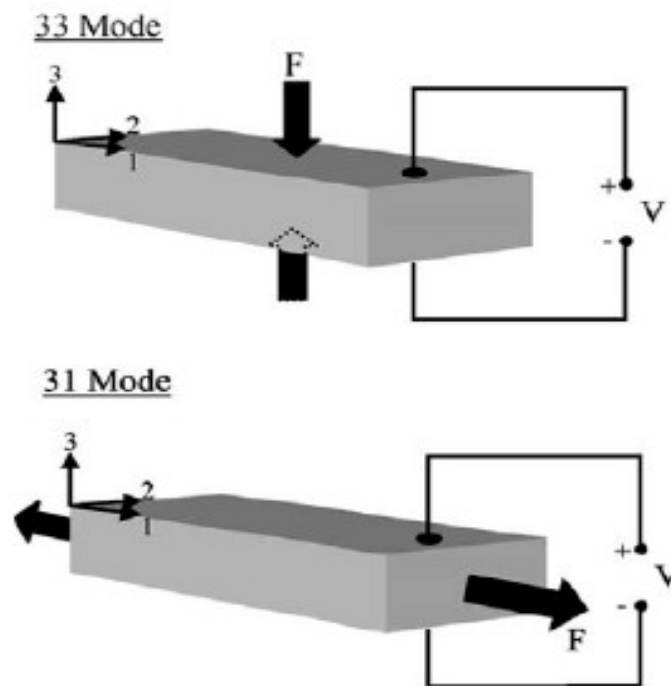


Fig. 1: Verschiedene Sensoren in einem Auto

## 2.a Piezoelektrizität

Unter Piezoelektrizität versteht man den Vorgang durch Krafteinwirkung auf einen Festkörper Spannung zu erzeugen. Durch Verformung innerhalb des Körpers, kommt es zu einer Veränderung der Ladungsschwerpunkte [1]. Dieser Vorgang funktioniert auch umgekehrt. Das heißt, dass bei Anlegung einer Spannung an diesem Festkörper eine Formveränderung auftritt. Die Entdecker dieser Eigenschaft waren die Brüder Jacques und Pierre Curie, welche bereits 1880 bei Experimenten mit Turmalinkristallen auf diesen Vorgang stießen [4].

Im Bereich des Energy Harvesting wird diese Eigenschaft in verschiedenen Situationen genutzt. Ein Beispiel dafür ist die Erzeugung von Spannung mit Hilfe von Vibrationen.



*Fig. 2.1: Aufbau des 33-Mode und des 31-Mode*

Beim Aufbau zur Spannungserzeugung unterscheidet man hauptsächlich in 2 Arten. Diese sind in Fig. 2.1 dargestellt.

Zum Einen gibt es den „33-Mode“. In diesem ist die Richtung der Krafteinwirkung gleich der Spannungsrichtung.

Zum Anderen gibt es den „31-Mode“. Hier wirkt die einwirkende Kraft rechtwinklig zur Spannungsrichtung. In der Praxis fungieren die Piezokristalle dabei als langer, dünner bimorpher Freitragler an deren freiem Ende ein Gewicht befestigt wird [1].

Obwohl der „33-Mode“ einen kompakteren Aufbau besitzt, wird im praktischen Bereich meist der „31-Mode“ bevorzugt, da dieser einen flexibleren Aufbau ermöglicht. Dies hat zur Folge, dass bei gleicher Krafteinwirkung im „31-Mode“ mehr Spannung erzeugt werden kann. Ein weiterer Vorteil dieses Ausbaues

ist, dass die Resonanzfrequenz weit kleiner als die des „33-Mode“ ist [2] .

Wenn wir nun den Aufbau noch einmal unter dem Aspekt der Vibrationen betrachten, wird klar, dass bereits eine kleine Vibration ausreicht um den Freitrag in Schwingung zu versetzen, und so Spannung zu erzeugen. Um nun aber dauerhaft (und besonders gleichmäßig) Spannung zu erzeugen, muss eine ständige (und in der Frequenz gleich bleibende) Vibration vorhanden sein.

Besonders im industriellen und privaten Bereich ist dies oft gegeben, da von elektrischen Maschinen eine meist gleichmäßige Vibration ausgeht. Einige Beispiele dafür sind Klimaanlage, Kühlschränke und Serveranlagen.

Untersuchungen haben ergeben das mit Hilfe von Vibrationen elektrische Energie von bis zu  $300\mu\text{W}/\text{cm}^3$  erzeugt werden kann. Im Vergleich dazu verbrauchen Desktop-Rechner durchschnittlich zwischen 100-150 W. Ein Einsatz als alternativ Energiequelle für unser alltäglichen Energiebedarf ist also noch unvorstellbar. Dennoch findet die Piezoelektrizität bereits Anwendung in Bereichen in denen kleinste Mengen an Energie benötigt werden.

Besonders im Bereich der Mikrosensoren findet die Energiegewinnung durch Vibrationen große Beachtung, da der Energiebedarf meist im mW-Bereich liegt. In diesem Versuch [3] der TU Dresden beschäftigte man sich mit dem Energieverbrauch von Sensornetzknoten. Dieser betrug ca. 30mA. Um soviel Strom aus Vibrationen gewinnen zu können, bräuchte man also eine Platte mit Piezokristalle mit einem Volumen von  $100\text{ cm}^3$ . Wenn wir für die Platte eine Dicke von 1 cm annehmen( in der Praxis schlecht umsetzbar, da bei so einer Dicke die Flexibilität verloren geht) ,entsprechen die Maße für Höhe und Breite etwas mehr als die eines iPhones.

Eine weitere Quelle aus der man mit Hilfe von Piezoelektrizität Energie gewinnen kann, ist der menschliche Körper. Wissenschaftler des MIT haben 2001 herausgefunden, dass beim Laufen im menschlichen Fuß durchschnittlich  $330\mu\text{W}/\text{cm}^3$  erzeugt werden können [5]. Im Gegensatz zu Vibrationen wird in diesem Anwendungsbereich der „33-Mode“ verarbeitet.

Eine praktische Umsetzung davon sind die in Fig. 2.2 dargestellten, von Alberto Villarreal entwickelten Brightwalk Shoes. Diese für Jogger entwickelten Schuhe besitzen auf der Unterseite Piezokristalle(hier blau markiert), die während des Joggens Strom erzeugen. Der dadurch erzeugte Strom wird genutzt um einen Bereich in der Ferse und und einen Bereich am vorderen Teil des Fußes (hier gelb markiert) zum Leuchten zu bringen .



Fig. 2.2: BrightWalk Shoes

## 2.b Photovoltaik

Die wohl bekannteste Energy Harvesting Technologie heutzutage ist die Photovoltaik. Dabei wird mit Hilfe von Solarzellen Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt. Hauptgrund für die große Verbreitung der Photovoltaik ist die hohe Energiemenge, die von der Sonne ausgeht. An einem sonnigen Tag beträgt diese auf der Erdoberfläche ungefähr  $100\text{mW}/\text{cm}^2$ . Heutige Solarzellen besitzen eine durchschnittliche Energieeffizienz von 15%-20% [6]. Daraus folgt eine elektrische Energieerzeugung von  $15\text{-}20\text{mW}/\text{cm}^2$ .

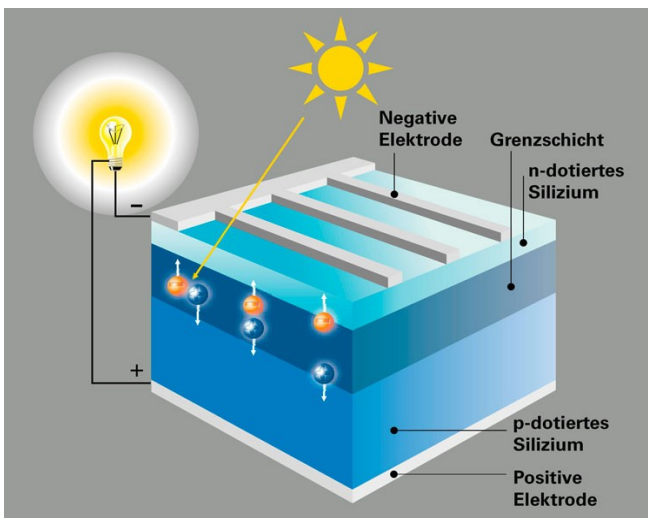


Fig 2.3: Aufbau einer Solarzelle

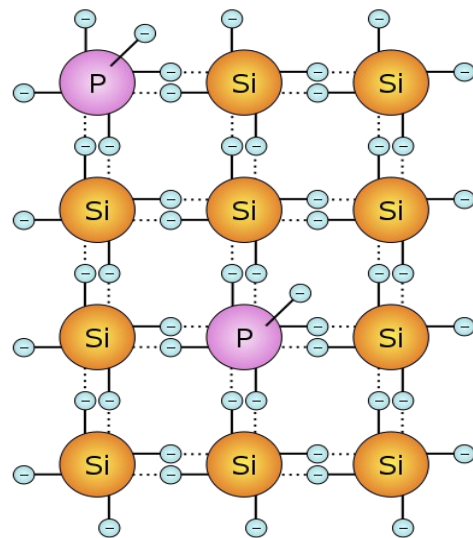


Fig 2.4: negativ dotierter Silizium-kristallgitter

Die Solarzellen bestehen meist aus 2 Schichten. Es handelt sich dabei um 2 Halbleiter: Die obere Schicht, auf welche die Sonne einwirkt, ist positiv dotiert und die darunterliegende Schicht ist negativ dotiert. Das heißt sie werden „verunreinigt“.

Um dies zu erreichen findet ein Austausch mit einzelnen Atomen des Halbleiters statt. Zum Beispiel werden bei einem negativ dotierten Halbleiter einige Atome des Leiters gegen Atome getauscht, die ein Elektron mehr auf dem Valenzband haben, als die eigentlichen Atome des Halbleiters. Dies hat zur Folge, dass der Halbleiter mehr freie Elektronen besitzt [7]. (siehe Fig. 2.4.)

Durch Einwirkung der Sonnenenergie kommt es in der Grenzschicht zwischen den beiden Schichten zur Freisetzung von Ladungsträgern. Dieser Vorgang führt wiederum zur Bildung eines zu den Schichten gegensätzlichen gepolten elektrischen Feldes. Die so entstandene Spannung kann nun durch Verbinden beider Schichten über einen Verbraucher als Strom genutzt werden [8].

Ein Problem der Photovoltaik im Zusammenhang mit Energy Harvesting ist aber, dass bei einer künstlichen Lichtquelle die Energieerzeugung auf ein Bruchteil dessen sinkt, was bei Sonneneinstrahlung erreicht wird. Innerhalb von Büros beträgt die durchschnittliche Lichtenergie, welche auf einem Schreibtisch einwirkt,

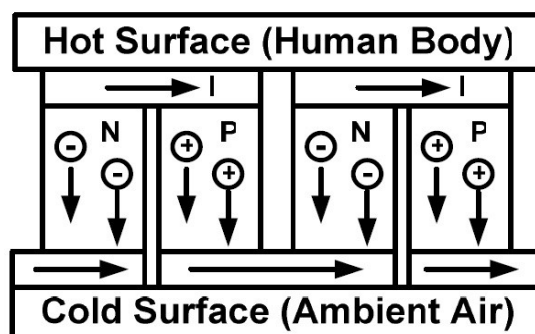
$100\mu\text{W}/\text{cm}^3$ . Dies entspricht eine Verringerung gegenüber der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche um den Faktor 1000. Weiterhin sinkt bei künstlichen Licht die Energieeffizienz auf 10%. Somit erreicht man nur eine elektrische Energieerzeugung von  $10\mu\text{W}/\text{cm}^3$  [2] .



## 2.c Thermoelektrik

Beim thermoelektrischen Effekt wird elektrische Energie anhand von Temperaturunterschieden zwischen zwei Kontaktstellen gewonnen. Der am meisten verbreitete Effekt, welcher hierfür genutzt wird, ist der nach seinem Erfinder benannte Seebeck-Effekt.

1821 entdeckte Johannes Seebeck, dass auf Grund von Temperaturunterschieden zwischen 2 verbundenen Leitern, eine Neugruppierung der Ladungsträger innerhalb dieser Leiter stattfindet. Um einen möglichst großen Energiegewinn zu erzielen, werden die Verbindungen zwischen den 2 Leitern elektrisch in Reihe geschaltet und thermisch parallel geschaltet. Die Neugruppierung der Ladungsträger erzeugt eine Spannung, welche durch Anschließen eines Verbrauchers als elektrische Energie genutzt werden kann [9] .



*Fig 2.5: Funktionsweise der Thermoelektrik*

Ein geringer Temperaturunterschied reicht bereits aus, um Energie im Mikrowatt-Bereich zu erzeugen. Mit dem heutigen Stand der Technik ist es möglich  $80\mu\text{W}/\text{cm}^2$  zu gewinnen [10] .

Besonders im medizinischen Bereich findet diese Art des Energy Harvestings große Beachtung, da die Körpertemperatur von Tieren und Menschen meist  $10\text{-}15\text{ }^\circ\text{C}$  über der Umgebungstemperatur liegt. Somit wäre eine dauerhafte Energiegewinnung möglich.

Die dadurch gewonnene Energie kann z.B. dazu genutzt werden, um die Batterielaufzeit von Herzschrittmacher zu verlängern. Heutige Herzschrittmacher haben eine durchschnittliche Laufzeit von 6 bis 7 Jahren und müssen danach durch einen chirurgischen Eingriff ersetzt werden, was somit vermeidbar wäre.

## 2d. Elektromagnetische Induktion

Die elektromagnetische Induktion wurde 1831 von Michael Faraday entdeckt.

Bei diesem Vorgang wird durch die Veränderung des magnetischen Feldes eines Leiters Strom erzeugt.

Meist nutzt man dazu eine elektrische Spule, um so den Induktionsstrom zu erhöhen. Die Veränderung des magnetischen Feldes kommt dadurch zu Stande, dass man die Spule senkrecht zu den magnetischen Feldlinien bewegt. Eine Veränderung des Magnetfeldes durch Bewegung des Magneten ist ebenso möglich [11].

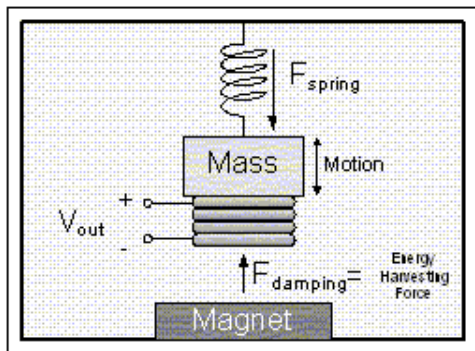


Fig 2.6: Elektromagnetische Induktion durch Vibration

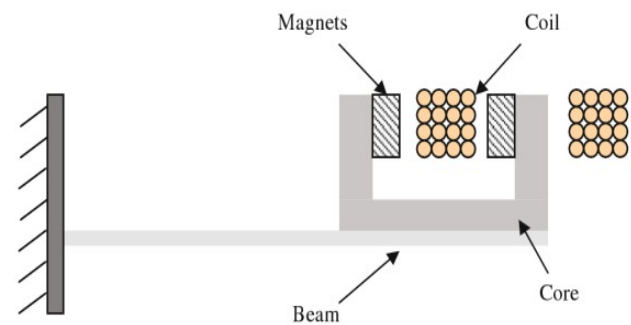


Fig 2.7: mit Piezokristalle kombinierbarer Aufbau

Bei der praktischen Umsetzung wird, wie bei der Piezoelektrizität, auf Vibration als Energiequelle gesetzt. Wie in Fig. 2.6 zu erkennen, befestigt man den Magnet oder die Spule an einem flexiblen Gegenstand, der durch die auftretenden Vibrationen leicht in Bewegung versetzt werden kann.

Es existieren auch ähnliche Aufbauten wie bei der Piezoelektrizität (Fig. 2.7). Gut vorstellbar ist hier auch eine Kombination mit Piezokristallen, um so den Energiegewinn zu maximieren [1].

Eine weitere Form der Energiegewinnung ist mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen möglich.

Bei den elektromagnetischen Wellen handelt es sich um eine Energieform, die in vielen verschiedenen Formen auftreten kann. Es handelt sich dabei um eine gekoppelte Welle aus elektrischen und magnetischen Feldern. Je nach Frequenz der Welle unterscheidet man in verschiedene Arten. Wir betrachten in diesem Abschnitt aber nur Wellen von 3 kHz bis 3 GHz; dies ist der Frequenzbereich der Radiowellen [2].

Da besonders in urbanen Gebieten die vorhandene Menge an Radiowellen sehr hoch ist, erhofft man sich diese effektiv nutzen zu können.

Dazu wird mit Hilfe von Antennen Energie in mobile Geräte wie z.B. Handys oder ähnlichem induziert.

Leider ist die effektive Reichweite jedoch sehr beschränkt: Bereits bei einer Entfernung von 12m beträgt die Energiemenge gerade mal  $30\mu\text{W}$  [12].

### **3.Fazit**

Auch wenn die Forschungen im Bereich des Energy Harvestings teilweise noch sehr weit am Anfang stehen, zeichnet sich schon eine hohes Potential ab. Eine stabile Energieversorgung durch alternativen Energien ist oft schon möglich.

Piezokristalle finden in den unterschiedlichsten Bereiche Anwendung und liefern schon eine beachtliche Menge an elektrischer Energie. Durch die Kombination mit der elektromagnetischen Induktion kann die gewonnene Energiemenge noch weiter gesteigert werden.

Besonders wichtig für (stationäre) Sensoren im Freien ist die Photovoltaik. Die gewonnene Energiemenge ist sehr hoch und die Forschungen in diesem Bereich sind auch sehr fortgeschritten.

Von großer Bedeutung für den medizinischen Bereich hingegen ist die Thermoelektrik, da sie zum Beispiel Operationen zum Austausch von Batterien eines Herzschrittmachers oder ähnlichem überflüssig macht.

Die allgemeine Nutzung von Radiowellen als Energiequelle steht noch sehr weit am Anfang. Aufgrund der noch geringen Reichweite ist sie meines Erachtens nur gering umsetzbar. Besonders in urbanen Gebieten wäre aber eine Umsetzung sehr interessant, da somit eine flächendeckende kabellose Energieversorgung möglich wäre.

Quellen:

Literatur:

- [1] Priya/Inman: *Energy Harvesting Technologies*, Springer Science+Business Media, USA,2009.
- [2] Roundy/Wright/Rabaey: *Energy Scavenging for Wireless Sensor Networks*, Kluwer Academic Publishers, USA, 2004.

Internet/ Journal:

- [3] Seminararbeit: *Betrachtungen zum Energieverbrauch von Sensorknoten*  
[http://mns.ifn.et.tu-dresden.de/Lists/nPublications/Attachments/320/Schwieger\\_K\\_ITG\\_03.pdf](http://mns.ifn.et.tu-dresden.de/Lists/nPublications/Attachments/320/Schwieger_K_ITG_03.pdf)
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity>
- [5] Shenck, Paradiso: *Energy Scavenging with Shoe-Mounted Piezoelectrics*, MIT, 2005
- [6] Randall: *On ambient energy sources for powering undoor electronic devices*, Switzerland, 2003
- [7] <http://de.wikipedia.org/wiki/St%C3%B6rstelle>
- [8] [http://www.solartechnik-unterfranken.de/was\\_ist\\_photovoltaik.html](http://www.solartechnik-unterfranken.de/was_ist_photovoltaik.html)
- [9] Lu, Park, Raghunathan, Roy: *Analysis and Design of Ultra Low Power Thermoelectric Energy Harvesting Systems*,2010
- [10] Pescovitz : *The Power of Small Tech*. Smalltimes, 2002
- [11] [http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische\\_Induktion](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Induktion)
- [12] Powercast: <http://www.powercastco.com/>