

# Ausarbeitung

---



## Energy Harvesting

Franz, Michael  
Tischler, Silja-Fabienne  
07.06.2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>2</b>
<i>Einleitung .....</i>	<i>3</i>
<b>Definition Energy Harvesting .....</b>	<b>4</b>
<b>Erklärung der einzelnen Prinzipien .....</b>	<b>5</b>
<i>Prinzip 1: Energiegewinnung durch Rotation .....</i>	<i>5</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	5
Beispiel: Nabendynamo Shimano DH – 3N30 .....	6
Beispiel: Windkraft .....	8
Beispiel: Wasserkraft.....	10
<i>Prinzip 2: Energiegewinnung durch Translation .....</i>	<i>11</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	11
Beispiel: ECO 100 - EnOcean.....	11
<i>Prinzip 3: Energiegewinnung durch Vibration .....</i>	<i>12</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	12
Beispiel: D220-A4-503XE – Piezo-Energy-Harvester .....	13
<i>Prinzip 4: Energiegewinnung durch Strahlung.....</i>	<i>14</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	14
Beispiel: Solarmodule – SW 3061 SunWare .....	15
Beispiel: Nanoantennen – Energie aus IR-Strahlung.....	16
<i>Prinzip 5: Energiegewinnung durch Thermik .....</i>	<i>17</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	17
Beispiel: Thermogenerator.....	17
<i>Prinzip 6: Energiegewinnung durch Funkwellen.....</i>	<i>19</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	19
Beispiel: P1110 und P2110 Powerharvester - RFDC.....	19
<i>Prinzip 7: Energiegewinnung durch Schall.....</i>	<i>21</i>
Allgemeines Funktionsprinzip .....	21
Beispiel: SONEA – Sonic Energy Absorbing .....	21
<b>Vor – und Nachteile.....</b>	<b>23</b>
<b>Ergebnis der kleinen Patentrecherche .....</b>	<b>25</b>
<i>Patent 1: Glasloses, flexibles Solar-Laminat .....</i>	<i>25</i>
<i>Patent 2: Piezoelectric Kinetic Energy Harvester .....</i>	<i>25</i>
<i>Patent 3: RF Energy Harvesting Circuit .....</i>	<i>26</i>
<i>Patent 4: Thermoelement zur Gewinnung elektrischer Energie und .....</i>	<i>26</i>
<i>Anordnung mit einem Thermoelement und einem Fotoelement .....</i>	<i>26</i>
<b>Bewertung der ausgewählten Prinzipien .....</b>	<b>27</b>
<i>Quellenangabe.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildungsverzeichnis.....</i>	<i>32</i>

## Einleitung

Dieser Bericht, welcher Bestandteil der Laborveranstaltung Informationstechnik bei Prof. Jürgen Walter und ist in Zusammenarbeit mit der Firma Hirschmann Automation and Control GmbH in Ettlingen entstanden. Unsere Vorgabe war es eine Recherche über Energy Harvesting Systeme und mögliche Energiequellen für Energy Harvesting zu finden. Anbei sollte eine kleine Patentrecherche über womöglich bestehende Systeme durchgeführt werden und die Realisierbarkeit an einer Hakenflasche betrachtet werden. Die Dokumentation besteht insgesamt aus 3 Teilen:

- Bericht in .pdf  
→ Der Bericht in Form eines Word-Dokuments erläutert kurz die wesentlichen Funktionsprinzipien einzelner Energiegewinnungssysteme und führt zudem Beispielprodukte mit einzelnen Kennwerten auf.
- Präsentation in .ppt  
→ Die Präsentation in PowerPoint gibt einen schnellen Überblick über einzelne Energiegewinnungssysteme und leuchtet bereits bestehende Energy Harvesting Systeme auf.
- Onlinedokumentation (Internetadresse: [http://info.hit-karlsruhe.de/info-ss11/Energy\\_Harvesting\\_Recherche/](http://info.hit-karlsruhe.de/info-ss11/Energy_Harvesting_Recherche/) , geschützt durch Blocken der Ergebnisse bei Suchmaschinen )  
→ In der Onlinedokumentation sind diese beiden Teilbereiche zusammengefasst.

Der Bericht gliedert sich folgendermaßen:

- Definition des Begriffs „Energy Harvesting“
- Erklärung der einzelnen Energiegewinnungsprinzipien mit Produktbeispiel
- Eine kurze Beschreibung der Vor- und Nachteile der zuvor erläuterten Prinzipien
- Das Ergebnis der kleinen Patentrecherche
- Bewertung von 3 ausgewählten Prinzipien

Die Zeit für die Ausarbeitung betrug 90h und wurde im Sommersemester 2011 an der Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft von Michael Franz und Silja-Fabienne Tischler verfasst.

## Definition Energy Harvesting

Energy Harvesting ist eigentlich ein ziemlich „alter Hut“ und immer noch ein sehr verbreitetes Verfahren um Energie zu gewinnen. Es ist eben Gewinnung von Energie aus der, im Umfeld befindlichen potentiellen Energien. Sei das nun eine Bewegung, ein Temperaturunterschied oder Umweltgegebenheiten, wie Sonnenstrahlung. Ein sehr frühes Beispiel ist die Umsetzung von Wasserkraft in mechanische Kraft (eine Wassermühle kann hier als Beispiel dienen) und sein Pendant dazu ist ein Wasserkraftwerk, welches heutzutage etliche Haushalte mit Strom versorgen kann. Ein sogenannter Energy Harvester – ein „Energie – Ernter“ ist demnach ein Modul, welches die potentielle Energie aus dem Umfeld in eine brauchbare, häufig elektrische Energie wandelt. Hierfür werden Mikrogeneratoren, Photovoltaik-Module, thermische Generatoren, und weitere Module eingesetzt, welche die Nutzbare Energie in ein elektrisches Signal umwandeln. Eine sehr bekannte und häufige Anwendung für dieses (meist Mikro-) Energy Harvester ist heute in der Elektrotechnik zur Versorgung von Sensoren mit ausreichend Energie für den Betrieb und die Messweitergabe an einen Empfänger. Per Funksignal o.Ä. (siehe Abbildung 1)

### Energy Harvesting: Systemaufbau

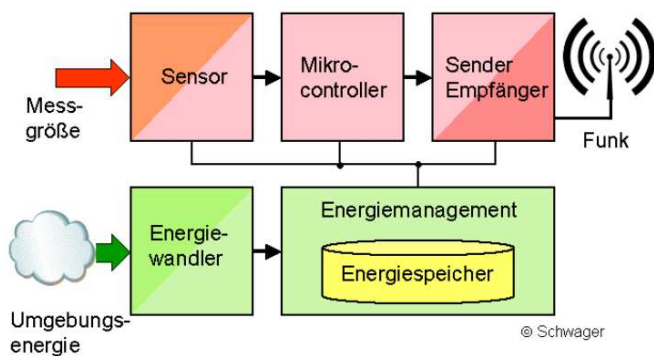


Abbildung 1: Energy Harvesting Systemaufbau

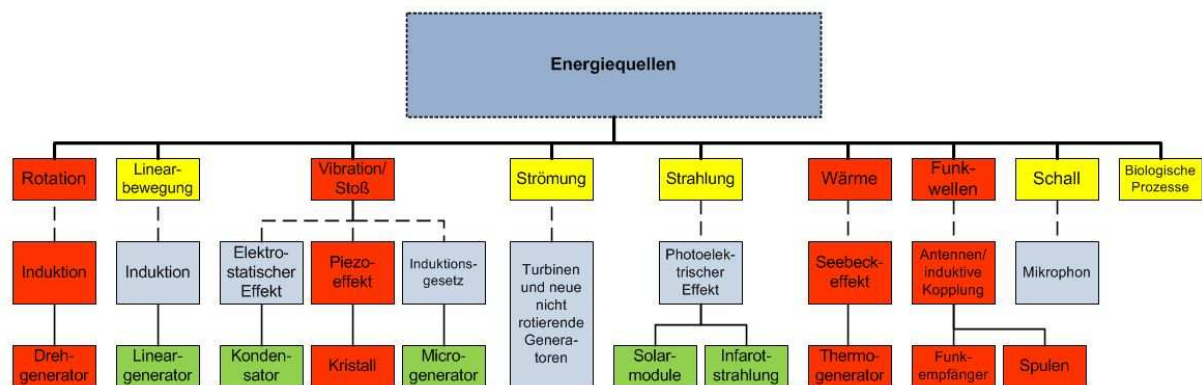


Abbildung 2: verwendbare Energiequellen



# Erklärung der einzelnen Prinzipien

## Prinzip 1: Energiegewinnung durch Rotation

### Allgemeines Funktionsprinzip

Bei der Energiegewinnung durch Rotation wird die Induktion genutzt. Durch die Bewegung eines anliegenden Magnetfeldes fängt in gewickelten Spulen an ein Strom zu fließen, welcher genutzt

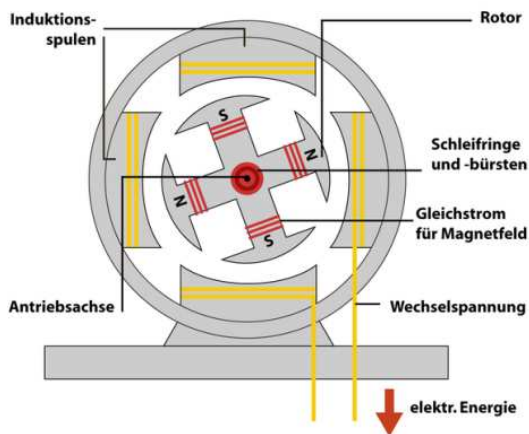
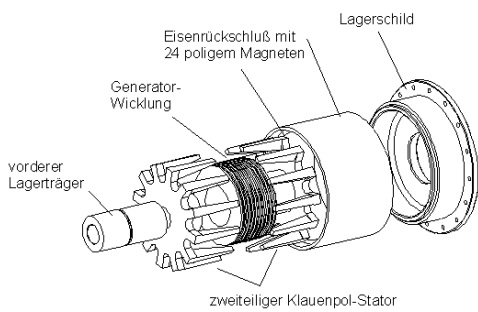


Abbildung 3: Rotationsgenerator

werden kann. Das ist das umgekehrte Prinzip eines Elektromotors, welcher durch Anlegen eines Stromes das Magnetische Feld an den Spulen ändert und damit eine Bewegung hervorruft. Sehr häufig sind solche Generatoren/Aktuatoren mit Permanentmagneten ausgestattet. Um eine Vorhandene Bewegung durch Induktion zu einer elektrischen Leistung zu bringen, muss ein Wandler der vorhandenen Bewegung zum Generator gegeben sein. Im einfachsten Fall ist der Generator einfach mit einem rotierenden Teil zu verbinden, wobei die Verbindung mit dem Generator hier den Wandler der Bewegung darstellt. Nutzt man andere Effekte, wie z.B. Wind oder Wasser so muss als Übersetzer

z.B. eine Turbine eingesetzt werden, um eben diese Energiequelle zu nutzen.

**Beispiel: Nabendynamo Shimano DH – 3N30**



Der Nabendynamo ist ein kleiner Elektrogenerator, der durch Rotation elektrische Energie erzeugt. Die Rotation kann direkt von der Seilwinde auf den Nabendynamo übertragen werden. Um eine höhere Energie zu erzeugen ist es jedoch sinnvoll, den Nabendynamo unterhalb der Seilwinde anzubringen und die Rotation mittels eines Riemens auf den Dynamo zu übertragen. Somit erhält man eine höhere Drehzahl am Nabendynamo.

Abbildung 4: Aufbau Nabendynamo



Abbildung 5: Shimano DH-3N30

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	nein	+++
Leistungsausbeute	6V / 3W	+++
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	ja	++
elastisch verformbar	Nein	0
Herstellbarkeit im System	Konstruktion nötig	0
Integrierbarkeit in das System	Möglich	+++
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Gegeben	+
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Shimano und andere Hersteller	+++
Größe	Gabeleinbaubreite: 100 mm	+
Gewicht	<1 kg	+
Kosten	Ab ca. 30€	+

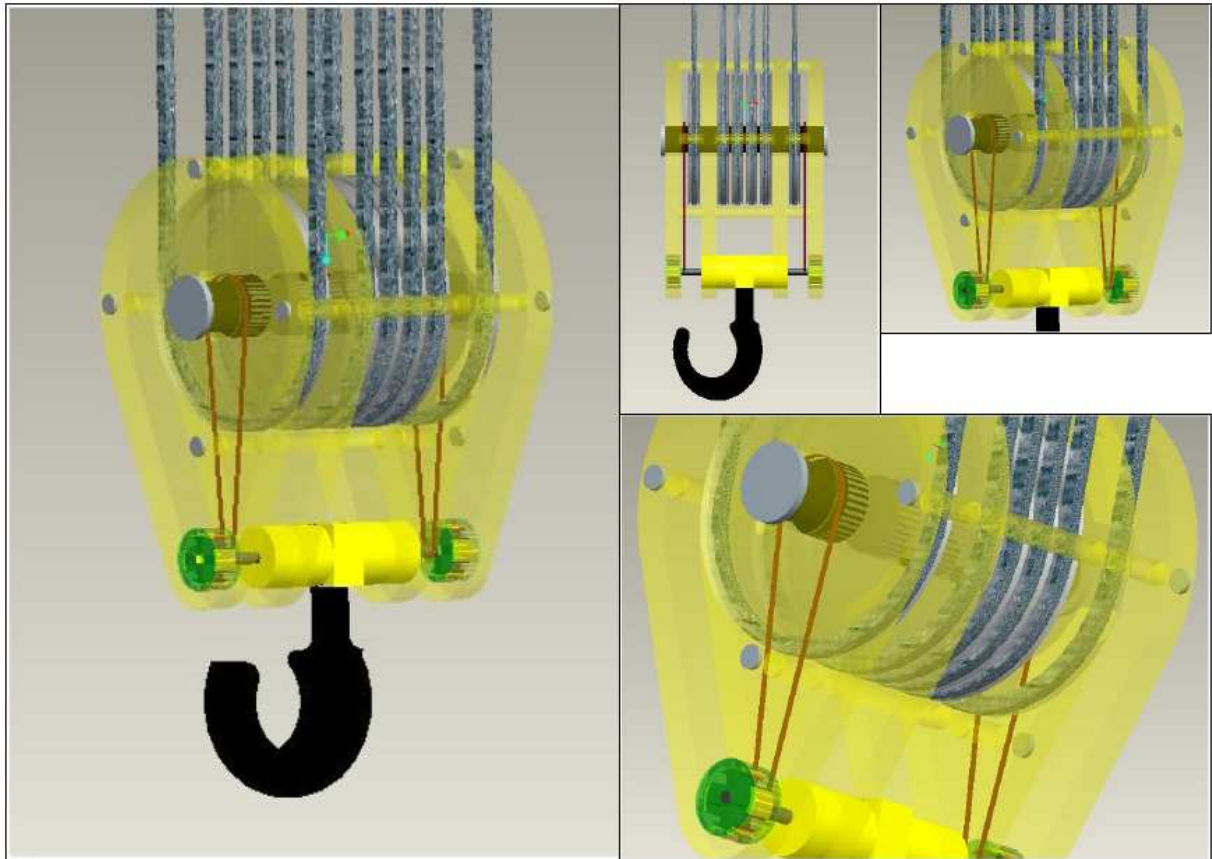


Abbildung 6: Lösung an der Hakenflasche mit einem Rotationsgenerator, der von der Seilwinde angetrieben wird

**Beispiel: Windkraft**

Bei der Energiegewinnung durch Windkraft wird die Energie des Windes mit Hilfe von Rotoren und einer Welle auf einen Generator übertragen. Durch die Rotation erzeugt der Generator elektrische Energie, welche bei Windkraftanlagen in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird. Um eine vernünftige Leistungsausbeute zu bekommen wird vor den Generator noch Getriebe gesetzt, welches für höhere Drehzahlen am Generator sorgt.

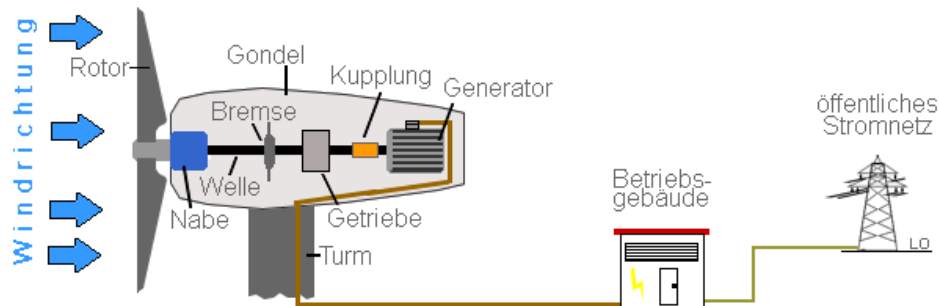


Abbildung 7: Aufbau Windkraftwerk

Für die Verwendung der Windkraft an einer Hakenflasche ist das System von Windkraftanlagen wie man es aus großen Windparks kennt, nicht geeignet. An einer Hakenflasche muss ein durchgehender Windkanal vorgesehen werden, in dem sich miniaturisierte Rotorblätter befinden, welche durch einströmende Luft in Bewegung versetzt werden. Außerdem muss von der Nabe des Rotors eine Umlenkswelle weggeführt werden, da das Getriebe und der Generator sich nicht im Windkanal befinden dürfen um eine optimale Führung der Luft zu gewährleisten.

Ein großes Problem bei der Verwirklichung dieses Beispiels an einer Hakenflasche wird jedoch sein, dass eine bestimmte Windgeschwindigkeit vorherrschen muss, um die Rotorblätter anzutreiben, da der Widerstand des Generators überwunden werden muss. Außerdem ist nicht gewährleistet, aus welcher Richtung der Luftstrom kommt und dass die Hakenflasche danach ausgerichtet ist. Somit sollte die Hakenflasche von mehreren Windkanälen durchzogen sein, was sie wahrscheinlich instabil macht.

Da das Windkraftwerk eigentlich ständig elektrische Energie produziert sollte die überschüssige Energie gespeichert werden, um bei einer Versorgung auch bei einer Windflaute sicher zu stellen.

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Nein	+++
Leistungsausbeute	keine Angabe	/
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	ja	++
elastisch verformbar	nein	/
Herstellbarkeit im System	Hakenflasche muss neu konzipiert werden	--
Integrierbarkeit in das System	ja	++
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	ja	+
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Nein	---
Größe	Je nach Hakenflasche	---
Gewicht	leicht	+
Kosten	Incl. Entwicklungskosten → hoch	--



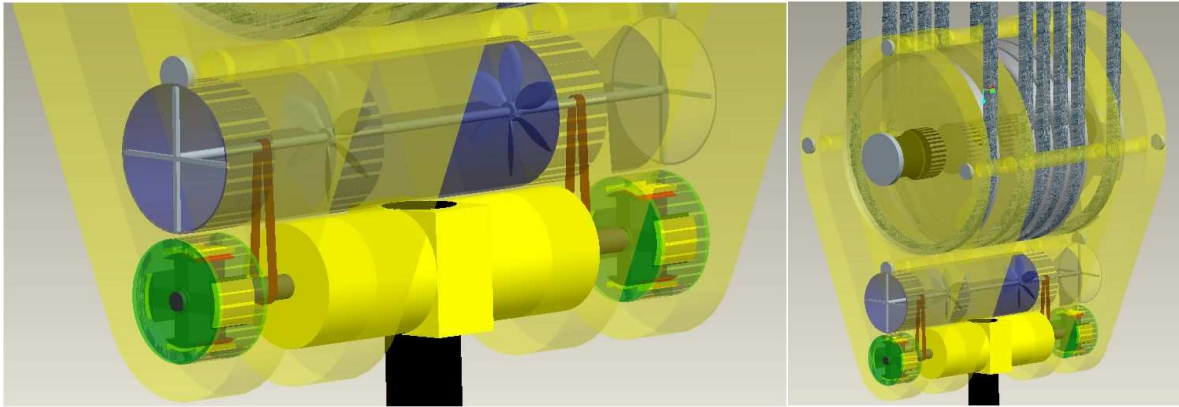


Abbildung 8: Lösung an der Hakenflasche mit einem Rotationsgenerator, der mit Windkraft angetrieben wird

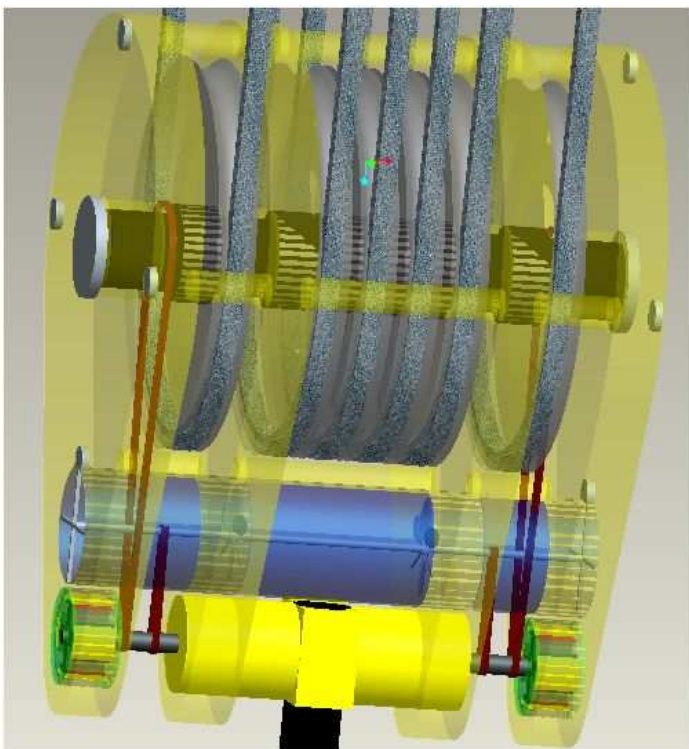


Abbildung 9: Lösung a der Hakenflasche mit einem Rotationsgenerator, der durch eine Kombination aus Windkraft und Seilwinde angetrieben wird

## Beispiel: Wasserkraft

Minimale Restenergie muss immer vorhanden sein um Ventile zu schließen bzw. zu öffnen  
Bei Energiegewinnung mit Hilfe von Wasserkraft wird die potentielle Energie des Wassers, oder eines anderen flüssigen Mediums mittels einer Turbine und eines mit der Turbine verbundenen Generators in elektrische gewandelt.

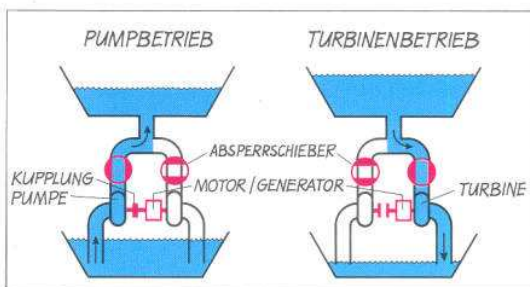
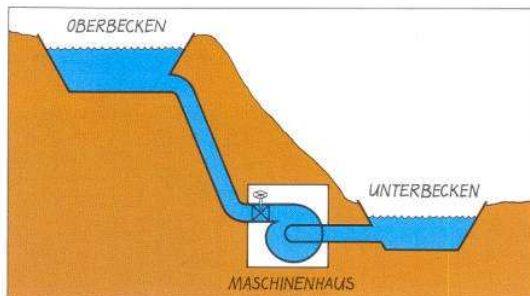


Abbildung 10: Aufbau Pumpspeicherkraftwerk

Das Wasser fließt aus einem Behälter, der potentiell über der Turbine liegt durch eine Leitung auf die Turbine und versetzt diese in Bewegung. Diese rotatorische Bewegung wird dann auf den Generator übertragen (notfalls wie beim Beispiel Windkraft über ein Getriebe), welcher die gewünschte elektrische Energie erzeugt. Das heruntergeflossene Wasser wird dann in einem zweiten Behälter aufgefangen und mit der momentan nicht benötigten Energie wieder in das obere Reservoir gepumpt. Bei diesem Vorgang sollte jedoch sicher gestellt sein, dass das herabfließende Wasser mehr Energie erzeugt, als die Pumpe benötigt um das Wasser wieder nach oben zu pumpen. Es sollte ebenfalls sichergestellt sein, dass immer eine Restenergie im System ist, die zum Öffnen, bzw. Schließen der Ventile benötigt wird.

Bei der Verwendung eines solchen Systems an einer Hakenflasche handelt es sich um ein in sich geschlossenes, miniaturisiertes System welches zyklisch abläuft.

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	nein	+++
Leistungsausbeute	keine Angaben	/
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	ja	+
elastisch verformbar	nein	/
Herstellbarkeit im System	Hakenflasche und Wasserkraftwerk muss neu konzipiert werden	--
Integrierbarkeit in das System	ja	+
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	ja	++
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	nein	---
Größe	groß	--
Gewicht	schwer	---
Kosten	Incl. Entwicklungskosten → hoch	---

## Prinzip 2: Energiegewinnung durch Translation

### Allgemeines Funktionsprinzip

Natürlich kann der Effekt der Stromerzeugung durch Induktion auch bei translatorischen Bewegungen genutzt werden. Hier muss, im Gegensatz zur rotatorischen Bewegung das magnetische Feld durch eine ausreichend weite Bewegung zur Verfügung stehen, oder die benötigte Feldänderung durch oszillierende, translatorische Bewegungen gegeben sein. Ein Beispiel ist z.B. das eintauchen eines Magneten in eine Spule (Tauchspule)

#### Beispiel: ECO 100 - EnOcean

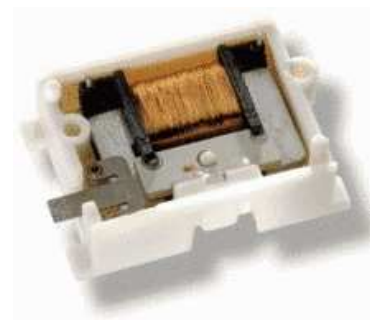


Abbildung 11: EnOcean ECO 100

Bei diesem Modul handelt es sich um ein fertiges Modul von EnOcean, welches durch einen Tastendruck ausreichend Energie erzeugt, um ein Signal an einen Empfänger zu senden, ohne dass das Modul eine eigene Versorgung oder Kapazität benötigt. Allein der Tastendruck und die dadurch entstehende Bewegung reichen aus für die Signalübertragung.

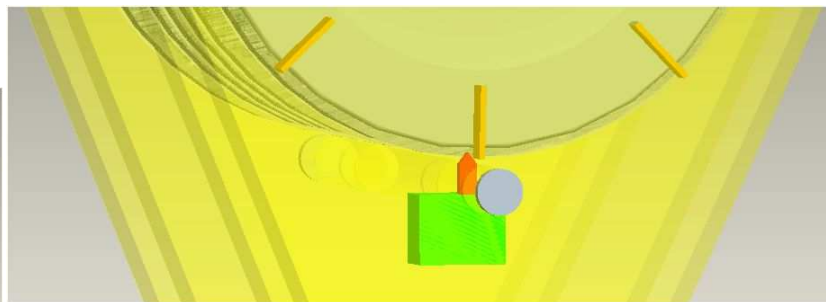
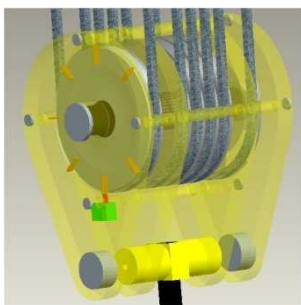


Abbildung 12: Lösung an der Hakenflasche mit dem EnOcean ECO 100

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Nein	/
Leistungsausbeute	Gering, nur für die Übertragung eines Signals; Erzeugt einen Puls von ca. 5V	---
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	Ja	/
elastisch verformbar	Nicht relevant	--
Herstellbarkeit im System	Umkonzipierung notwendig	--
Integrierbarkeit in das System	Je nach Konstruktion	--
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Benötigt wird ein Tastendruck: 2.1±0.5 N / 2.0 mm	-
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Bei EnOcean	+
Größe	33,3mm x 22,0mm x 10,8 mm	++
Gewicht	Leicht << 1kg	++
Kosten	1 Stck.: £8.45 ( <a href="http://uk.rs-online.com/web/0189021.html">http://uk.rs-online.com/web/0189021.html</a> )	+++

## Prinzip 3: Energiegewinnung durch Vibration

### Allgemeines Funktionsprinzip

Es gibt verschiedene Arten mit Vibration elektrische Energie zu erzeugen. Eine ist z.B. an Werkzeugmaschinen die Schwingungen aufzunehmen und an einen Schwinggenerator weiterzugeben.

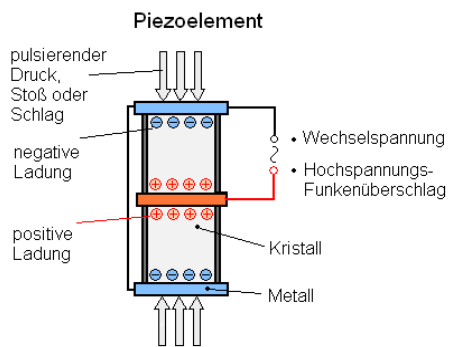


Abbildung 13: Funktionsprinzip Piezo-Element

Andererseits gibt es den Piezo-Effekt. Beim Piezo-Effekt entsteht durch das Anlegen einer Kraft, welche eine Verformung eines Piezo-Materials hervorruft eine Spannung. Durch das Zusammendrücken des Materials ordnen sich die Protonen und Elektronen so an, dass ein Dipol entsteht. Wird nun dieses Material frequenziell zusammengedrückt und entlastet entsteht ein Wechselstrom.

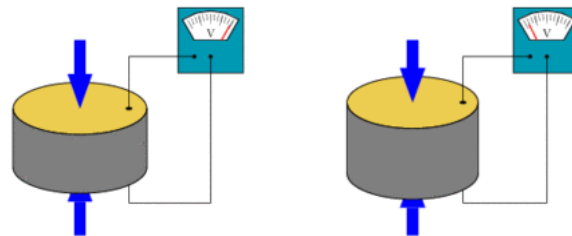
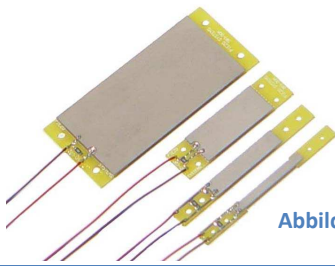


Abbildung 14: Piezo-Effekt bei Kräfteinwirkung

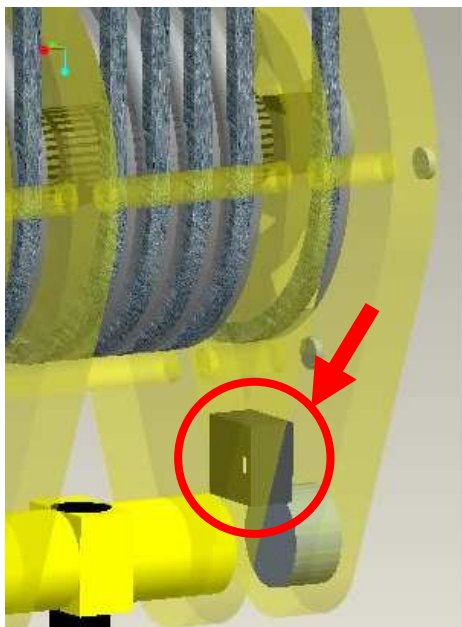
**Beispiel:** *D220-A4-503XE – Piezo-Energy-Harvester*



Hierbei handelt es sich um ein Piezo-Modul, welches durch einfache mechanische Belastung eine Spannung erzeugt. Das Modul kann bei 750Hz bis zu 650mW an Energie liefern und hat eine Biegesteifigkeit von  $8 \times 10^6$  N/m.

Abbildung 15: D220-A4-503XE

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Nein	+++
Leistungsausbeute	Bis zu 650mW bei 750Hz	/
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	Je nach Anwendung, da die Energie: $\pm 64V$ / $\pm 105\mu A$	-
elastisch verformbar	Ja	+
Herstellbarkeit im System	Ja	++
Integrierbarkeit in das System	Ja	++
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Verformung durch Verformung gewünscht, allerdings ist auf die Biegesteifigkeit zu achten	+
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Piezo.com	+
Größe	76,2mm x 31,8mm x 1,5mm	+
Gewicht	10,4 g	+
Kosten	1 Stk.: \$249	-



Es könnte hier die Vibration der Hakenflasche selbst, ob jetzt beim Verfahren oder auch im Stillstand, genutzt werden um ein bewegliches Gewicht im Inneren eines Systems aus Piezo-Elementen beweglich gelagert ist (siehe Patent von Nokia).

Abbildung 16: Lösung an der Hakenflasche mit Piezo-Elementen (Box "integriert")

## Prinzip 4: Energiegewinnung durch Strahlung

### Allgemeines Funktionsprinzip

Bei dieser Form der Energiegewinnung wird die Strahlung der Sonne (sichtbares Licht und nicht sichtbares Licht) in elektrische Energie gewandelt.

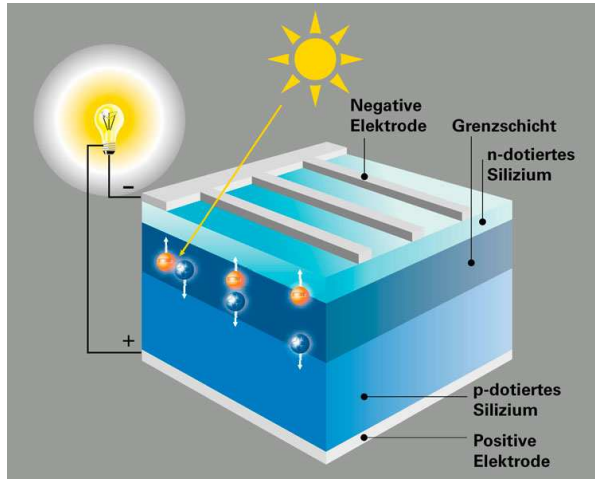


Abbildung 17: Funktionsprinzip der Gewinnung von Energie durch Strahlung

Solche Module besitzen zwei Siliziumschichten, welche unterschiedlich dotiert sind und auch mit verschiedenen chemischen Elementen vermischt wurden. Meist wird die n-dotierte Siliziumseite mit Bor und die p-dotierte Seite mit Arsen vermischt. Durch die Eigenschaft der Verbindung zwischen den Elementen ergibt sich bei der n-dotierten Seite ein Elektronenüberschuss und auf der p-dotierten Seite ein Elektronenmangel.

Durch die einfallende Strahlung werden die überschüssigen, also freien Elektronen im n-dotierten Bereich angeregt und aus der Bindung gelöst. Sie diffundieren nun in den p-dotierten

Bereich und werden durch eine positive Elektrode vom Modul abtransportiert.

Durch diese Vorgehensweise erhält man zwischen negativer und positiver Elektrode eine Gleichspannung.

**Beispiel:**      *Solarmodule – SW 3061 SunWare*

Bei Solarmodulen werden mehrere Solarzellen aneinandergereiht um eine größere Fläche und somit mehr elektrische Energie zu erzeugen.



Abbildung 18: flexibles Solarmodul

An einer Hakenflasche stellt die große Fläche eigentlich kein Problem dar. Jedoch hat man das Problem der Stabilität. Solarmodule sind für gewöhnlich nicht allzu robust und sehr anfällig was Beschädigungen an der Oberfläche angeht. Es wurden jedoch auch schon Solarmodule entwickelt, die gefaltet, gerollt und auch von einer Person betreten werden können. Diese Module würden sich für die Anwendung an einer Hakenflasche eignen.

Das größte Problem ist jedoch, dass es auf einer Baustelle sehr schmutzig ist und die Oberfläche der Solarmodule schnell schmutzig ist. Somit sinken der Wirkungsgrad und die vom

Modul zur Verfügung gestellte Leistung.

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Ja	---
Leistungsausbeute	Je nach Modul (Modul:12V, 0,55A)	++
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	Ja	+++
elastisch verformbar	Komplettes Modul, nicht die einzelnen Solarzellen	+
Herstellbarkeit im System	Ja	++
Integrierbarkeit in das System	nein	---
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Ja	+
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Ja	+
Größe	Groß (12W-Modul: 249x467)	--
Gewicht	Leicht (12W-Modul: 3kg)	+
Kosten	Hoch (12W-Modul: 229€)	+

**Beispiel: Nanoantennen – Energie aus IR-Strahlung**



Abbildung 19: Nano-Antennen Folie

Im Gegensatz zu Solarzellen, welche so gut wie ausschließlich sichtbares Licht als Energiequelle nutzen, wird bei diesen Nanoantennen die IR-Strahlung der Sonne, der Erde oder auch die Abwärme von Maschinen genutzt. Laut Forschern des INL (Idaho National Laboratories) beträgt der Wirkungsgrad dieser Folien, die mit Nano-Antennen ausgestattet sind, bis zu 80%, was die Solarzellen zusätzlich zu dem beschränkten Lichtspektrum weiter in den Schatten stellt. Ein Großes Problem bei diesen Nano-

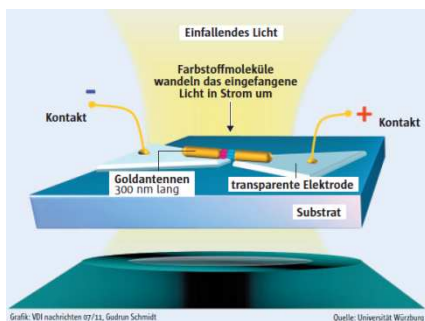


Abbildung 20: Funktionsprinzip Nano-Antenne mit Halbleiter

Antennen Folien ist allerdings noch die Verwendung der erzeugten Energie. Es wird ein Wechselstrom von mehreren Mio. Hz erzeugt, welcher für die Verwendung noch durch einen Gleichrichter verwendbar gemacht werden müsste, den es noch nicht so gibt. Allerdings gibt es hier Bedenken über die Wirksamkeit dieses Prinzips. Eine weitere Form der modifizierten Solarzelle ist eine Kombination aus Halbleiter und Nanoantennen aus Goldbarren im Nanometerbereich, wobei durch Lichteinstrahlung Plasmonen entstehen, welche ihre Energie an die Elektronen abgeben. Im Endeffekt kann man einen elektrischen Strom gewinnen.

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Da die Folie auf IR-Strahlung reagieren, können wir nicht genau sagen, ob eine Oberflächliche Verschmutzung eine Beeinträchtigung hat	/
Leistungsausbeute	Bis zu 80%	+++
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	Es ist für die Verwendung der Energie ein Gleichrichter für sehr hochfrequente Wechselströme notwendig	---
elastisch verformbar	Ja, da es eine Folie ist	++
Herstellbarkeit im System	Einfach aufkleben	+++
Integrierbarkeit in das System	In wieweit die Strahlung innerhalb des Systems genutzt werden kann, können wir nicht sagen	/
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Keine Angaben	/ (eher +)
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Noch nicht auf dem Markt	---
Größe	Flexibel anpassbar	+++
Gewicht	Folie	+++
Kosten	Keine Angaben, aber das Herstellungsverfahren, sei wohl wesentlich günstiger als jenes der Solarzellen	+



## Prinzip 5: Energiegewinnung durch Thermik

### Allgemeines Funktionsprinzip

Bei der Energiegewinnung durch Thermik wird der sogenannte Seebeck-Effekt genutzt.

Durch die unterschiedliche Erwärmung eines metallischen Gegenstandes (z.B. Metallstab) befinden sich die Elektronen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Da jedes System den für sich besten Energiezustand einnehmen will, findet durch Diffusion ein Konzentrationsausgleich statt. Die Elektronen mit dem höheren Energiezustand (auf der einen Seite) vermischen sich mit den Elektronen, die einen geringeren Energiezustand haben (von der Seite). Durch diese Bewegung der Elektronen im Metall kann Strom gewonnen werden. Die Energieausbeute ist jedoch sehr gering.

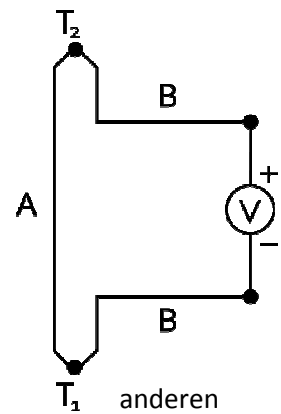


Abbildung 21: Seebeck-Effekt Schaltkreis

### Beispiel: Thermogenerator

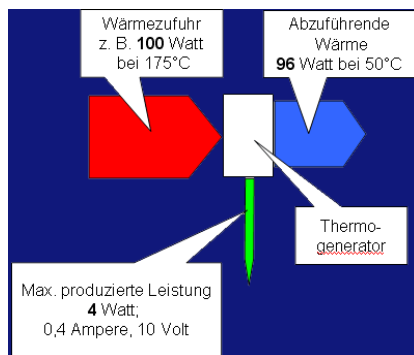


Abbildung 22: Funktionsprinzip Thermogenerator

Um eine höhere Energieausbeute zu erzielen werden bei Thermoelementen meist zwei unterschiedliche Metalle benutzt. Hierbei müssen nur die beiden Kontaktstellen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus gehalten werden. Somit verstärkt sich der Effekt.

$$U = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

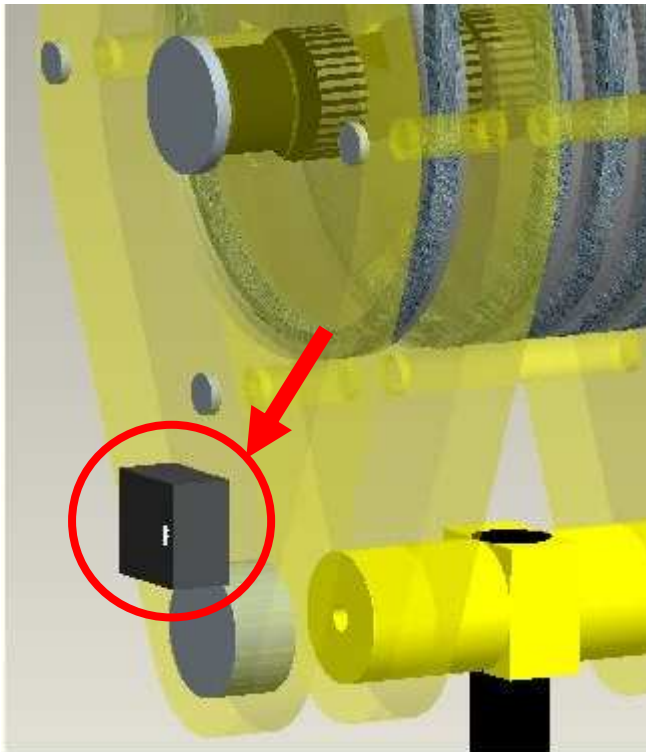


Abbildung 23: Lösung an der Hakenflasche mit einem Thermogenerator (Box "extern")

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Nein	++
Leistungsausbeute	Keine Angaben	/
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	Ja	++
elastisch verformbar	Nein	-
Herstellbarkeit im System	Schwer	-
Integrierbarkeit in das System	Keine Angaben	/
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Geht so	+
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Ja	++
Größe	Klein	++
Gewicht	Gering	++
Kosten	Keine Angaben	/

## Prinzip 6: Energiegewinnung durch Funkwellen

### Allgemeines Funktionsprinzip



Abbildung 24:  
Energieübertragung per Funk

Funkwellen sind so gut wie überall in der Umgebung vorhanden. Sie befinden sich in Form von z.B. Radiowellen permanent in der Luft. schon am Anfang des 20. Jhdt. hat Tesla einen kleinen Funkmotor entwickelt, welcher sich durch Aufnahme von Funkwellen eines Radiosenders bewegt entwickelt. Lange Zeit ist das in Vergessenheit geraten. Die Idee der kabellosen Übertragung von elektrischer Energie ist auch bekannt. Seit einiger Zeit befasst sich die Industrie auch mit der Energieerzeugung aus Funkwellen. Es gibt z.B. Handy oder Chiphersteller die sich damit beschäftigen Module zu entwickeln welche die Energie der Funkwellen nutzen um die Akkulaufzeit eines Handys zu verlängern oder gar die Verwendung eines Akkus völlig überflüssig zu machen. Hierbei wird eine kleine Spule als Empfänger für die elektromagnetischen Wellen genutzt. Dieses System der Energiegewinnung wird auch Radio Frequency DC, kurz RFDC genannt. RFID ist ein bekanntes und verbreitetes System der Aufnahme von

Radiowellen um einen kleinen Sensor mit ausreichend Energie zu versorgen um ein Signal auszusenden (also das ursprüngliche Prinzip des Microenergy-Harvesting z.B. in der Gebäudetechnik), RFDC geht einen Schritt weiter: Hier wird die Energie die aus Radiowellen gewonnen werden kann teilweise in Batterien eingespeist und es können Module permanent mit Energie versorgt werden. Natürlich sind dieses System und die geerntete Energie abhängig von der zur Verfügung stehenden Empfangsleitung am RFDC-Modul.

### Beispiel: *P1110 und P2110 Powerharvester - RFDC*



Abbildung 24: RFDC  
Powerharvester

P1110 ist ein Modul (Powerharvester) der für die Aufladung einer Batterie oder zur direkten Verwendung der Energie entwickelt wurde und eine Spannung von bis zu 4,3V bei 50mA liefern kann. der Powerharvester P2110 stellt pulsierende Energie zur Verfügung. Beide Module sind für 850 – 950MHz ausgelegt. Nähere Daten sind in den

Datenblättern zu finden. Für das Modul P2110 folgt eine kleine Auswertung. Es sind auch Entwicklungs-Kits dieser Module beim gleichen Hersteller zu erwerben.

**Powerharvester Efficiency vs.  $RF_{IN}$  (dBm)**

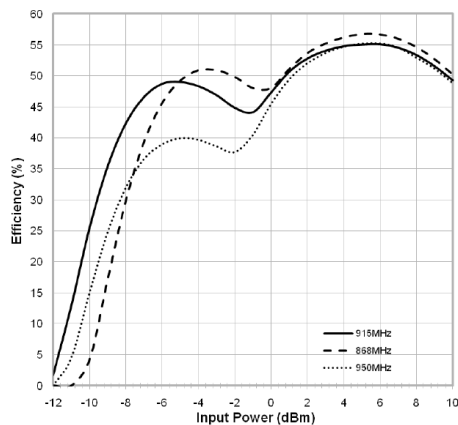


Abbildung 25: Powerharvester Leistungskurve

[dBm] ist die Empfangsleistung am Modul wobei 0dB 1mW entsprechen

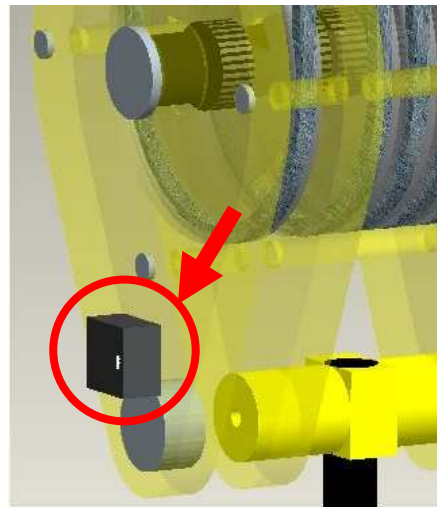


Abbildung 26: Lösung an der Hakenflasche mit RFDC (Box "extern")

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Unabhängig	+++
Leistungsausbeute	Max. 5.25V / 50mA DC	+
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	Gleichspannung	+
elastisch verformbar	Nein	---
Herstellbarkeit im System	Einfach	+
Integrierbarkeit in das System	Sehr gut möglich, ohne große Konstruktionen, allerdings: Funkwellen werden von Metall sehr stark geschwächt ( <a href="http://de.kioskea.net/contents/wireless/wlpropa.php3">http://de.kioskea.net/contents/wireless/wlpropa.php3</a> )	---
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	SMD-Bauteil	/
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Hersteller: <a href="http://www.powercastco.com/products/powerharvester-receivers/">http://www.powercastco.com/products/powerharvester-receivers/</a>	+
Größe	13,46mm x 13,9mm x 3,96mm	+++
Gewicht	SMD-Bauteil	+++
Kosten	Bei 1 Stck: 31,56€ bei ( <a href="http://de.mouser.com/Search/Refine.aspx?Keyword=p2110">http://de.mouser.com/Search/Refine.aspx?Keyword=p2110</a> )	++

## Prinzip 7: Energiegewinnung durch Schall

### Allgemeines Funktionsprinzip

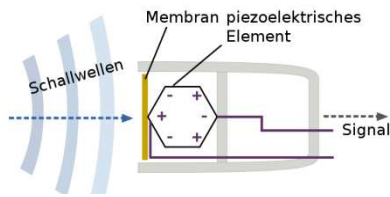


Abbildung 27: Verwendung von Schall mit Piezo-Elementen

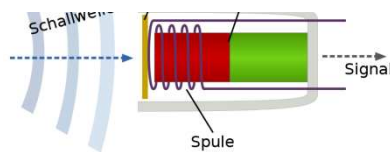


Abbildung 28: Verwendung von Schall mit Mikrofonen

Schallwellen transportieren kinetische Energie weshalb bei der Energiegewinnung durch Schall z.B. auf den Piezo-Effekt zurückgegriffen werden kann. Es gibt allerdings auch weitere Arten der elektrischen Signalgewinnung durch Schall. Beispiele hierfür sind Tauschspulenmikrophone, Bändchenmikrophone, Kondensatormikrophone oder auch Kohlenmikrophone. Alle diese Typen von Mikrofonen haben gemein, dass alle mit der kinetischen Energie der Schallwelle eine Membran (oder ein Bändchen) stimuliert.

### Beispiel: *SONEA – Sonic Energy Absorbing*



Abbildung 29: Sonic Energy Absorbing

Dieses Modul ist leider bis jetzt nur ein Konzept um zum Beispiel beim Start eines Flugzeuges den Schall in Energie zu wandeln. Bei rund 140dB bei einem Start eines Flugzeuges erzeugt dieses Modul 240kW. Nimmt man 500 Flugzeuge an, die am Tag starten entspräche das einer Leistung von 120MW. Die Angaben selbst sind bei einem Modul pro dB 30W.

Kriterium	Produkteigenschaft	Bewertung
Abhängigkeit von Verschmutzung	Keine Angaben	--
Leistungsausbeute	30W/dB	++
Verwendung der Energie ohne großen Aufwand	-keine Angabe-	/
elastisch verformbar	Nein	-
Herstellbarkeit im System	-Abschätzung nicht möglich-	/
Integrierbarkeit in das System	Möglich?	/
Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Einflüsse	Es hat eine Schutzhülle	-
Verfügbarkeit auf vorhandenem Markt	Bis jetzt nur ein Konzept	---
Größe	450mm x 450mm x 80mm	/
Gewicht	7kg	/
Kosten	-keine Angabe-	---

## Vor – und Nachteile

Prinzip	Vorteile	Nachteile
<b>Nabendynamo (Rotation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- direkte Verwendung der Drehbewegung der Seilwinden möglich</li> <li>- auch über einen Riemen an einer anderen Stelle zu platzieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei fehlender Bewegung muss die Energie teilweise über eine lange Zeit gespeichert werden</li> <li>- wenn das Modul gestartet werden soll, muss zuerst eine gewisse Grundenergie vorhanden sein</li> </ul>
<b>Wasserkraft (Rotation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Speichermedium, was bei einem erhöhten Energiebedarf auf Abruf viel Energie erzeugen kann</li> <li>- der Transport der Flüssigkeit kann auch durch die Bewegung der Seilwinden, oder durch eine Pumpe, welche mit gewonnener Energie betrieben wird erzeugt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- als Ergänzungsmodul geeignet, nicht als permanente Energieversorgung</li> <li>- Flüssigkeit wird benötigt → Abhängigkeit von den Eigenschaften der Flüssigkeit wie Gefrierpunkt, Viskosität oder Siedepunkt</li> </ul>
<b>Windkraft (Rotation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- natürliche Energiequelle</li> <li>- in Gebieten mit hohen Windgeschwindigkeiten sehr effektiv</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei Windstille wird keine Energie erzeugt</li> <li>- Energie muss über einen langen Zeitraum gespeichert werden können</li> </ul>
<b>EnOcean-Modul (Translation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dieses Modul ist bereits fertig zu erwerben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- eine translatorische Bewegung muss an einer Hakenflasche erst noch erzeugt werden, z.B. durch Nippel an der Seilwinde</li> </ul>
<b>Piezo-Generator (Vibration)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibration ist eine permanente Erscheinung an der Hakenflasche auch wenn sich die Seilwinde nicht dreht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die mögliche Energieausbeute ist hauptsächlich bei stillstand sehr gering</li> </ul>

<b>Photovoltaik-Modul (Strahlung)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ein Photovoltaik-Modul ist abhängig von der Bewegung der Hakenflasche</li> <li>- es ist ein bekanntes Prinzip und es ist ein großer Markt vorhanden mit vielen verschiedenen Modulen, (z.B. zum begehbare Module)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- das Modul ist von der Sonneneinstrahlung abhängig , Verschmutzung wirkt also kontraproduktiv</li> <li>- bei einem Sturz könnte das Modul springen, wobei es auch schon sehr widerstandsfähige Module gibt</li> <li>- der Wirkungsgrad ist sehr gering</li> </ul>
<b>Nanoantennen für IR-Strahlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IR-Strahlung ist immer vorhanden (tagsüber von der Sonne, nachts die Wärmeabstrahlung der Erde</li> <li>- ist ein Folienmodul, also auch als „Beschichtung“ anbringbar</li> <li>- der Wirkungsgrad ist angeblich wesentlich höher als bei Photovoltaik mit bis zu 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- die erzeugte Energie ist extrem hochfrequent</li> <li>- ist noch nicht auf dem Markt erhältlich, die letzten Berichte datieren sich auf das Jahr 2008</li> </ul>
<b>Thermogenerator (Seebeck-Effekt)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- thermische Unterschiede sind gegeben, auch ohne Bewegung der Hakenflasche oder der Seilwinden</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- es wird nur wenig Energie erzeugt</li> <li>- je geringer die Temperaturdifferenz ist, desto weniger Energie wird erzeugt</li> </ul>
<b>RFDC (Funkwellen)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Funkwellen sind überall in der Luft enthalten</li> <li>- Module sind fertig zu erwerben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wie die rechtliche Lage aussieht ist nicht sicher</li> <li>- die erzeugt Energie ist abhängig von der Stärke der Funkwellen</li> <li>- Stahl schwächt ein Funksignal stark ab</li> </ul>
<b>SONEA (Schallenergie)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine rechtlichen Konflikte</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- es muss einen entsprechende Lautstärke vorhanden sein, damit auch verwendbare Energie zur Versorgung eines Sensormoduls erzeugt werden kann</li> <li>- nicht auf dem Markt erhältlich</li> </ul>



## Ergebnis der kleinen Patentrecherche

### Patent 1: Glasloses, flexibles Solar-Laminat

Fig. 1

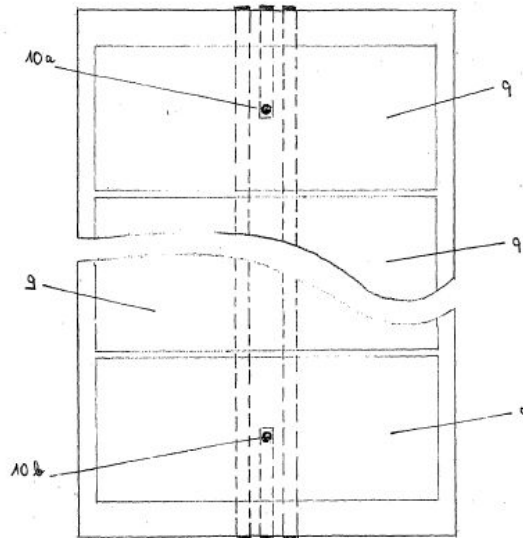
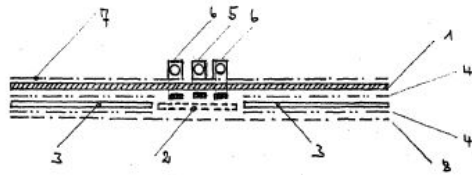


Fig. 2

Patentnummer: EP 1 191 605 A2

Veröffentlichungsdatum: 27.03.2002

Diese Solarlaminare werden schon seit einiger Zeit an Häuserwänden und auf Booten verwendet.

Es handelt sich um Dünnschicht-Silizium, das auf Edelstahl aufgedampft wurde. Da die Laminare kein Glas enthalten, sind sie geringfügig flexibel. Sie werden (in der Gebäudetechnik) auf Stahlblech mit hoher Temperatur und unter Druck mit Hilfe eines Klebestreifens befestigt. Stahlblech ist aufgrund des Ausdehnungskoeffizienten dringend notwendig, um bei Wärme das Solarlaminat nicht zu beschädigen.

Abbildung 30: Prinzipskizze Solarlaminat

<http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=pdf&docid=EP000001191605A2>

### Patent 2: Piezoelectric Kinetic Energy Harvester

Patentnummer: US2010/0045241 A1

Veröffentlichungsdatum: 25.02.2010

Bei diesem Patent handelt es sich um einen Energy Harvester, der von Nokia entwickelt wurde. Seine

Besonderheit ist, dass er in einem Rahmen gelagerte bewegliche Akkus enthält. Es sind Piezoelemente an den 4 Seiten des Akkus und an der Unterseite befestigt, welche durch Bewegung des gelagerten Akkus betätigt werden. Durch dieses Prinzip soll von allen Bewegungen die mit dem Modul gemacht werden die potentielle Energie an den Akkueingespeist werden um eine längere Akkulaufzeit zu erhalten.

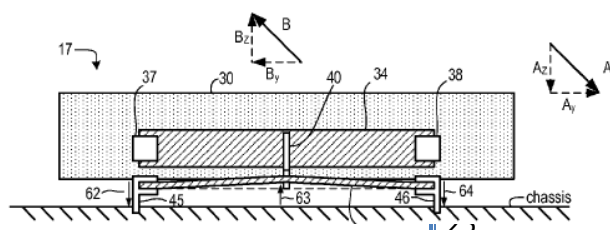
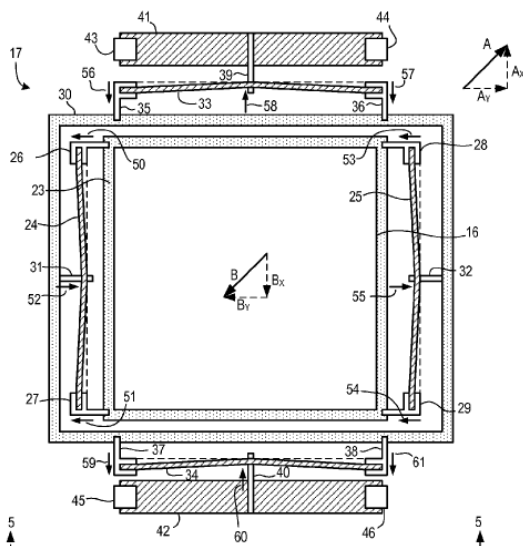


Abbildung 31: Prinzipskizze Piezoelectric Kinetic Energy Harvester

Ziel ist sicherlich langfristig kleine Geräte wie ein Handy oder Music-Player ohne gesonderte Akkuladungen betreiben zu können.

<http://www.freepatentsonline.com/20100045241.pdf>

### Patent 3: RF Energy Harvesting Circuit

Patentnummer: US 2009/0152954 A1

Veröffentlichungsdatum: 10.06.2009

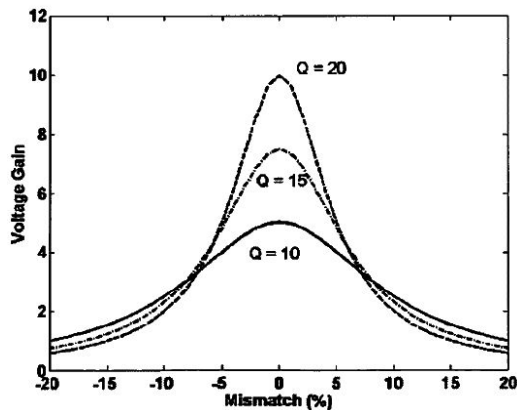


Abbildung 33: Peak-to-Peak

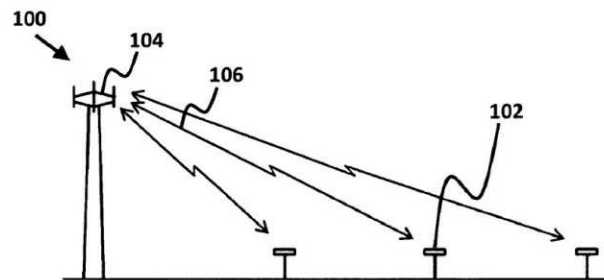


Abbildung 32: Funktionsprinzip RF Energy Harvesting Circuit

Dieses Patent stützt sich auf mindestens ein Energy Harvester Modul, welches mittels eines Gleichrichters eine Gleichspannung zwischen Eingang und Ausgang

erzeugt. Die Energie wird hier aus den Funkwellen der Umgebung aufgenommen.

Das System umfasst ebenfalls eine Eingangs- und Ausgangsantenne, welche das ankommende Signal (peak-to-peak) gleichrichtet. Außerdem ist am Ausgang die Gleichspannung abzugreifen.

### Patent 4: Thermoelement zur Gewinnung elektrischer Energie und Anordnung mit einem Thermoelement und einem Fotoelement

Patentnummer: 198 80 127.0

Veröffentlichungsdatum: 16.10.2008

Bei diesem Patent handelt es sich um die Gewinnung elektrischer Energie mit Hilfe von Thermoelementen und zwei verschiedene thermoelektrische Materialien, die an ihren Kontaktstellen verbunden sind(1). Mittels der beiden Schenkel (3,2), die keinen Kontakt zu einander haben wird die Energie abgegriffen. Der Nutzen dieser Erfindung ist ein höherer Wirkungsgrad bei Thermoelementen.

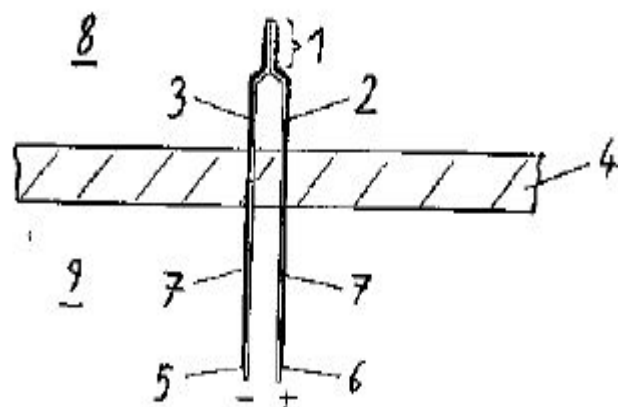


Abbildung 34: Thermoelement

<http://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=pdf&docid=DE000019880127B4>

## Bewertung der ausgewählten Prinzipien

Für die Bewertung der ausgewählten Prinzipien haben wir ein Ranking der Bewertungskriterien aufgestellt. Unsere Bewertungskriterien sind:

- Verschmutzungsabhängigkeit (da auf einer Baustelle eine gewisse Verschmutzung schwer zu vermeiden ist)
- Robustheit (nach den uns gegebenen Angaben, wird eine Hakenflasche auch unsanft abgelegt)
- Kosten (ein neues System sollte nicht unverhältnismäßig viel kosten)
- mögliche Leistungsausbeute (um ein Messsystem mit Energie zu versorgen, muss die geforderte Leistung gegeben sein)
- einfache Weiterverwendung der erzeugten Energie (bei manchen Energiegewinnungssystemen ist die erzeugte Energie nur schwer zu verwenden, (siehe auch IR-Energieerzeuger))
- Flexibilität (Anpassungsfähigkeit an komplexere Formen und mechanische Verformungen)
- Herstellbarkeit an einer Hakenflasche (die Herstellbarkeit an einer Hakenflasche muss gegeben sein)
- Integrierbarkeit in einer Hakenflasche (idealerweise kann ein solches System integriert werden)
- Verfügbarkeit auf dem Markt (vorzugsweise sind die benötigten Komponenten auf dem freien Markt erhältlich)
- Größe / Gewicht (es handelt sich immer noch um eine Hakenflasche an die das System angebracht werden können muss)

Wir haben diese Kriterien in Bezug auf die Verwendbarkeit an einer Hakenflasche und die Verwendung auf einer Baustelle zusammengestellt.

	verschmutzungs-unabhängig	robust	geringe Kosten	große Leistungsausbeute	einfache Verwendung der Energie	flexibel	gut herstellbar	gut integrierbar	gute Verfügbarkeit	geringe Größe / Gewicht	Anzahl "+"	Rangfolge
verschmutzungs-unabhängig		-	+	+	+	+	-	+	-	+	6	4
robust	+		+	+	+	+	-	+	-	+	7	2
geringe Kosten	-	-		-	-	+	+	+	-	+	4	7
große Leistungsausbeute	-	-	+		-	+	-	+	-	+	4	6
einfache Verwendung der Energie	-	-	+	+		+	+	+	-	+	6	3
flexibel	-	-	-	-	-		-	-	-	+	1	9
gut herstellbar	+	+	-	+	-	+		+	-	+	6	5
gut integrierbar	-	-	-	-	-	+	-		-	-	1	8
gute Verfügbarkeit	+	+	+	+	+	+	+	+		+	9	1
geringe Größe / Gewicht	-	-	-	-	-	-	-	+	-		1	10
Anzahl "-"	6	7	4	4	6	1	6	1	9	1		

Abbildung 35: Ranking der Kriterien

Aufstellung der Gewichtung der Bewertungskriterien:

Bewertungskriterium	Anzahl "+"	Gewichtung
gute Verfügbarkeit	9	0,21
robust	7	0,16
einfache Verwendung der Energie	6	0,14
Verschmutzungsunabhängig	6	0,14
gut Herstellbar	6	0,14
große Leistungsausbeute	4	0,09
geringe Kosten	4	0,09
geringe Größe / Gewicht	1	0,03
<b>Summe</b>	<b>43</b>	<b>1</b>

Abbildung 36: Gewichtung der Rankingkriterien

Ausgehen von der Recherche über den Stand der Technik in Bezug auf Energy Harvesting haben wir aus 5 potentiellen Lösungskomponenten drei besonders sinnvoll erscheinende Prinzipien herausgesucht. Natürlich erscheint eine Kombination verschiedener Prinzipien als effizienter, muss allerdings gesondert betrachtet werden und ist nicht Teil dieser Ausarbeitung. Unsere 5 potentiellen Prinzipien sind:

- der Rotationsgenerator, welcher z.B. über einen Riemen von der Seilwinde angetrieben werden könnte
- Das Solarmodul, welches einfach an, bzw. auf der Hakenflasche angebracht werden könnte
- der Thermogenerator, der die Temperaturdifferenz zwischen Hakenflasche und Umgebungstemperatur nutzt, also auch einfach an der Hakenflasche befestigt werden kann. Eine ideale Position müsste noch bestimmt werden
- der Piezo-Generator, der auch als Modul einfach an eine bestehende Hakenflasche angebracht werden kann und über die Schwingungen der Seilwinde oder auch sonstigen Schwingungen Energie erzeugt.
- letztendlich sind noch Funkwellen als Prinzip gegeben, welche die in der Luft befindlichen Funkwellen aufnehmen und dadurch an der Außenseite der Hakenflasche befestigt werden müssten, da Metall ein Schirm für Funkwellen ist.

LK 1	LK 2	LK 3	LK 4	LK 5
Rotationsgenerator	Solarmodul	Thermogenerator	Piezo-Generator	Funkwellen

Abbildung 37: Lösungsalternativen

Die drei, von uns ausgewählten und bewerteten Prinzipien sind:

- der Rotationsgenerator
- das Solarmodul
- der Thermogenerator

Bewertungs-kriterien	Kriterien-gewicht	Alternative 1		Alternative 2		Alternative 3		Ideale Lösung	
		ungewichtet	gewichtet	ungewichtet	gewichtet	ungewichtet	gewichtet	ungewichtet	gewichtet
große Leistungsausbeute	0,09	10	0,9	5	0,45	4	0,36	10	0,9
Verschmutzungs-unabhängigkeit	0,14	10	1,4	3	0,42	9	1,26	10	1,4
robust	0,16	6	0,96	6	0,96	4	0,64	10	1,6
Einfache Verwendung der Energie	0,14	9	1,26	8	1,12	10	1,4	10	1,4
gute Verfügbarkeit	0,21	10	2,1	9	1,89	9	1,89	10	2,1
gut herstellbar	0,14	8	1,12	8	1,12	9	1,26	10	1,4
geringe Kosten	0,09	8	0,72	6	0,54	7	0,63	10	0,9
geringe Größe / Gewicht	0,03	7	0,21	5	0,15	10	0,3	10	0,3
Summe	1	68	8,67	50	6,65	62	7,74	80	10
	$k=1,(1),n$	$k=1,(1),n$	$k=1,(1),n$	$k=1,(1),n$	$k=1,(1),n$	$k=1,(1),n$	$k=1,(1),n$	$P_{id} = n \cdot p_{max3}$	$N_{id} = p_{max} \cdot \sum g_k$
Wertigkeit		0,85	0,867	0,625	0,665	0,775	0,774	$w_{id} = P_{id}/P_{id}$ $w_{id} = 1$	$w_1 = P_1/P_{id}$ $w_{g_{id}} = 1$

$g_n$	Gewicht des Kriteriums n (ermittelt durch Zielsystem)	$p_j$	Punktsumme (ungewichtet)
$p_{nj}$	Punkte (Kriterium n, Alternative j)	$n_{ij}$	Teilnutzwert ( $n_{ij} = g_i \cdot p_{ij}$ )
$N_j$	Nutzwert (Alternative j, $N_j = \sum n_{ij}$ )		
$w_j$	ungewichtete Wertigkeit der Alternative j mit $w \leq 1$		
$w_{g_j}$	gewichtete Wertigkeit der Alternative j mit $w_g \leq 1$		
<b>Hinweis:</b>			
$N_j$	ist der Gesamtnutzwert nach der Nutzwertanalyse (NWA)		
w	ist die Technische Wertigkeit nach VDI 2225		
<b>Richtzahlen für den Grad der Wertigkeit: (nach Hansen)</b>			
	$w \leq 0,6$	Alternative nicht befriedigend	
	$0,6 \leq w \leq 0,7$	Alternative ist brauchbar	
	$w > 0,7$	Alternative ist günstig	

Abbildung 38: Nutzwertanalyse

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Rotationsgenerator einen nicht zu verachtenden Vorsprung gegenüber dem Solarmodul oder dem Thermogenerator aufweist. Dies liegt daran, dass die durch die Bewegung übertragene Energie direkt abgegriffen werden kann. Allerdings wird hier ein gutes Speichermedium, wie z.B. ein Akku benötigt um die erzeugte Energie zu speichern und auch in Fällen von langem Stillstand der Anlage dennoch den Energiehaushalt des Sensorsystems garantiert. Dennoch ist der Rotationsgenerator das Prinzip, welches am Ende überzeugt hat.

	Punktsumme	Nutzwert	Gewichtete Wertigkeit
Rotationsgenerator	68	8,67	0,867
Solarmodul	50	6,65	0,665
Thermogenerator	62	7,74	0,774
ideale Lösung	80	10,00	1,000

Abbildung 39: Ergebnis der Nutzwertanalyse

Aus all diesen Ergebnissen der Recherche erscheint es äußerst interessant mehrere dieser Energy Harvesting-Systeme und Möglichkeiten zu verknüpfen um die vorhandenen Umgebungsbedingungen zu jedem möglichen Zeitpunkt auszuschöpfen. Ein Beispiel wäre eine Kombination aus Thermogenerator mit Solarzelle, eventuell mit einem RFDC-Chip und einem Rotationsgenerator. Die ersten 3 Gewinnungssysteme würden mehr oder weniger permanent einen Akku mit kleinen Mengen an Energie speisen, wobei durch den Drehgenerator ein schnell eine große Menge an Energie beim Verfahren der Hakenflasche erzeugt werden kann.

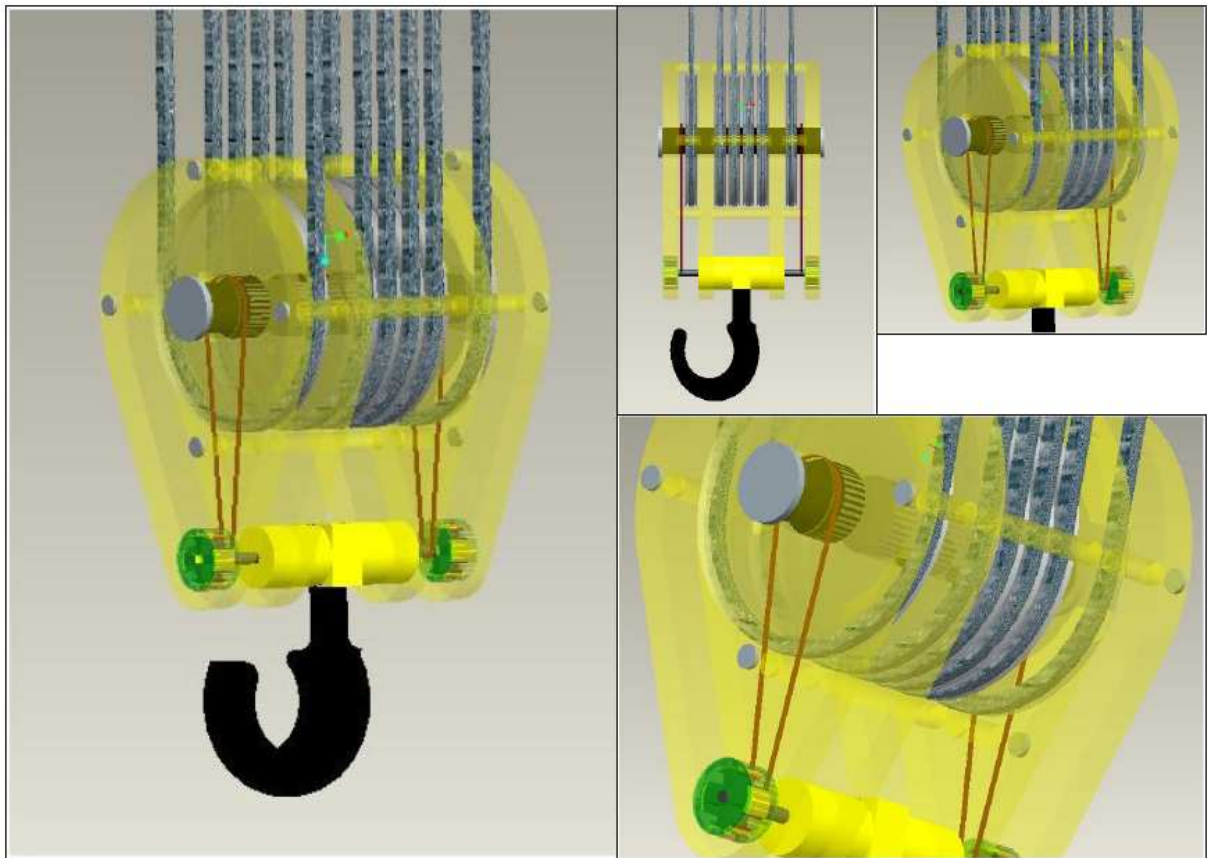


Abbildung 40: Ausgewählte Lösung an der Hakenflasche → Rotationsgenerator

## Quellenangabe

<http://www.pdv.reutlingen-university.de/enha/>  
[http://www.stromtarifevergleiche.de/bilder/bild\\_windkraft.gif](http://www.stromtarifevergleiche.de/bilder/bild_windkraft.gif)  
[http://www.boxer99.de/windkraft\\_windkraftanlagen.htm](http://www.boxer99.de/windkraft_windkraftanlagen.htm),  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Windgenerator>,  
[http://www.kleinwindanlagen.de/Homepage/index.php?option=com\\_content&view=article&id=48&Itemid=57](http://www.kleinwindanlagen.de/Homepage/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=57)<http://nibis.ni.schule.de/~bfseta/e-learning/energietechnik/energieversorgung/bilder/funktion-pumpspeicherkraftwerk450.jpg>  
[http://www.enocean.com/en/enocean\\_modules/eco-100/](http://www.enocean.com/en/enocean_modules/eco-100/) (Schalter der ein Signal überträgt)  
<http://piezo.com/prodexg8dqm.html#priceinfo> (Piezoelement)  
[http://www.aet.co.at/pix/photovoltaik\\_funktion.jpg](http://www.aet.co.at/pix/photovoltaik_funktion.jpg)  
<http://www.solarlink.de/solarmsunware.htm>  
<http://solarenergieblog.de/solarenergie-wissen/solarenergie-funktionsweise/>,  
<http://www.photovoltaik-experten.de/funktionsweise-von-solaranlagen-5.html>  
<http://www.inl.gov/pdfs/nantenna.pdf>  
<http://www.oecosys.com/1/Members/jocham/nano-antennen>  
[http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Seebeck\\_effect\\_circuit\\_2.svg&filetimestamp=20100225183324](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Seebeck_effect_circuit_2.svg&filetimestamp=20100225183324)  
[http://www.quick-cool-shop.de/shop/fctShpCntShowPic.php?&pic=21aPic1J543900695\\_zz\\_zeichnung1.gif](http://www.quick-cool-shop.de/shop/fctShpCntShowPic.php?&pic=21aPic1J543900695_zz_zeichnung1.gif)  
<http://www.conrad.de/ce/de/product/189181/PELTIER-ELEMENT-QC-127-10-39M/0506021&ref=list#download-dokumente>  
<http://www.conrad.de/ce/de/product/189115/PELTIER-ELEMENT-TEC1-12706/0506020&ref=list>  
[http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/sensorik/detektionsverfahren/elekt\\_de\\_tektionsverfahren.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/sensorik/elekttrans/seebeck.vscml.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/sensorik/detektionsverfahren/elekt_de_tektionsverfahren.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/sensorik/elekttrans/seebeck.vscml.html)  
<http://www.isabellenhuetten.de/uploads/media/Thermoelektrizitaet.pdf>  
[http://www.circuitdesign.de/products/tech\\_info/guide2.asp](http://www.circuitdesign.de/products/tech_info/guide2.asp) (Funkwellen),  
<http://frank-media.info/de/teil-c/micro-energy-harvesting/funkwellen.html> (Buch der Synergie)  
<http://www.powercastco.com/products/powerharvester-receivers/> (Link zum Hersteller)  
<http://www.powercastco.com/PDF/P2110-datasheet.pdf> (Datenblatt Powerharvester P2110)  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Schallenergie>  
<http://www.heise.de/tr/artikel/Aus-Schall-wird-Strom-1185337.html>  
<http://www.yankodesign.com/2009/09/09/sonea-converts-sound-to-energy/>  
<http://www.ecofriend.com/entry/eco-gadgets-sonea-energy-absorbing-system-captures-decibels-for-watts/>  
<http://tandem-fahren.de/Technik/Dynamo/Nabendynamo.gif>  
[http://www.roseversand.de/product/detail/id:144676?gclid=CNusoKnSn6kCFUe\\_zAodmWactw](http://www.roseversand.de/product/detail/id:144676?gclid=CNusoKnSn6kCFUe_zAodmWactw)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energy Harvesting Systemaufbau .....	4
Abbildung 2: verwendbare Energiequellen.....	4
Abbildung 3: Rotationsgenerator.....	5
Abbildung 4: Aufbau Nabendynamo .....	6
Abbildung 5: Shimano DH-3N30.....	6
Abbildung 6: Lösung an der Hakenflasche mit einem Rotationsgenerator, der von der Seilwinde angetrieben wird .....	7
Abbildung 7: Aufbau Windkraftwerk.....	8
Abbildung 8: Lösung an der Hakenflasche mit einem Rotationsgenerator, der mit Windkraft angetrieben wird .....	9
Abbildung 9: Lösung a der Hakenflasche mit einem Rotationsgenerator, der durch eine Kombination aus Windkraft und Seilwinde angetrieben wird.....	9
Abbildung 10: Aufbau Pumpspeicherkraftwerk .....	10
Abbildung 11: EnOcean ECO 100.....	11
Abbildung 12: Lösung an der Hakenflasche mit dem EnOcean ECO 100.....	11
Abbildung 13: Funktionsprinzip Piezo-Element .....	12
Abbildung 14: Piezo-Effekt bei Krafteinwirkung .....	12
Abbildung 15: D220-A4-503XE .....	13
Abbildung 16: Lösung an der Hakenflasche mit Piezo-Elementen (Box "integriert") .....	13
Abbildung 17: Funktionsprinzip der Gewinnung von Energie durch Strahlung .....	14
Abbildung 18: flexibles Solarmodul.....	15
Abbildung 19: Seebeck-Effekt Schaltkreis .....	17
Abbildung 20: Funktionsprinzip Nano-Antenne mit Halbleiter .....	17
Abbildung 21: Seebeck-Effekt Schaltkreis .....	17
Abbildung 22: Funktionsprinzip Thermogenerator.....	17
Abbildung 23: Lösung an der Hakenflasche mit einem Thermogenerator (Box "extern") .....	18
Abbildung 24: RFDC Powerharvester .....	19
Abbildung 25: Powerharvester Leistungskurve.....	20
Abbildung 26: Lösung an der Hakenflasche mit RFDC (Box "extern").....	20
Abbildung 29: Sonic Energy Absorbing.....	21
Abbildung 27: Verwendung von Schall mit Piezo-Elementen .....	21
Abbildung 28: Verwendung von Schall mit Mikrofonen .....	21
Abbildung 30: Prinzipskizze Solarlaminat.....	25
Abbildung 31: Prinzipskizze Piezoelectric Kinetic Energy Harvester .....	25
Abbildung 32: Funktionsprinzip RF Energy Harvesting Circuit .....	26
Abbildung 33: Peak-to-Peak .....	26
Abbildung 34: Thermoelement .....	26
Abbildung 35: Ranking der Kriterien .....	27
Abbildung 36: Gewichtung der Rankingkriterien .....	28
Abbildung 37: Lösungsalternativen.....	28
Abbildung 38: Nutzwertanalyse .....	29
Abbildung 39: Ergebnis der Nutzwertanalyse .....	30
Abbildung 40: Ausgewählte Lösung an der Hakenflasche →Rotationsgenerator .....	30