



PG 595: SolarDoorplate

*Energy-Harvesting: Technologien
und Anwendungen im Überblick*

Merlin Stampa
merlin.stampa@tu-dortmund.de

Seminarwochenende 17./18.10.2015



AG Eingebettete Systemsoftware
Informatik 12, TU Dortmund



Agenda

- Energy-Harvesting – Was ist das?
- Anwendungen
- Architekturen
- Energiequellen
- Energiespeicher
- Sonstige Bauteile
- Energieprädiktion
- Scheduling

Energy-Harvesting – Was ist das?

Mit Energy Harvesting (wörtlich: Energie-Ernten) wird die **Gewinnung von elektrischer Energie in kleinen Mengen aus dem Umfeld elektronischer Geräte** für deren Betrieb bezeichnet.

Weitere englische Begriffe dafür sind *Power Harvesting* und *Energy Scavenging* (wörtlich: Plünderung). Der Begriff Ambient Energy Harvesting macht deutlich, dass es sich um Energie aus der Umgebung des Geräts handelt.

<http://www.harvesting-energy.de/>

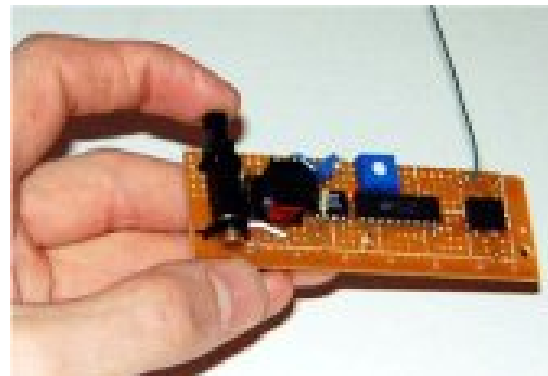
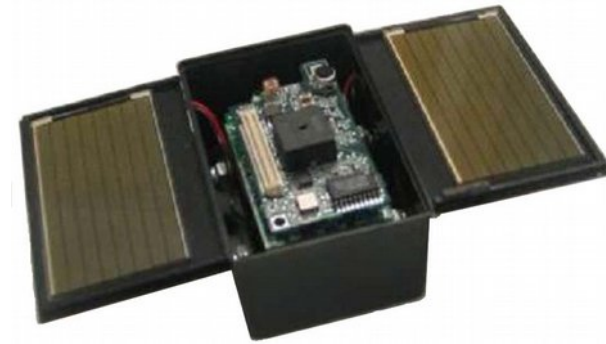
Labor für Prozeßdatenverarbeitung, Hochschule Reutlingen

Vorteile: Systeme sind energieautark, wartungsfrei, kabellos, haben theoretisch unbegrenzte Lebensdauer



Anwendungen

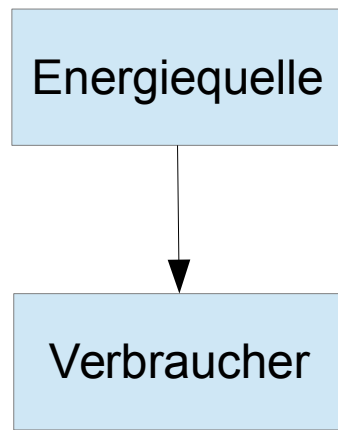
- Sensornetzwerke
- Forschung
- Industrie 4.0
- Medizintechnik
- Wearable Computing
- Heimautomation
- SolarDoorplate :)



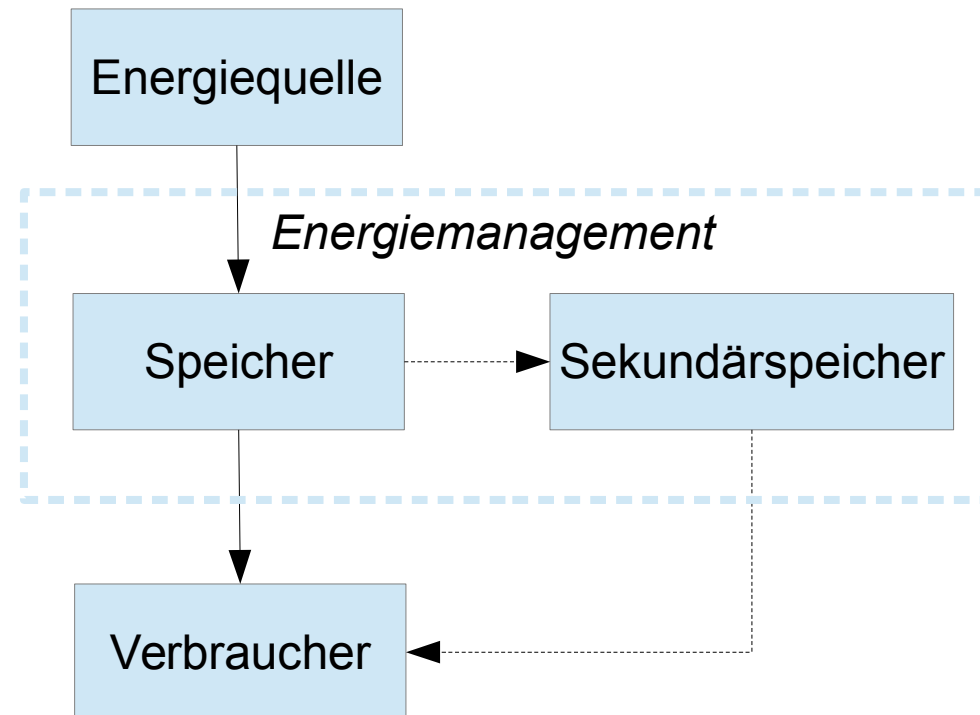


Architekturen

Harvest-Use



Harvest-Store-Use



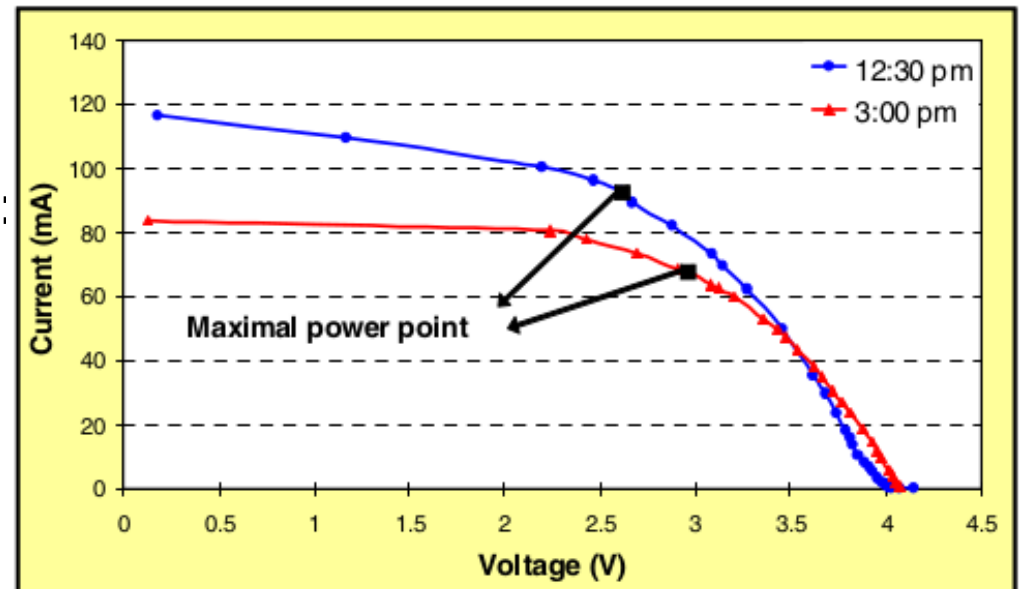
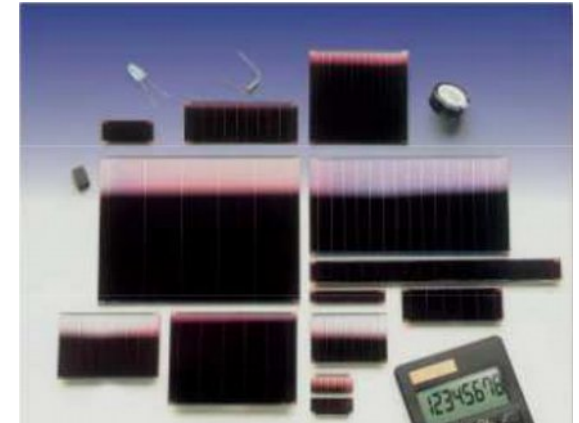


Energiequellen (Auswahl)

- Licht
- Mechanik (Vibration, Stoß)
- Wind, Wasser
- Wärme (Temperaturänderung, -gefälle)
- Funk
- Biomasse

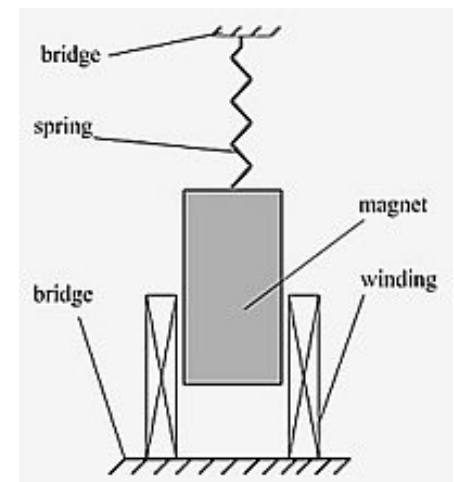
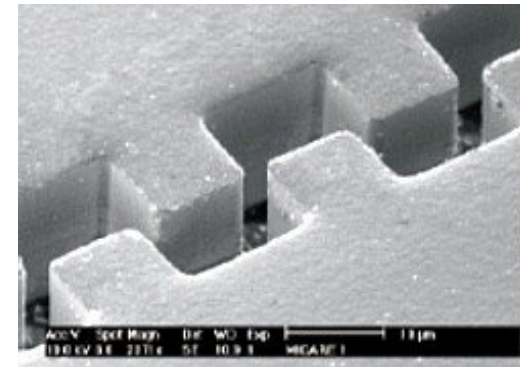
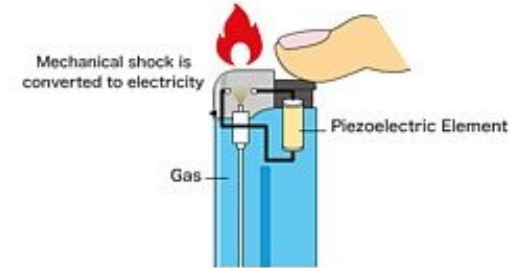
Energiequellen - Licht

- Umwandlung mittels **Solarzellen**
- Einfacher Einbau, günstig, Ausbeute teilweise vorhersagbar
- Spezielle Varianten für **Indoor**-Gebrauch
- SolarDoorplate: [2] SOLEMS S.A. 07/072/048
 - 7 Zellen in Serie, 72x48x1,8mm, 17g
 - 200 lux (künstliches Licht): 2,8V, 45 μ A am MPP
 - 1000 lux (Fensterlicht): 3V, 220 μ A am MPP



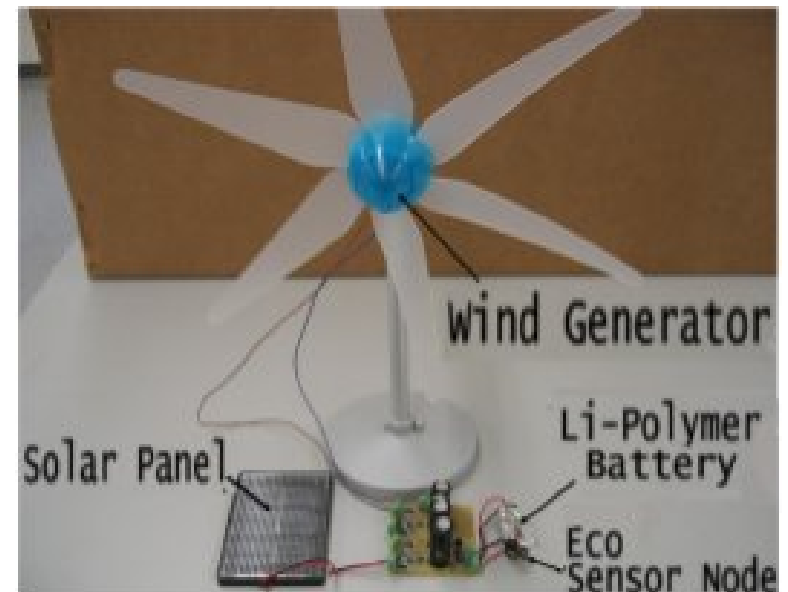
Energiequellen - Mechanik

- piezoelektrisch
 - z.B. Kristalle oder Keramiken, Verformung erzeugt Ladungsverschiebung
 - Hohe Leistungsdichte
- elektrostatisch
 - „variable Kondensatoren“, eine feste und eine bewegliche Elektrode
 - Benötigt externe Spannungs-/Ladeversorgung
- induktiv
 - Beweglicher Magnet + feste elektrische Spule
 - Vglw. große Abmessungen



Energiequellen – Wind, Wasser

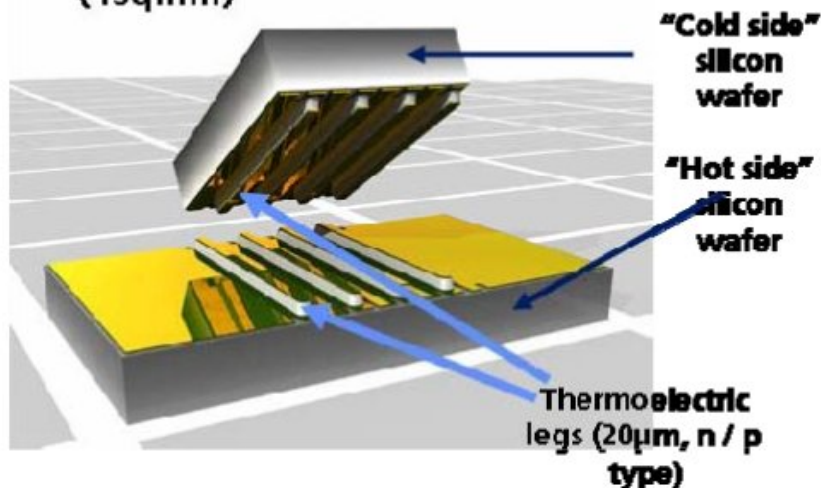
- Umwandlung typischerweise mittels Turbinen
- Im Vergleich zu Solarzellen recht groß, zerbrechlich
- Ausbeute auch hier teilweise vorhersagbar
- Andere Möglichkeiten:
 - Windbelt
 - elektrokinetische Batterie



Energiequellen - Wärme

- Wärmeströmung: Maschinen, Menschen, Tiere, Geothermie:
 - Thermogeneratoren (Seebeck-Effekt)
- Änderung der Umgebungstemperatur:
 - Pyroelektrischer Effekt
 - Dynamoantrieb durch Materialausdehnung

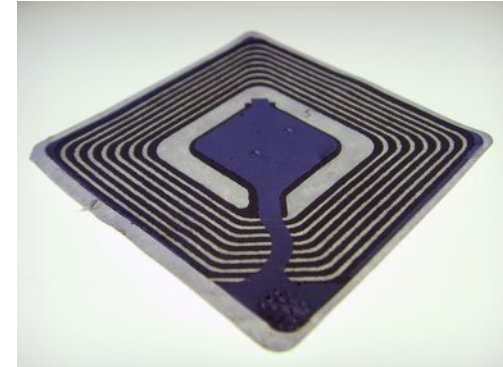
Micro thermoelectric device
(1sqmm)





Energiequellen - Funk

- Bestimmte Frequenzbereiche oder Breitbandempfänger
- Modulation eines Datensignals auf Versorgungssignal möglich
- Aktivierung durch Empfänger
 - Beispiel RFID
- Oder Nutzung von „Elektrosmog“: Radio, Fernsehen, Handys...





Energiespeicher - Aspekte

- Energiedichte
- Leistungsdichte
- Auflade-Entlade-Effizienz
- Selbstentladungsrate
- Lebensdauer
- Gedächtniseffekt
- Auflademethode



Energiespeicher - Technologien

[1]

Typ	Nennspannung (V)	Kapazität (mAh)	Energiedichte (Wh/kg)	Leistungsdichte (W/kg)	Effizienz (%)	Selbstentladung (%/Monat)	Gedächtniseffekt ?	Auflademethode	Aufladezyklen
SLA	6	1300	26	180	70-92	20	Nein	Trickle	500-800
NiCd	1,2	1100	42	150	70-90	10	Ja	Trickle	1500
NiMH	1,2	2500	100	250-1000	66	20	Ja*	Trickle	1000
Li-Ion	3,7	740	165	1800	99,9	<10	Nein	Pulse	1200
Li-polymer	3,7	930	156	3000	99,8	<10	Nein	Pulse	500-1000

*reversibel

Weitere Möglichkeit: **Super-Kondensatoren**

Geringe Energiedichte, hohe Selbstentladung
Hohe Effizienz, theoretisch unbegrenzte Lebensdauer, kein Memory-Effekt, Trickle-Aufladung



→ Gut als Buffer, oder wenn viel Energie in regelmäßigen Intervallen verfügbar



Sonstige Komponenten

- Sensoren
 - generierte Spannung
 - Ladestand
- Gleichspannungswandler
- Aufladeschaltung
- Überlade- / Tiefentladeschutz
- Maximum-Power-Point-Tracker (MPPT) bei Solarzellen
- Umschalter zwischen Primär- und Sekundärspeicher



Scheduling / Adaption

- Parameter:
 - Sensorempfindlichkeit
 - Abtastrate
 - Sendeleistung
 - Sendefrequenz
 - Routing, Clustering
 - ...
- Anpassung:
 - Kontinuierlich
 - Diskrete Service-Level [3]

Energieprädiktion

- **EEHF** (Environmental Energy Harvesting Framework) [4]
 - 1 Tag = 1 Epoche
 - Autoregressiver Filter für gesammelte und verbrauchte Energie über eine Anzahl vergangener Epochen
 - Effektive Energie: Gewichtete Funktion aus Prädiktion, Batteriestand und Verbrauch
- **Enhanced-EEHF**
 - Ergänzt Runden innerhalb von Epochen für größere Präzision
- **EWMA** (Exponentially Weighted Moving Average) Filter
 - 1 Tag = 48 Slots
 - Gewichteter Durchschnitt der Energieverfügbarkeit im selben Slot an Vortagen, und Schätzung des Vorgängerslots



Vielen Dank für eure Aufmerksamkeit!

Noch Fragen?

Quellen

- [1] S. Sudevalayam, P. Kulkarni: “Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications”, IEEE Commun. Surv. Tutorials. 13, 443-461 (2011)
- [2] http://www.solems.com/IMG/pdf/Solar_cells_13.pdf
- [3] C. Moser, J. Chen, L. Thiele: “Power Management in Energy Harvesting Embedded Systems with Discrete Service Levels”, Proc. 2009 ACM/IEEE international symposium on Low power electronics and design, pp. 413-418
- [4] A. Kansal, M. B. Srivastava: “An Environmental Energy Harvesting Framework for Sensor Networks,” in Proc. 2003 International Symposium on Low Power Electronics and Design. ACM, 2003, pp. 481-486
- [5] N. Shenck and J. Paradiso, “Energy Scavenging with Shoe-mounted Piezoelectrics,” IEEE Micro, vol. 21, no. 3, pp. 30-42, May/Jun 2001
- [6] V. Raghunathan, A. Kansal, J. Hsu, J. Friedman, M. Srivastava: “Design Considerations for Solar Energy Harvesting Wireless Embedded Systems”, 2005