

14. Leibniz-Tagung

# Systementwurf von low power Sensoren

Dr.-Ing. Gert Schönfelder



10.10.2012

# Was ist low power ???

# Was ist low power ???

- Für eine Steckverbinderhersteller      5 A
- Für ATEX EX-d      20 W
- Für ATEX EX-i      1 W
- Für Sensoren      100 .. 20 mW (<4 mA)
- Für Uhren      2  $\mu$ A (6  $\mu$ W)

# Systementwurf von low power Sensoren

## Inhalt

### Inhalt

- Thesen und Fragen
- Erste Prozessanalyse
- Hardware
- Energieversorgung
- Software und low power
- Messen der realen Werte
- Beispiele

## Systementwurf von low power Sensoren

### Thesen

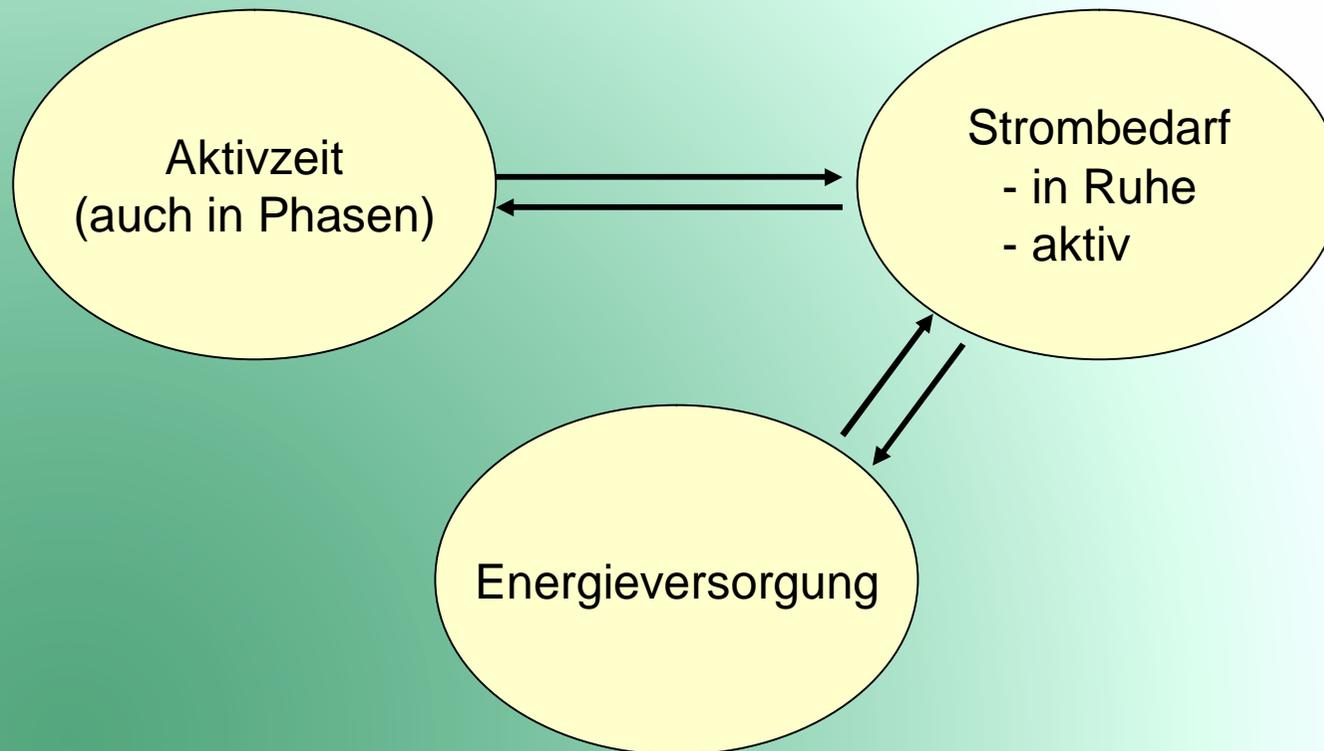
### Thesen

- Energieautarke Sensoren müssen mit minimalen Leistungen auskommen
- Eine effektive Leistungsreduzierung wird nur bei Betrachtung des Gesamtsystems erreicht
- Je nach Messaufgabe und Messgrösse kann die Ruhephase oder die Arbeitsphase den Energiebedarf dominieren.
- Nicht der absolute Stromverbrauch einer Komponente ist entscheidend, sondern der Verbrauch über den Betrachtungszeitraum

# Systementwurf von low power Sensoren

## Einleitung

Die Eckpunkte von low power Systemen



# Systementwurf von low power Sensoren

## Einleitung

- **Fragen zum Zeitverhalten**  
wie oft, wie lange, womit aktiv
- **Fragen zum Stromverbrauch**  
was dominiert? Aktiv-Phase – Ruhe-Phase  
standby-Strom gegen Aufwachzeit (power on)
- **Fragen zur Energieversorgung**  
wann und wie wird die Energie gebraucht?  
Wann und wie ist diese verfügbar?

# Prozeßanalyse

# Systementwurf von low power Sensoren

## Prozessanalyse

### Prozessanalyse (1)

- Was soll gemessen werden?
- Welche Sensorarten kommen in Frage?
- Ist eine discont. Messung physikalisch sinnvoll?  
(z.B. Schütthöhe auf einem Band)
- Sind die möglichen Messverfahren für low power tauglich?

# Systementwurf von low power Sensoren

## Prozessanalyse

### Prozessanalyse (2)

- Was geschieht mit den Messwerten?
  - Datenlogger
  - Sender
  - Anzeige
- Eine sinnvolle Messrate ist zu definieren
  - Pegelsonde
  - Lichtsensor
  - Neigungssensor

# Hardware

## Erste Energiebilanz

- grobe Kalkulation des Energiebedarf  
(Datenblattwerte)
- Definition statischer und dynamischer Ströme
- Bestimmung des maximalen Impulsstrom

# Systementwurf von low power Sensoren Hardware

## Kalkulationsschema einer Pegelsonde

<b>Lebensdauer [a]</b>	<b>10,25434</b>			Akkugroesse [mAh]	Energie/std. [mAh]
Lebensdauer [h]	89828			1000	<b>0,011132389</b>
<b>Verbraucher</b>	<b>Aktivzeit je Msg. [s]</b>	<b>Strom aktiv [mA]</b>	<b>Strom sleep [mA]</b>	<b>Messung/h</b>	<b>Energie/Std. [mAh]</b>
CPU sleep	3600,000		0,0024	1,0000	0,002400000
CPU - messen	0,070	3,0000		1,0000	0,000058333
Sender sleep	3600,000		0,0040	1,0000	0,004000000
Sender übernimmt Daten	1,000	2,0000		0,0833	0,000046278
Sender sendet Daten	2,000	100,0000		0,0833	0,004627778
Sender hört					0,000000000

# Systementwurf von low power Sensoren

## Hardware

### Optimierung der Hardware

- minimaler Schaltungsaufwand – jedes Bauelement verbraucht Strom
- alle externen Funktionseinheiten müssen schaltbar sein
- es ist die minimal sinnvolle Betriebsspannung zu wählen
- Gibt es alternative Sensortechnologien?
  
- Kann man an den Komponenten energetisch etwas verändern?  
Z.B. beim Sender anderes Band, andere Reichweite, andere Technologie, ...
  
- Kann man zwischen Hard- und Software optimieren?  
Software selbst braucht keinen Strom, ist aber langsamer als Hardware.

# Energieversorgung

# Systementwurf von low power Sensoren

## Energieversorgung

### Auswahl einer Energieversorgung

- Welche Energiequellen sind praktisch denkbar?  
Batterie, Akku, Harvesting
- Welche Einschränkungen bringt der Einsatzort?  
Beispiel Pegelsonde:
  - kein Licht im Brunnen è kein Solar
  - durch Pegelhub grosser Abstand zwischen Wasser und Luft è Thermogenerator zu gross und damit zu teuer
  - Erschütterung gar keine

è damit bleibt Akku oder Batterie – ist aber auch nicht ideal

è aber auch diese sind nicht ideal

# Systementwurf von low power Sensoren Energieversorgung

## Was eine Batterie wirklich leistet

LS14250	3,6V	1000 mAh
LS14500	3,6V	2250 mAh
LS17500	3,6V	3400 mAh
Alkali	1,5V	ca. 2,8 Ah

Q: Projekt IQ-Level, Prof. Schrader, TFH Wildau

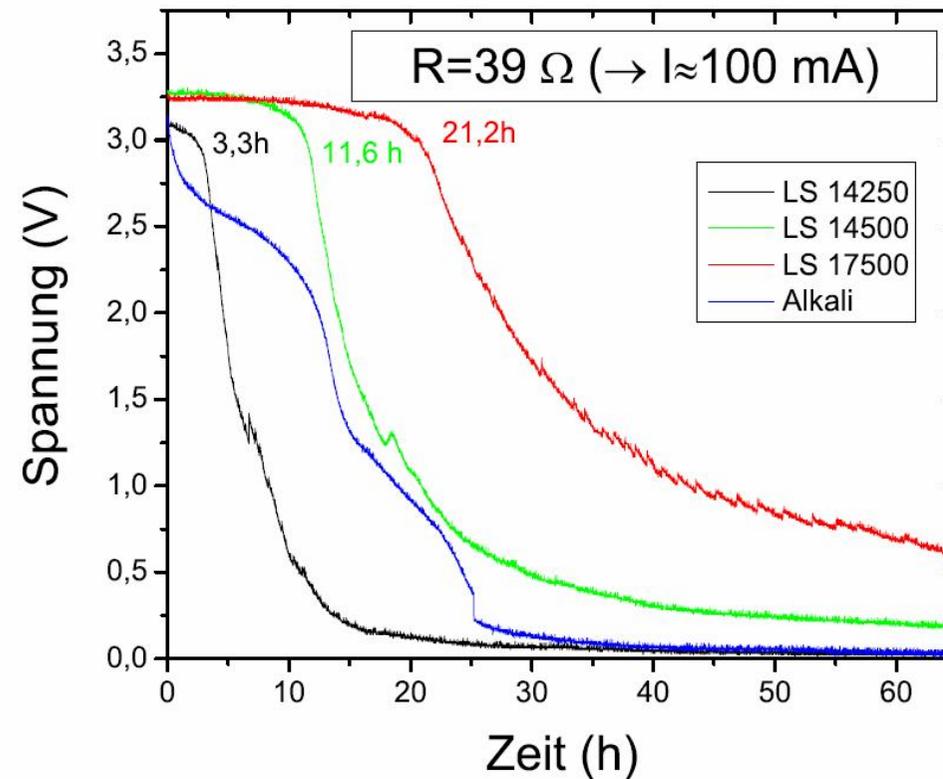


Abbildung 2.16: Lebensdauertests der Batterien bei 39 $\Omega$ .

# Software

## Systementwurf von low power Sensoren Optimierung der Software

Da der Energieverbrauch ein Zeit-Strom-Produkt ist, zählt bei der Software vor allem die Rechenzeit.

Der Verbrauch der CPU setzt sich aus einem Basisstrom und einem dynamischen Strom  $I=f(\text{clk})$  zusammen

Stromverbrauch  $\propto$  Taktfrequenz  $\propto$  Zeit

Die Grösse der Software erfordert auch entsprechenden Speicher  $\Rightarrow$  je mehr Speicher verwendet wird, um so höher der Grundverbrauch

## Systementwurf von low power Sensoren Optimierung der Software

### Wahl des Prozessortyps aus Softwaresicht

- Welche Funktionseinheiten sind in HW/SW erforderlich
- passt der Befehlssatz zur Aufgabe
- passt die Datenbreite zur Aufgabe
- passen die vorhandenen Peripherieeinheiten zur Aufgabe?  
(Interne Einheiten sind immer schneller als externe)

## Systementwurf von low power Sensoren Optimierung der Software

- die Wahl der Programmiersprache. Ein unnötiger Overhead kostet Rechenzeit.

è Beispiel Kompakt-Sensor

- Verzicht auf ein Betriebssystem – auch das ist Overhead.
- Teilung von Aufgaben prüfen (z.B. Betriebs- und Service-Software)

## Systementwurf von low power Sensoren Optimierung der Software

### Die Wahl der verwendeten Zahlenformate

- Was ist zu rechnen?  
Gleichungen oder Sortierarbeit?  
Welche Wertebereiche treten auf?
- Ein Floatingpoint ist langsamer als eine Integer-Rechnung.
- Operationsreihenfolgen bei eingeschränktem Wertebereich beachten!  
 $(A * B)/C$  ist NICHT gleich  $(A / C)*B$
- Denken Sie binär und nicht dezimal  
Werte in 1/1024 und nicht 1/1000

## Systementwurf von low power Sensoren Optimierung der Software

### Wie werden mathematische Funktionen realisiert?

- Eine Tabellenlösung braucht mit (ruhendem) Speicher weniger Strom und Zeit als die Berechnung mittels Reihenentwicklung.
- oder untypische Wege : z.B. die Wurzelfunktion durch sukzessive Approximation anstelle Reihenentwicklung
- oder hinterfragen Sie eine Funktion nach ihrem Ursprung  
z.B. bei der Mittelwertbildung

## Systementwurf von low power Sensoren Optimierung der Software

- Ordnen Sie ihre Messaufgabe nach physikalischen Prioritäten.
  - Bei 500 Druckmessungen pro Sekunde reichen auch 5 Temperaturmessungen. Das schafft 48% Zeitersparnis durch den
- Manchmal sind „langweilige“ Wege schneller
  - $X * 5$  entspricht  $(X \text{ SHL } 2) + X$
- Nehmen Sie Algorithmen aus anderen Fachgebieten
  - z.B. der Medianfilter

# Messen der Ergebnisse

## Systementwurf von low power Sensoren

### Messung der Ergebnisse

### Messung kleiner Ströme

Die Messung kleiner Ströme ist aufwändig und erfordert eine exakten Schaltungsaufbau, da:

- Messgeräte einen endlichen Innenwiderstand haben
- z.B. Oszilloskope nicht erdfrei sind
- Die hohe Stromdynamik (10 nA bis 100 mA) von keinem einzelnen System beherrscht wird
- Hochauflösende Messgeräte langsam sind und nicht auf Impulse reagieren

# Systementwurf von low power Sensoren

## Messung der Ergebnisse

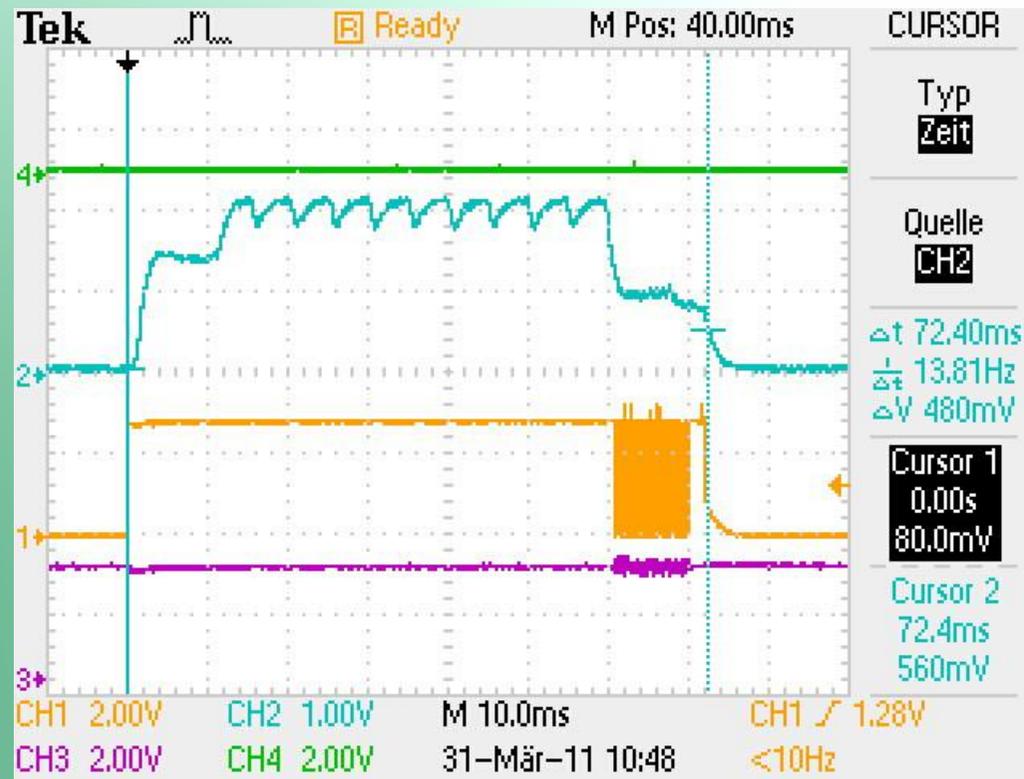
### Die Strommessung eines Messzyklus

Daten Senden

Strom auf Vcc

CLK Speicher

Int Uhr



# Systementwurf von low power Sensoren

## Beispiel

### **Beispiel:** digitales Manometer

Kombination eines klassischen Feder-Manometer mit einem batteriebetriebenen elektronischen Parallelsystem

(Fa. EMPEO)



## Systementwurf von low power Sensoren

### Zusammenfassung

- Es muss eine klare Anforderungsanalyse voraus gehen
- Es ist eine Energiebilanz zu erstellen
- Die Hardware ist auf einen sinnvollen Stromverbrauch zu optimieren
- Die Software darf beim Strombedarf nicht vernachlässigt werden
- Optimieren Sie die Messtechnik zum Messbereich

## Systementwurf von low power Sensoren

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

[schoenfelder@prignitz-mst.de](mailto:schoenfelder@prignitz-mst.de)



# Systementwurf von low power Sensoren Energieversorgung

## Was eine Batterie wirklich leistet

LS14250	3,6V	1000 mAh
LS14500	3,6V	2250 mAh
LS17500	3,6V	3400 mAh
Alkali	1,5V	ca. 2,8 Ah

Q: Projekt IQ-Level, Prof. Schrader, TFH Wildau

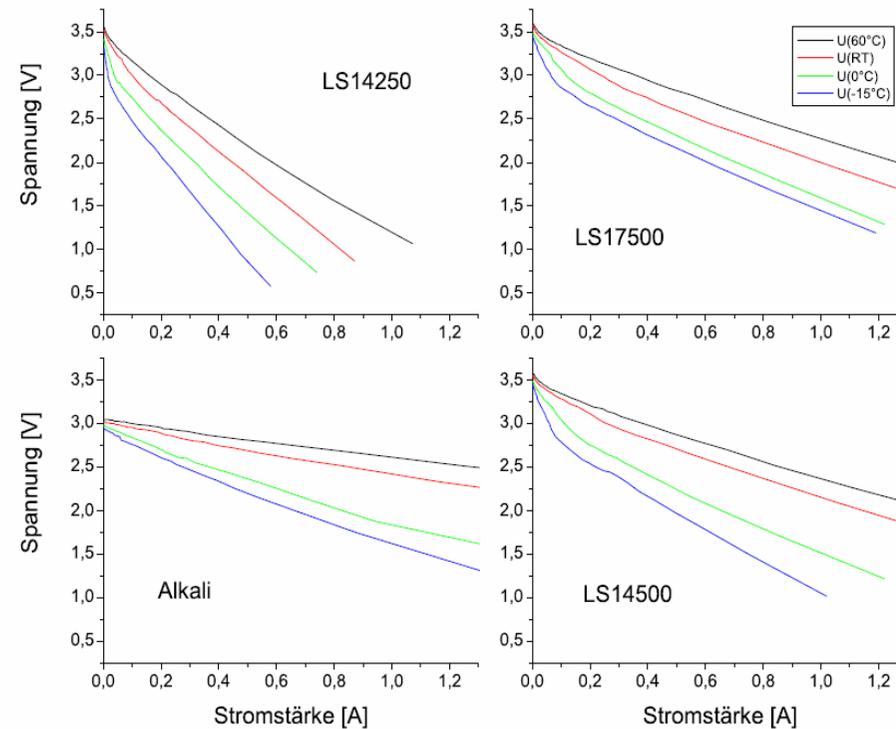


Abbildung 2.15: Temperaturabhängigkeit von Strom und Spannung beim Belastungstest der Alkali Batterie und der Lithiumthionylchlorid Batterien LS14250, LS14500 und LS17500.