IMMS

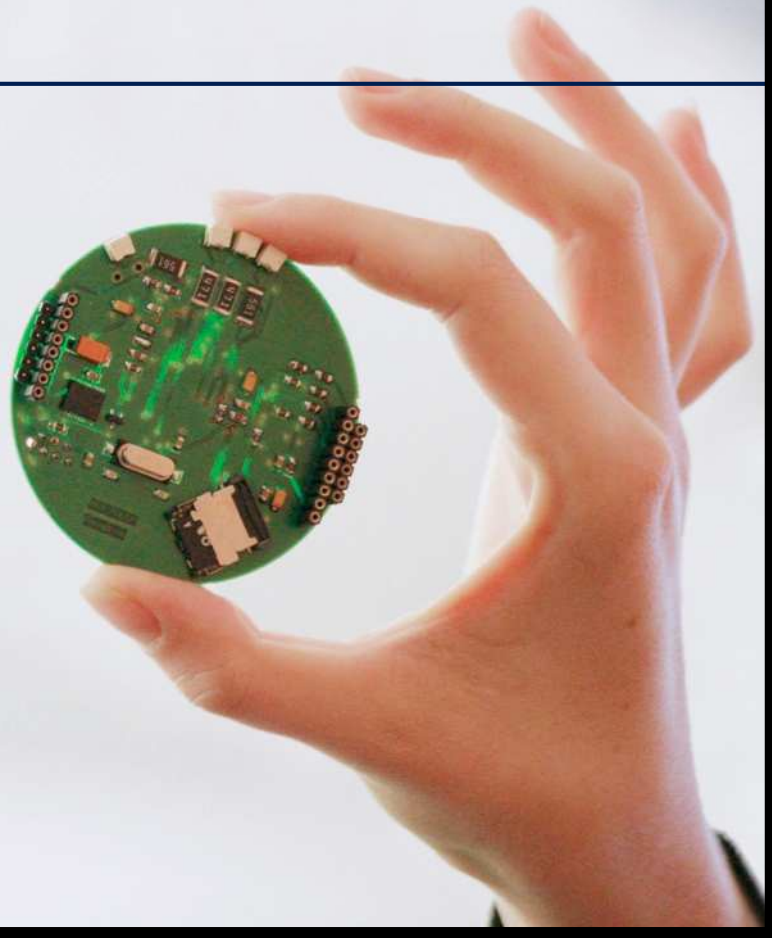
INSTITUT FÜR MIKROELEKTRONIK- UND MECHATRONIK-SYSTEME GEMEINNÜTZIGE GMBH

„Ultra Low-Power Elektronik für Energy Harvesting Anwendungen“

T. Hutschenreuther, S. Engelhardt, M. Petkovic
System Design

SmartTex-Workshop

Weimar, 20.05.14

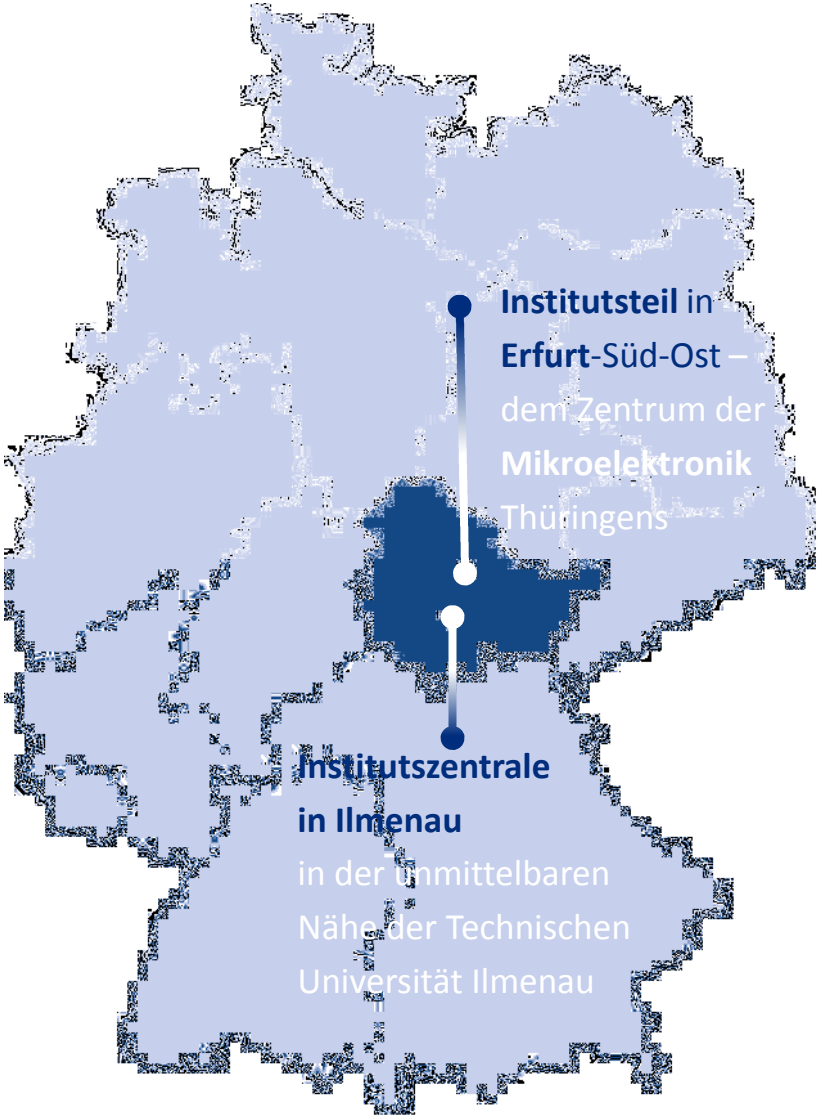


Gliederung

- Vorstellung des Institutes
- Einführung
- Energiesparende Hardware
- Energiesparende Algorithmen
- Zusammenfassung

 © IMMS GmbH

IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH



- Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft
- Verbindung von IT und realer Welt
- anwendungsorientierte Vorlaufforschung:
  - Mikroelektronik
  - Mechatronik
  - Systemtechnik
- landeseigenes, außeruniversitäres Institut des Freistaats Thüringen
- An-Institut der Technischen Universität Ilmenau
- 90 Mitarbeiter

 © IMMS GmbH

Leitlinie für das Forschungsprogramm und Leistungsangebot des IMMS

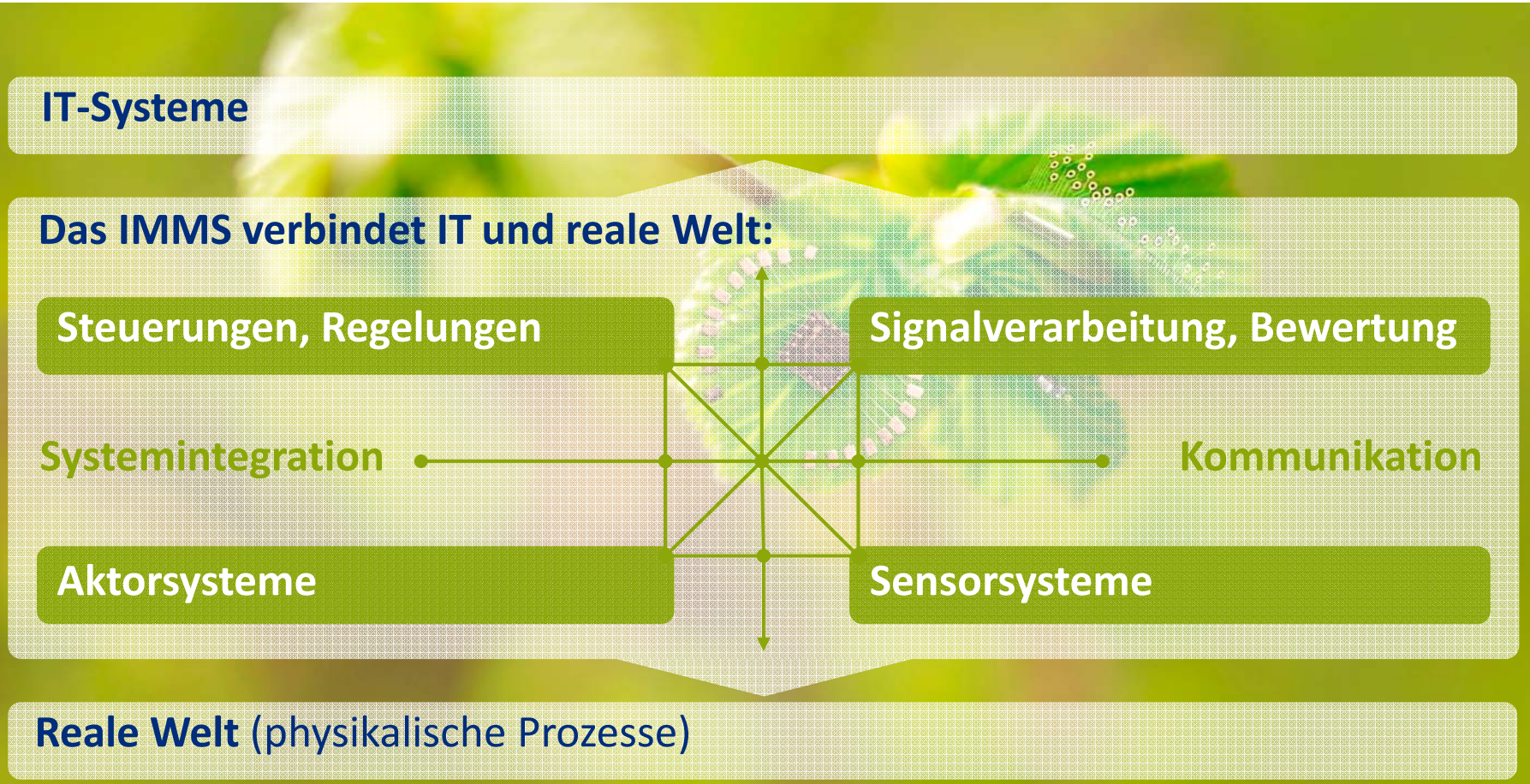
IT-System

- Wir verstehen die IT-Applikation des Kunden
  und die korrespondierenden physikalischen Prozesse,
- bilden dieses Verständnis in unseren Systementwürfen ab und
- helfen dem Kunden, sein Gesamtsystem zu optimieren.

Reale Welt (physikalische Prozesse)

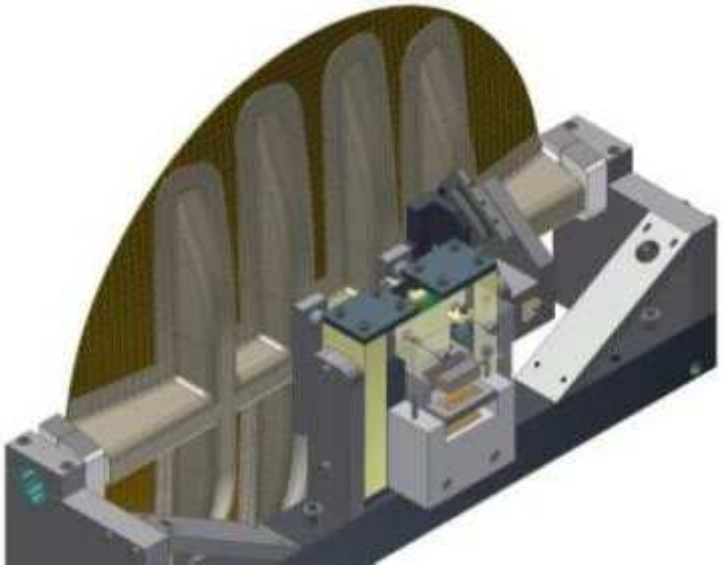
 © IMMS GmbH

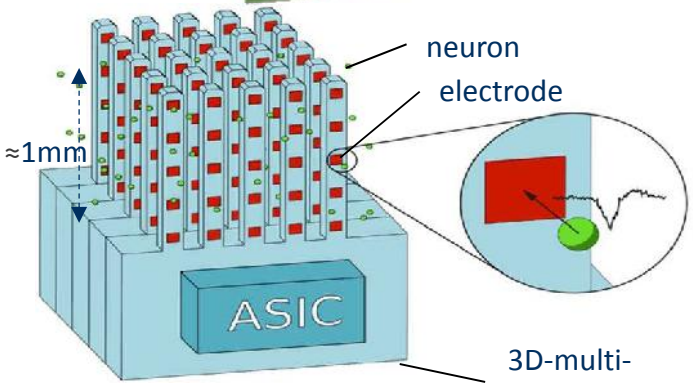
Leitlinie für das Forschungsprogramm und Leistungsangebot des IMMS



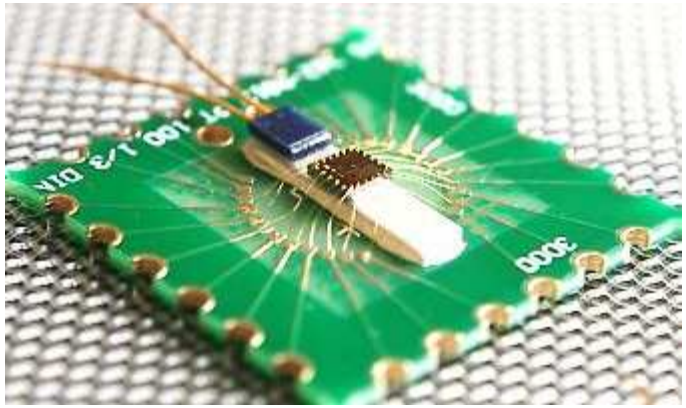
 © IMMS GmbH

Projektbeispiele





Source: T. Kautz



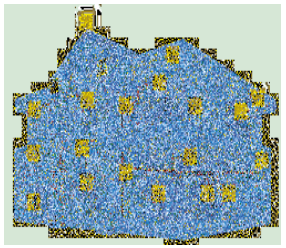
 © IMMS GmbH

Einführung

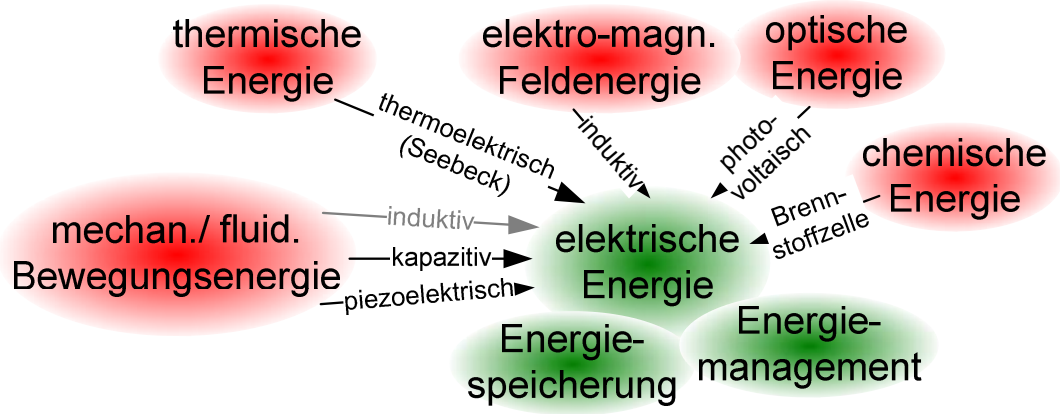
- Bedeutungsgewinn dezentraler Mikroenergiesysteme:
  Verfügbarkeit von ultra-low-power Elektronik und vielfältige Anwendungsfelder

Medizintechnik/
Implantate

Fertigung und
Logistik



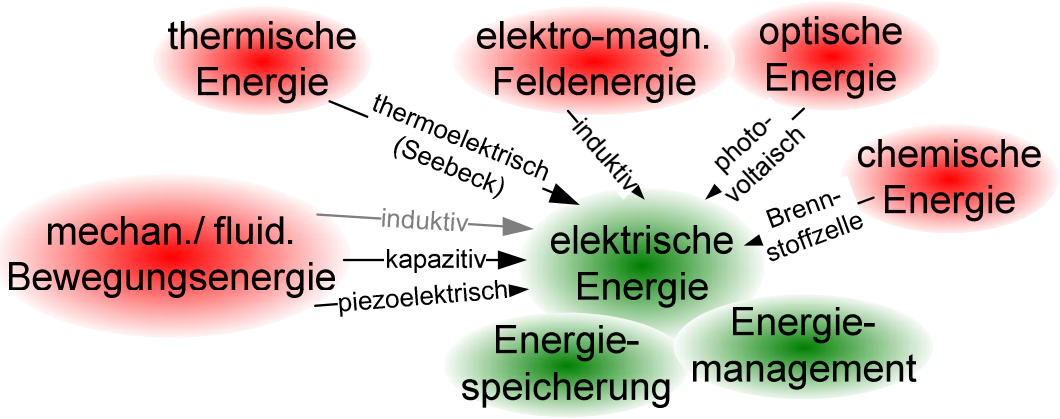
Automotive, Gebäudeüberwachung
und -automatisierung



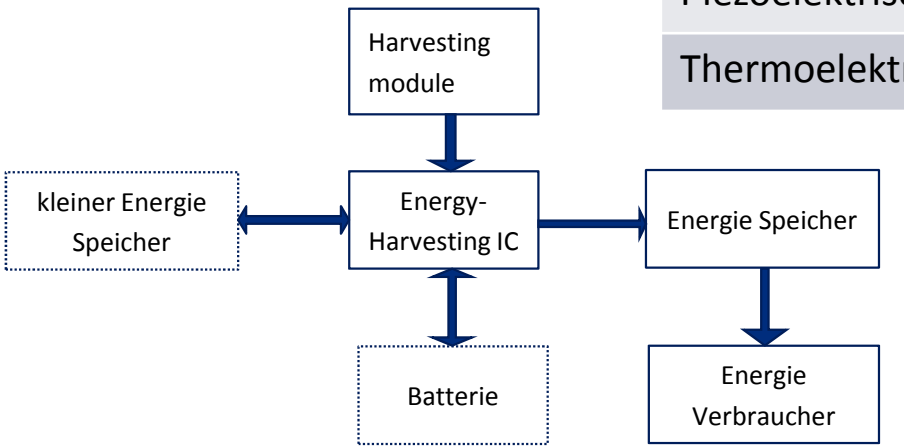
- Energy Harvesting als attraktive Technik zur autarken Versorgung kabelloser Sensoren & elektronischer Systeme kleinster Versorgungsleistungen

 © IMMS GmbH

Energy-Harvesting



Harvesting Quelle	Energie-Dichte	Typ. Output in Volt
Solar Zellen	15mW/cm³	2-20V
Piezoelektrisch	330µW/cm³	2-10V
Thermoelektrisch	40µW/cm³	0,1-0,5V



 © IMMS GmbH

Energy-Harvester IC‘s verschiedener Hersteller

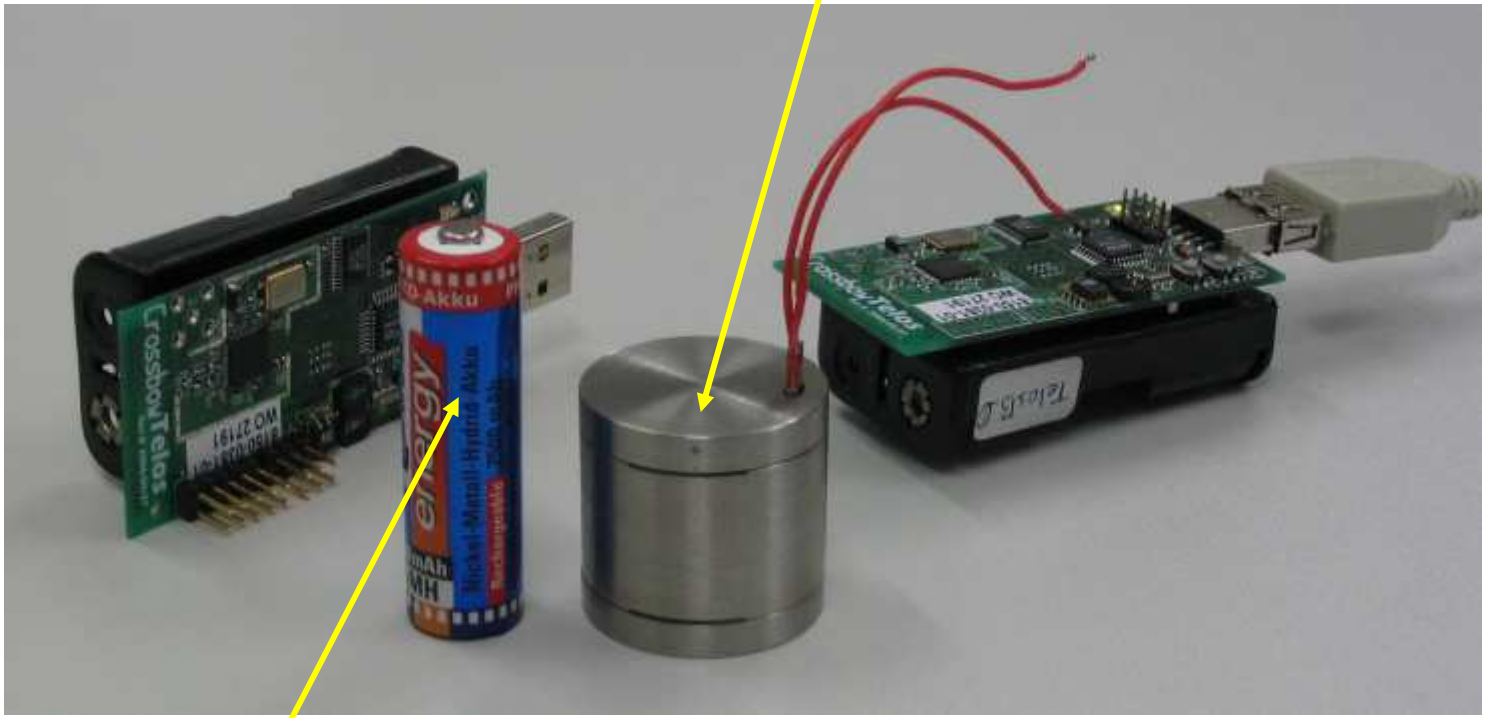
Texas Instruments	Energy Source	Vin Min	Vin Max
bq24210	Solar	3,5	18
bq24650	Solar	5	28
bq25504	Solar, Thermal	0,13	3

Linear Technology IC	Energy Source	Vin Min	Vin Max
LT3652	Solar	4,95	32
LTC3103	-	2,5	15
LTC3105	Solar	0,2	5
LTC3107	Thermoelectric	0,02	0,5
LTC3330	Piezoelectric, Solar, Magnetic	3	18
LTC3588	Piezoelectric	2,7	20

 © IMMS GmbH

Energy-Harvesting

Mechano-Elektrischer Energiewandler



AA-Akku zum Größenvergleich

Sensorknoten eines drahtlosen Netzwerks

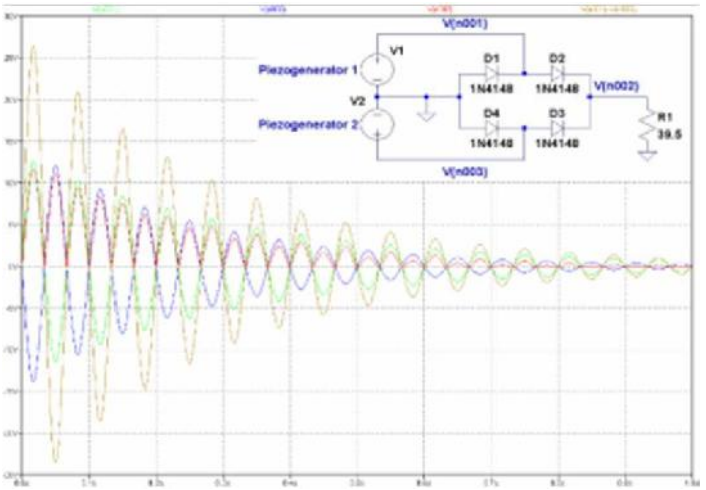
energieautark gespeister Sensornetzwerkknoten –

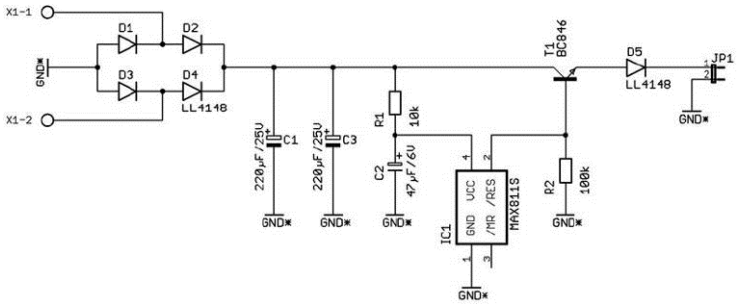
für industriellen Einsatz gestaltet

 © IMMS GmbH

Energy-Harvesting

- Simulation und optimiertes Schaltungsdesign
- Energieautarker Betrieb mit Solar- und piezo-elektrischen Wandlern
- Zur Zeit nur Nutzung der integrierten Powermanagementfunktionen

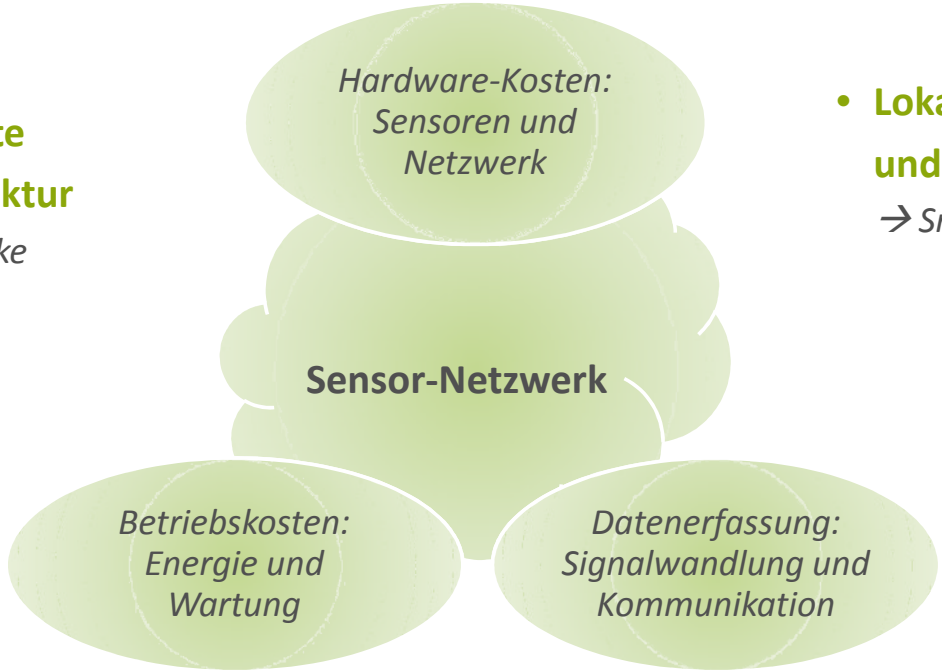




6µA Supply Current !

Herausforderungen im Design

- **Kosten- und ressourceneffiziente Netzwerk-Infrastruktur**
  → *Drahtlose Netzwerke*



- **Lokale Datenerfassung und -vorverarbeitung**
  → *Smart-Sensoren*

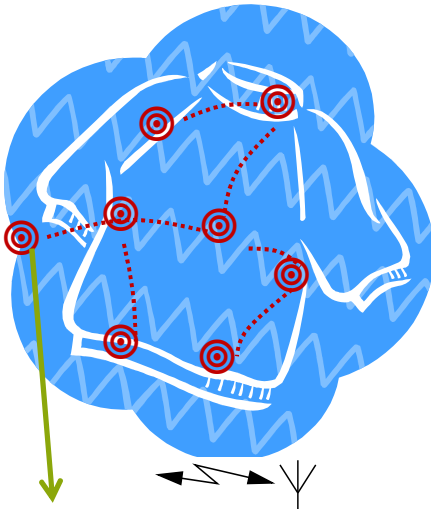
- **Energieeffizienz**
  → *Energieautarker Betrieb | energieeffiziente Elektronik*

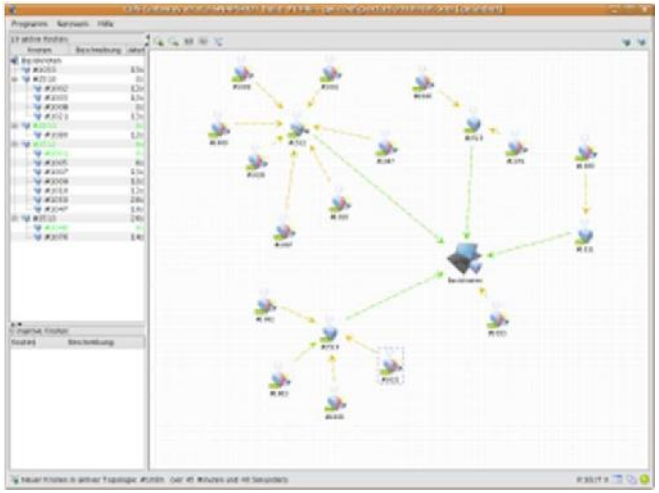
- **Effiziente Kommunikationsprotokolle**
  → *erweiterbar | robust | Echtzeit | energieeffizient*

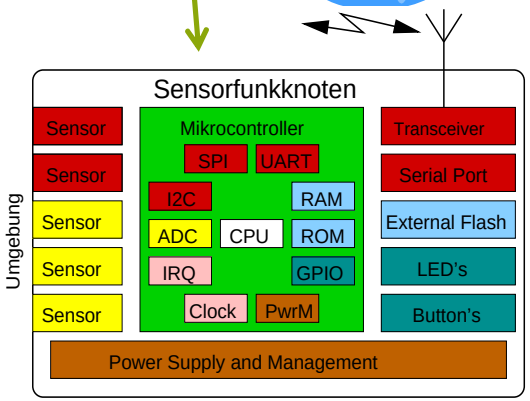
 © IMMS GmbH

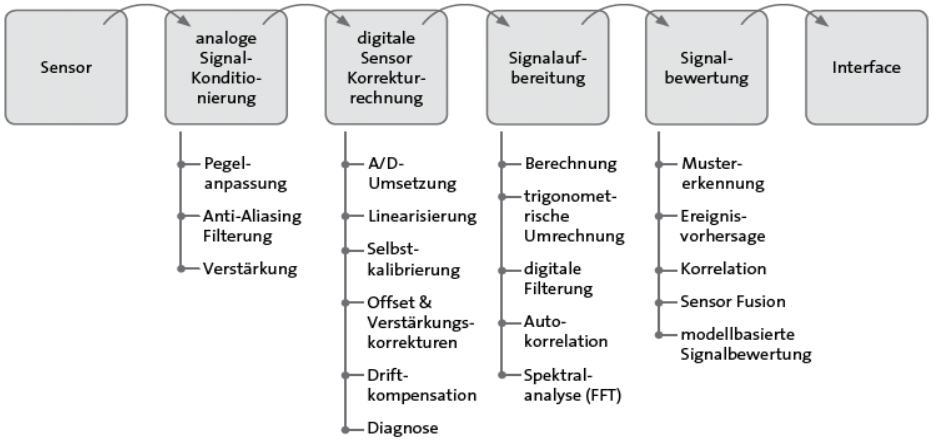
Herausforderungen im Design

Energetische Optimierung der Systeme über alle Teilsysteme einer Smart Sensor Anwendung





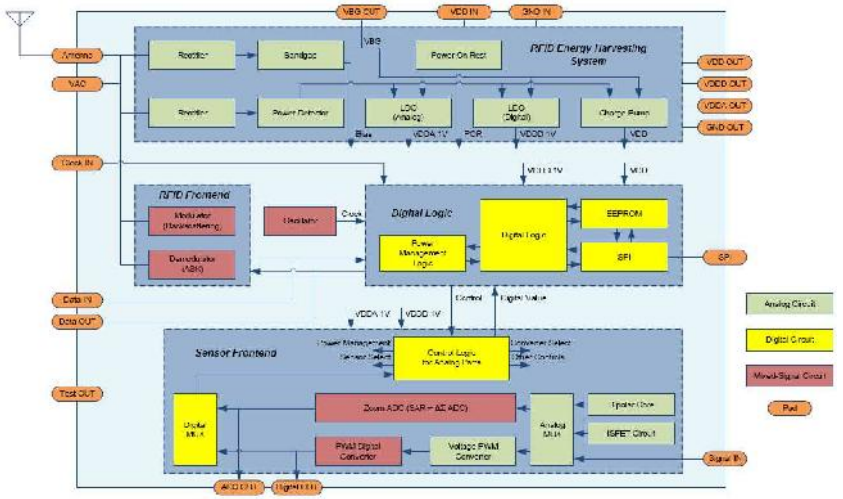




Herausforderungen im Design

- Betriebsspannung wählen, so dass die **Gesamt-Verluste** in Energy-Harvesting-Frontend und Signalverarbeitungskette minimiert werden.

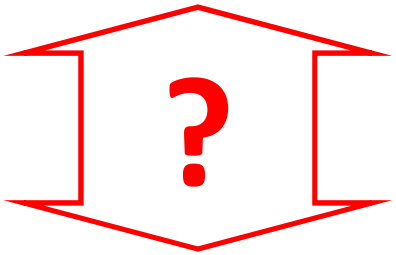
- Low-Power-Schaltungstechnik alleine garantiert noch nicht Energieeffizienz des Gesamtsystems
  → **Power Profiling während des Systementwurfs** erforderlich zur Last-Minimierung und -Balancierung



 © IMMS GmbH

Vertrauen in Marketingaussagen

… energieeffizientester Cortex M3 Mikrocontroller. Nur ein Viertel des Energiebedarfs des besten Mitbewerbers. ..



	UART		PID-Regler	
Controllertyp	Taktfrequenz (MHz)	Energieverbrauch pro Messzyklus in µWs	Taktfrequenz (MHz)	Energieverbrauch pro Messzyklus in µWs
EFM32 vor Code-Review	1,75	259	1	99,8
STM32L vor Code-Review	4	213	4	367
EFM32 nach Code-Review	1	63,13	1	5,47
STM32L nach Code-Review	1	69,86	1	4,54

Quelle: Zeitschrift Elektronik 15/2012 Seite26 ff. ; www.elektroniknet.de

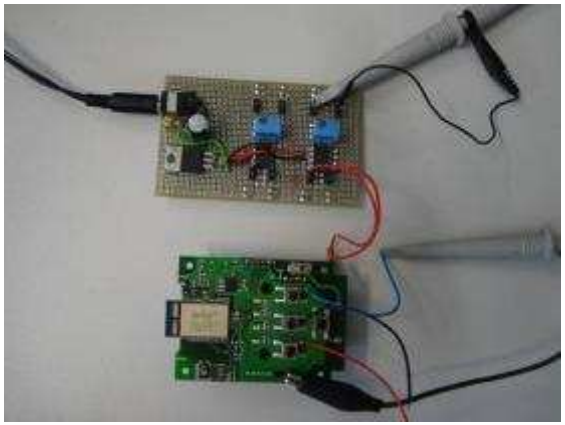
 © IMMS GmbH

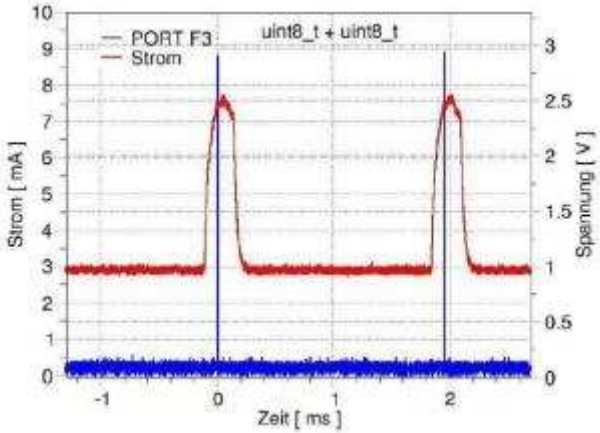
Design energieeffizienter Systeme: Algorithmen

Ermittlung des Energieverbrauchs einfacher Operationen des Mikrocontrollers

ATmega 1281 1MHz interner RC-Oszillator

Datentyp	+	-	*	/	Strom
uint8_t	1.13 us	1.13 us	1.50 us	11.0 us	7.5 mA
uint16_t	2.02 us	2.02 us	3.14 us	26.5 us	7.6 mA
uint32_t	3.80 us	3.80 us	9.32 us	75.6 us	7.7 mA
uint64_t	20.8 us	22.4 us	110 us	472 us	7.8 mA
int8_t	1.13 us	1.13 us	1.50 us	30.8 us	7.5 mA
int16_t	2.02 us	2.02 us	3.14 us	30.8 us	7.6 mA
int32_t	3.80 us	3.80 us	9.28 us	75.6 us	7.8 mA
int64_t	20.8 us	22.4 us	110 us	502 us	7.9 mA



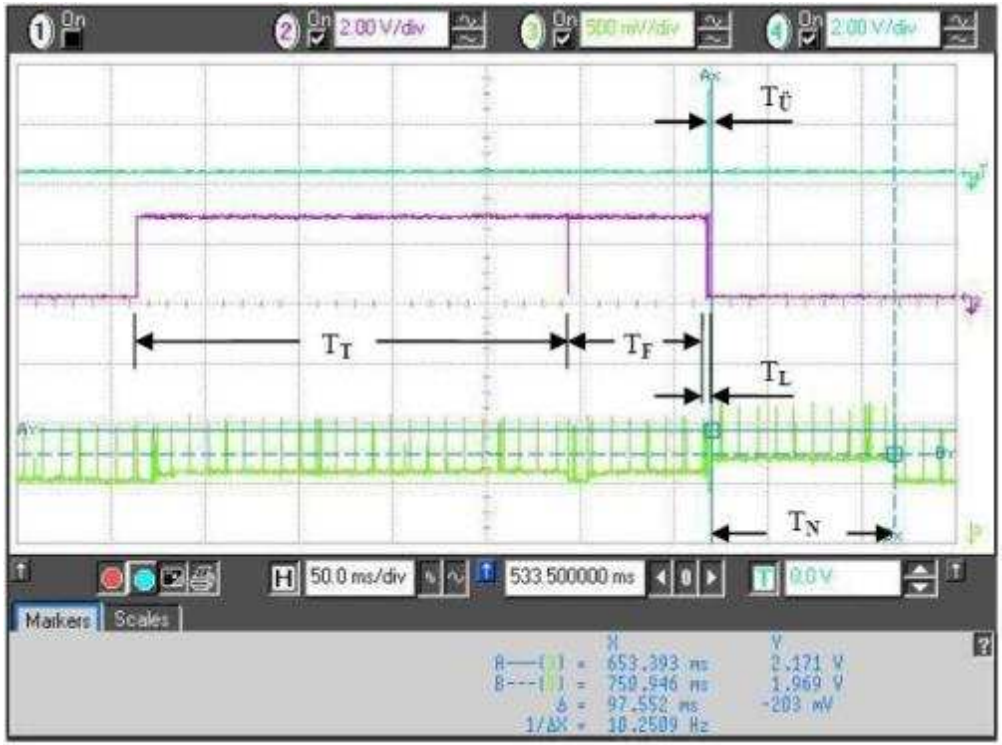


 © IMMS GmbH

Design energieeffizienter Systeme: Algorithmen

Komplexe Operationen innerhalb eines Sensorknotens:

- Daten auslesen
- Daten verarbeiten
- Daten senden



Sensor	Dauer	Strom
Temperatur (T_T)	228.3 ms	18.3 mA
Feuchtigkeit (T_F)	73.3 ms	18.3 mA
Licht (PAR)	0.367 ms	18.3 mA
Licht (TSR)	0.667 ms	18.3 mA

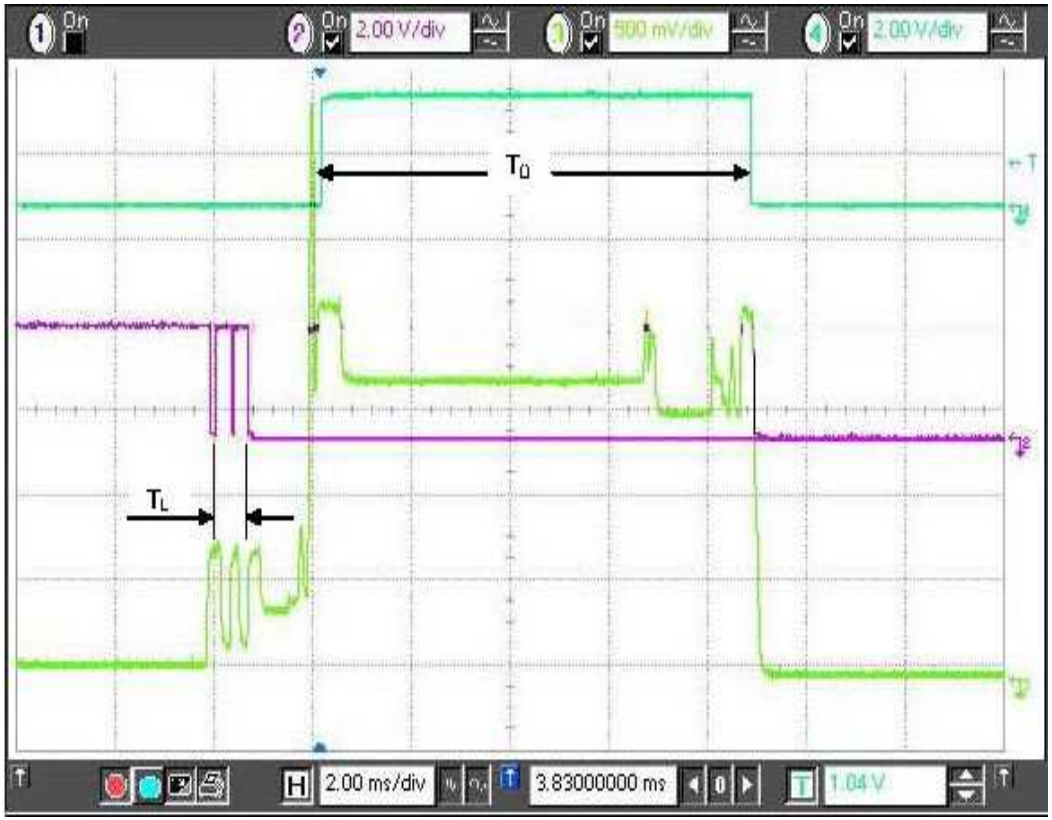
 © IMMS GmbH

Design energieeffizienter Systeme: Kommunikationsprotokolle

Energieeffizente Protokolle auf MAC- und Routing-Ebene

Stolpersteine:

- $I_{Empfang} > I_{senden}$
- Power Down des Flashs
- Genauigkeit des internen RC-Oszillators
- Messung der Batteriespannung
- Eingangswiderstand der ADC-Kanäle



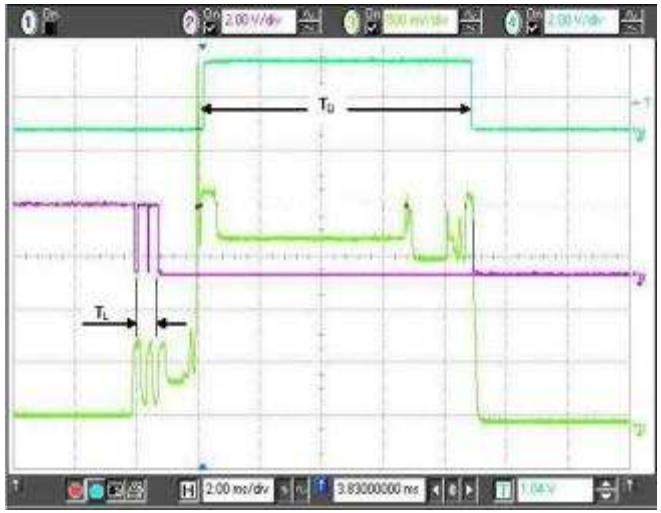
Andere Operationen	Dauer	Strom
Übertragung der Nachricht	1.5 ms	16.79 mA
Vorbereitung der Übertragung	9.76 ms	19.38 mA

 © IMMS GmbH

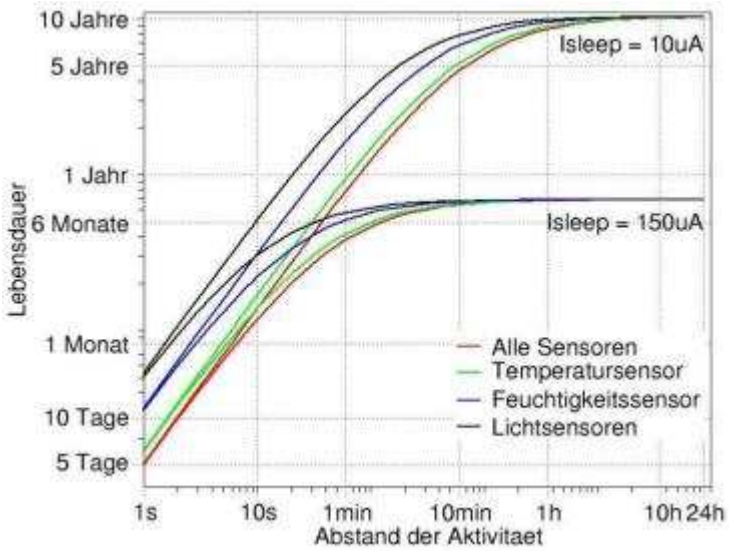
Design energieeffizienter Systeme: Modelle zur Lebensdauerabschätzung

Messung von einzelnen Operationen auf MAC- und Routing-Ebene

Operationen	Dauer	Strom
Übertragung der Nachricht	1.5 ms	16.79 mA
Vorbereitung der Übertragung	9.76 ms	19.38 mA

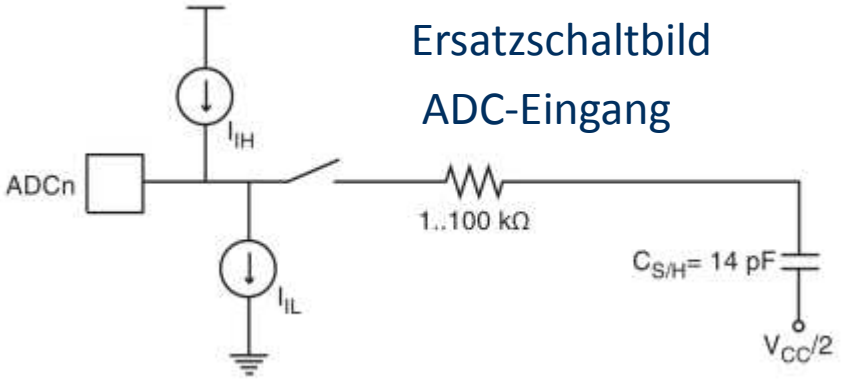


Abschätzung der Lebensdauer BASe-Multisens in Abhängigkeit der Aktivität und des Arbeitsregime



 © IMMS GmbH

Energiemanagement



Ersatzschaltbild

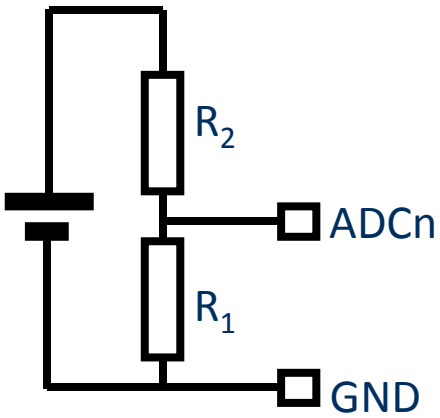
ADC-Eingang

Forderung:

Innenwiderstand Signalquelle

$R_i \leq 10\ k\Omega$!

Szenario: Überwachung Versorgungsspannung (3.0 Volt) mit Spannungsteiler (3/1)



1. $(R_1+R_2)/R_1 = 3/1$
2. $R_{ges} = R_1+R_2$
3. $Ri = (R_1*R_2)/(R_1+R_2)$
4. $R_{1_max} = 3/2R_{i_max}$
5. $R_{2_max} = 3R_{i_max}$

Beispiel	1	2
R_2	30 k	20 k
R_1	15 k	10 k
R_i	10 k	6.7 k
R_{ges}	45 k	30 k
I_{Teiler}	67 µA	100 µA

µC in Power Down →I_{CC} < 1 µA !!

 © IMMS GmbH

Zusammenfassung

- Design energieeffizienter Sensorsysteme von vielen Parametern abhängig
- Möglichkeiten zur Energieeinsparung durch
  - Systempartitionierung und Hardwareauswahl
    - Flash versus SD-Karte versus Funk
    - Spannungsteiler verbraucht mehr Strom als Ruhestrom der Schaltung
    - Energetische Mikroprozessorauswahl anhand der benötigten Software
    - Partielle Abschaltung der Hardware birgt Risiken
  - Software
    - Sample-Intervall
    - Nutzung effizienter Algorithmen
  - Systementwurf
    - Powerprofiling
- Energieeffizienter Entwurf von Sensorsystemen ist die Voraussetzung für den Betrieb dieser mit Energy-Harvestern!

 © IMMS GmbH

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Tino Hutschenreuther

Tino.hutschenreuther@imms.de

Tel.: 03677 – 69 55 40

IMMS Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gemeinnützige GmbH

Ehrenbergstraße 27, 98693 Ilmenau

Tel.: +49 3677 – 69 55 00, Fax.: +49 3677 – 69 55 15

www.imms.de