

DAY 2018
INNOVATION

FMD INNOVATION DAY 2018
Smart Micro Systems

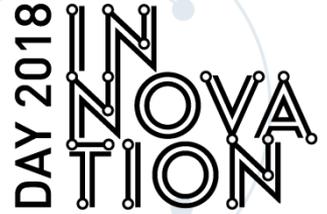
DAY 2018 TINNOVA

SESSION 1 Autarke Mikrosysteme

»Autarke Mikrosysteme in der Anwendung«

Dr.-Ing. Stephan Guttowski, FMD

Gliederung



1. Hintergrund & Relevanz des Themas
2. Eingrenzung des Themas und Begriffsbestimmung
3. Markt- und Technologieübersicht
4. Einsatzbereiche Autarker Mikrosysteme
5. Anbieterübersicht: FMD-Kompetenzen im Bereich Autarke Mikrosysteme
6. Ausblick

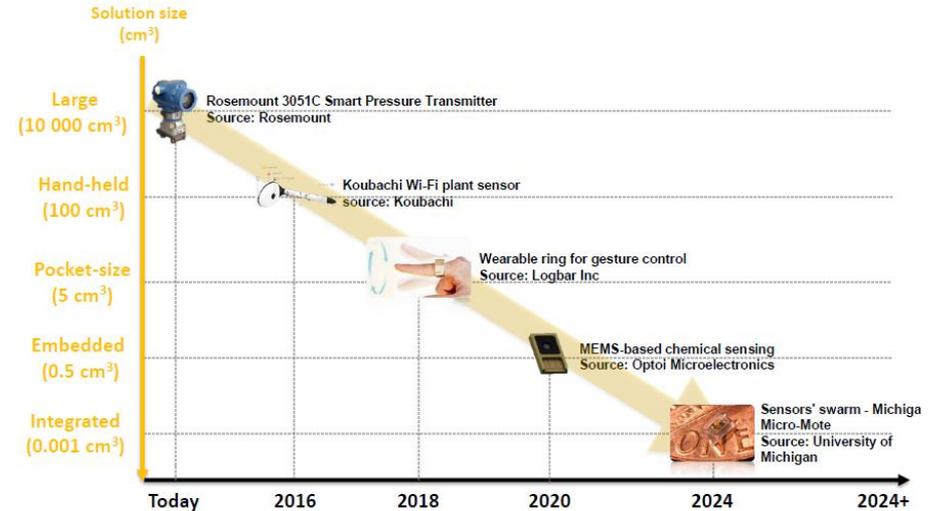
Hintergrund & Relevanz des Themas

DAY 2018
INNOVATION

- **Zukünftige Anwendungen** (z.B. IoT) erfordern zunehmend energieautarke, kosteneffiziente Mikrosysteme:
 - Die Aufgabe solcher Mikrosysteme besteht darin, den Zustand von Objekten oder Personen zu erfassen, die Daten zu verarbeiten und die so gewonnenen Informationen drahtlos weiterzuleiten.
 - Kennzeichen für diese Applikationen sind oft besonders harte Anforderungen an Zuverlässigkeit und Robustheit unter extremen Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, mechanische Belastung).

- **Konkrete »Market Drivers«**

- Zunehmende Vernetzung: Internet of Things
- Energieeffizienz
- Prozesseffizienz / Kosten
- Sicherheit
- Größe, Form Factor (siehe Abbildung)

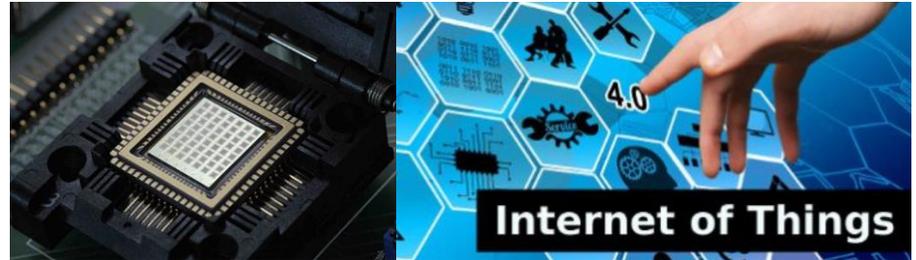


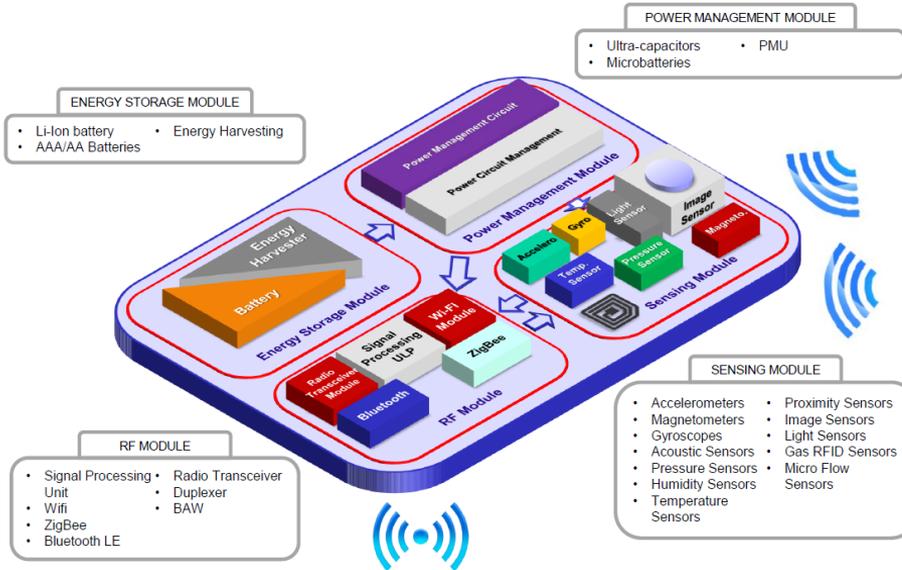
Quelle: Yole 2014, Sensors & Technologies for The Internet of Things, S. 80

Eingrenzung des Themas und Begriffsbestimmung

DAY 2018
NOVA
TION

- Ein **Mikrosystem** ist ein miniaturisiertes Gerät bzw. Bauteil, dessen Komponenten kleinste Abmessungen im μ -Bereich haben und als System zusammenwirken. Üblicherweise besteht ein Mikrosystem aus einem oder mehreren Sensoren, Aktoren und einer Steuerungselektronik auf einem Substrat bzw. Chip.
- Ein **autarkes Mikrosystem** ist ein technisches System, das durch folgende Merkmale gekennzeichnet ist:
 - Autonom (autarke Energieversorgung)
 - vernetzt (drahtlose Kommunikation)
- **Alternative Begriffe**
 - Miniaturisierter autarker Sensorknoten
 - Energieautarke/energieeffiziente Sensorik- bzw. Sensorsysteme





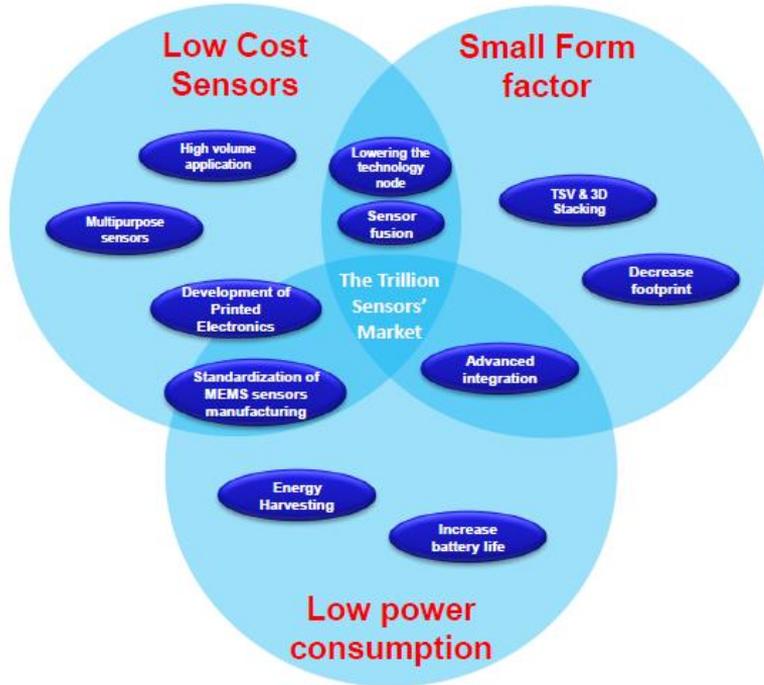
■ Funktionsgruppen autarker Mikrosysteme

- Sensorelement(e)
- Signalverstärker bzw. -wandler
- Mikrocontroller
- Datenspeicher
- RF-Transceiver
- Antennen
- Energiespeicher
- anwendungsspezifisches Gehäuse (Packaging, Systemintegration)

Markt- und Technologieüberblick

Sensorik

DAY 2018
NOVA
TION



- Grundsätzlich ist jedes Sensorprinzip für den Einsatz in autarken Mikrosystemen geeignet
- Bei der Auswahl ist aber zu beachten:
 - Energieverbrauch
 - Eignung für Intervallbetrieb – kurze Anlaufzeit
 - kaum/geringe Signalaufbereitung notwendig
 - Formfaktor
 - hohe mechanische Robustheit
 - Kosten
 - keine Wartung/Kalibrierung möglich

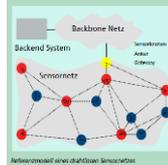
Markt- und Technologieüberblick

Kommunikation: FMD-Beispiel s-net®-Technologie (IIS)

DAY 2018
INNOVATION

Anforderungen an Kommunikationsprotokolle in Sensornetzen

- **Energie:** Betriebsdauer/Lebenszeit des Systems
- **Latenz & Datendurchsatz:** Datenübertragung
- **Skalierbarkeit:** Anzahl/Verteilung TN, mobile Knoten, Teilnetze
- **Topologie:** Anzahl, Anordnung und Verteilung der Knoten



Aufgaben/Rollen Sensorknoten d. drahtlose Kommunikation

- **Gateway-Knoten:** Verbindung Sensornetz mit Backend
- **Zwischenknoten:** Datenweiterl., Ankerknoten z. Lokalisierung
- **Endknoten:** Sensor. Erfassung, Datenverarbeit., Anwend.logik

s-net®-Technologie

USP

- s-net schafft das Fundament für die **drahtlose Vernetzung** und **Lokalisierung**.
- Geringer Stromverbrauch, bidirektionale Technologie, optimierte Kommunikationsprotokolle zur Realisierung energiesparender drahtloser Sensornetze
- Als Low Throughput Network (LTN) erlaubt es auch bei begrenzter Bandbreite eine hohe Lokalisierungsgenauigkeit und dezentrale Entscheidungslogik.

Anwendungen

1. Langlebige Systeme zur großflächigen, verteilten Datenerfassung/-sammlung (z.B. drahtlose Verbrauchswertenerfassung/**Smart Metering** im Gebäudebereich)
2. Lokalisierung von Personen und Objekten (z.B. **Asset Management** in Kliniken)
3. Systeme zur eigenständigen Bearbeitung von Aufgaben (z.B. **Smart Objects** zur Überwachung von **Lieferketten**)



Demonstratoren

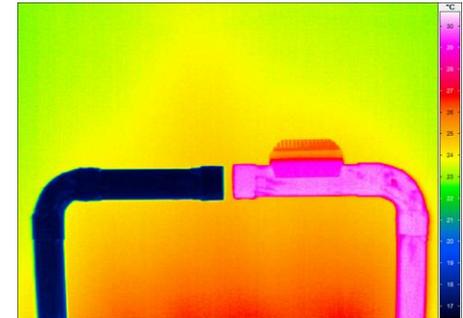
1. Adaptive Funkvernetzung für lokale IoT-Anwendungen
2. Intelligentes **Behältermgt.** für digitalisierte Wertschöpfungsketten
3. Drahtlose Kommissionierung für **Pick-by-Local-Light Systeme**

Markt- und Technologieüberblick

Energieversorgung

DAY 2018
TNOVA

- Energieversorgung durch Energy Harvesting (EH)
 - Energiemengen sind nur in kleinen Mengen in der Umgebung verfügbar
 - Wirkungsgrad von Energiewandlern bzw. verfügbares Bauvolumen ist begrenzt
 - Kleinste Ströme und Spannungen müssen durch Mikroelektronik nutzbar gemacht werden
 - Innenwiderstände von Energiewandlern: Pulsströme müssen über Zwischenspeicher gedeckt werden
 - Anpassung an Umgebung: Umweltenergie (Wärme, Bewegung) muss effektiv zum Energiewandler geführt werden



Einsatzbereiche* von Autarken Mikrosystemen

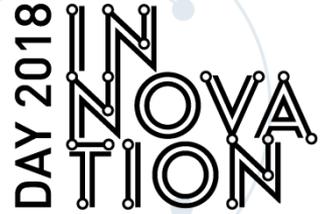
DAY 2018
NOVA
TION

- **Industrie:** Überwachung von großen Maschinen, Motoren und Anlagen (Condition Monitoring)
 - Manufacturing (Industrial IoT, Industrie 4.0): Monitoring der Prozesse
 - Oil & Gas («remote places»)
 - Food & Beverage («harsh environments»)
- **Logistik:** Nachverfolgung von Gütern und Betriebsmitteln
 - Kommissionierung, Lagerhaltung (autonome Positionierung)
 - Autonome Gabelstapler
- **Transportation & Automotive**
 - Monitoring von Zügen, Schiffen, Infrastruktur (Smart Streets)
 - Reifendruck-Sensoren, batterieloses Sicherheitssystem



* Studien zu Wireless Sensors und Energy Harvesting Technologies (Yole etc.)

Einsatzbereiche von Autarken Mikrosystemen



■ Energie & Umwelt

- Smart Metering/Sub-Metering: Verbrauchserfassung von Strom, Wasser und Gas
- Gas Detection, CO₂-Mess-Systeme, Agriculture (pH-Wert oder Pestizid-Menge des Bodens)

■ Smart Home & Smart Buildings

- Steuerung von Licht, Heizung, Klimaanlage, Sonnenblenden, Home Automation
- Beleuchtungs-/HVAC*-Management, Wall Switches, Intelligent Radiator Valves

■ Digitales Leben & Gesundheit

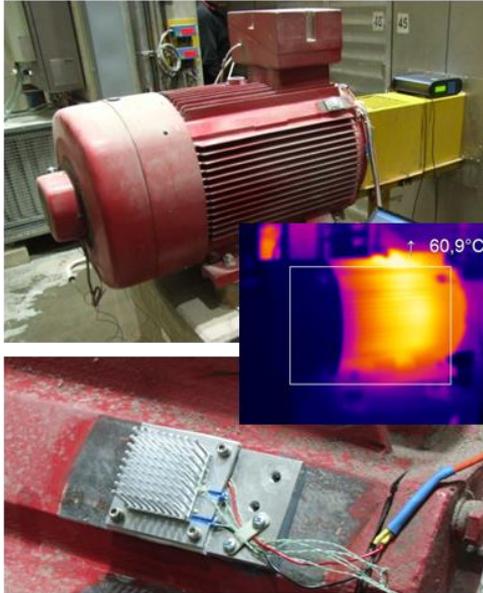
- Überwachen von Vitalparametern des menschlichen Körpers
- Invasive Medizin

■ Sicherheit: Fenstersensor zur Zustandsüberwachung und Einbruchserkennung

* HVAC = Heating, Ventilation, and Air Conditioning

ECoMoS – autarke Mikrosysteme zur Überwachung einer Fertigungsanlage

DAY 2018
INNOVATION



- **Anforderung**
 - Permanente Überwachung des Zustandes von Maschinen mittels verteilter Sensorik
 - Verwendung der Energie aus der Umgebung der Maschinen
 - Aufbau eines Netzes zur Erfassung des Zustandes der Anlage
- **Szenario**
 - Antriebe in Papiermaschinen leiden unter Lagerschäden
 - Zustandsorientierte Wartung verlängert die Laufzeiten der Anlage und senkt die Betriebskosten

Autarker Mikrosysteme zur Überwachung des Versorgungsnetzes

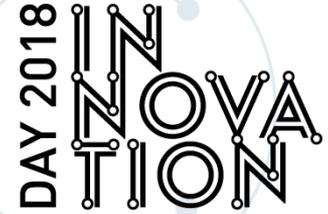
DAY 2018
NOVA
TION



- **Anforderung**
 - Überwachung der Stromtragfähigkeit von Hochspannungsleitungen
 - Verwendung der Energie aus der Umgebung der Maschinen
 - Einspeisung der Daten aus den Spannungsfeldern in die Leitwarten
- **Szenario**
 - Stromtragfähigkeit hängt maßgeblich von den lokalen Wetterbedingungen ab
 - Bestimmung der aktuellen Leitungskapazitäten ermöglicht eine Verbesserung der Auslastung existierender Anlagen

Anbieterübersicht

Kompetenzen in der FMD zu Autarken Mikrosystemen (1/4)



Kompetenzen in den FMD-Instituten zu Autarken Mikrosystemen

- Drahtlos/Funk-Übertragung, Umweltmonitoring, mechanische und Solar-Harvester IPMS
- Low-Power-Elektronik, Aktorik EMFT
- Energy Harvesting, Sicherheitsanwendungen IMS
- Lokalisierung, Ortung, Kommunikation (z.B. Mikrocontroller, ADCs); Sensorik (FDSOI), Piezo-Wandler/Ultraschall-Aktuation; Testing; Smart Objects und Logistik-Anwendungen IIS
- Gesamtsystem (Entwurf/Integration), EH (Thermogeneratoren), Aktorik, Smart Energy IZM
- Sensorik (Entwicklung/Integration), Wakeup-Generatoren/-Receiver, Logistik & Luftfahrt ENAS
- Energy Harvesting (MEMS Vibrations-Harvester) ISIT

Nicht vollständig

Kompetenzen in Zentren und Verbänden zu Autarken Mikrosystemen

- Leistungszentrum Funktionsintegration für die Mikro-/Nanoelektronik (Dresden)
- Leistungszentrum Digitale Vernetzung (u.a. FOKUS, IZM) / Transferzentrum 5G Testbed (HHI)

Anbieterübersicht

Kompetenzen in der FMD zu Autarken Mikrosystemen (2/4)



Technologiekompetenzen	Anwendungsfeld																					
	Industrie <small>Condition & Process Monitoring</small>			Logistik		Transportation & Automotive					Energie & Umwelt				Smart Home & Smart Buildings			Digitales Leben & Smart Health				
	Industrie 4.0	Oil & Gas	Food	Lagerhaltung	Gabelstapler	Züge, Schiffe, Hubschrauber	LKW/PKW (TPKS)	Turbine/Engine Monitoring	Smart Streets	Space	Smart Metering	Gas Detection	CO2-Messung	Smart Agriculture	Home Automation	Commercial Buildings (HVAC)	Einbruchs-erkennung	Invasive Medizin	Wear-ables	Hear-ables	Consumer Electronics	
1. Sensorsystem																						
2. Aktorsystem																						
3. Energieversorgung																						
3.1. Energy Harvesting																						
3.1.1. Mechanische Energy Harvester																						
3.1.1.1 Piezoelektrisch																						
3.1.1.2 Elektromagnetisch																						
3.1.1.3 Elektrostatisch-kapazität																						
3.1.2. Thermische Energy Harvester																						
3.1.2.1 Thermoelektrisch																						
3.1.3. PV																						
3.1.3.1 CMOSiCs																						
3.1.3.2 CMOS/Post-CMOS																						
3.2. Batterien																						
3.2.1 Akkumulatoren																						
3.2.2 Supercaps																						
3.2.3 Mikrobatterien/-																						
4. RF-Modul																						
4.1. Signalverstärker-/wandler																						
4.2. Mikro-Controller																						
4.3. RF-Transceiver																						
4.4. Übertragungsprotokolle																						
4.4.1 WiFi																						
4.4.2 LiFi																						
4.4.3 ZigBee/EnOcean																						
4.4.4 Bluetooth LE																						
4.4.5 RFID (aktiv/passiv)																						
4.4.6 Ultra Wide Band																						
5. Identifikation & Lokalisierung																						
6. Systemintegration & Packaging																						
7. Systemdesign & Test																						
8. Installation, Betrieb und Support																						
Legende																						
	IMS	IISB	EMF	IAF	FHR	ISIT	IPMS	IIS	IZM	HHI	IHP	ENAS	FBH									

Exemplarisch

Anbieterübersicht

Kompetenzen in der FMD zu Autarken Mikrosystemen (3/4)

DAY 2018
INNOVATION

Zentrale übergreifende FMD-Initiativen zu Autarken Mikrosystemen

ZEPOWEL: Towards Zero-Power- Electronics

- **USP**
 - Umfassende Plattformlösung auf Basis eines IoT-Knotens
 - Autonome energieminierte IoT-Hardware
- **Anwendungen/Demonstratoren**
 - **Smart City**: Überwachung und Steuerung von Infrastrukturen (Wasser, Verkehrsströme, Energieversorgung), z.B. vernetzte Partikelsensorik für die Luftgüteüberwachung
 - **Smart Industry/Fabrication** (Industrieelektronik): Minimierung von Energieverlusten in Fertigungsmaschinen mittels intelligenter IoT-Steuerung, die gleichzeitig wertvolle Daten (z.B. für „predictive maintenance“, „automatic process control“) bereitstellen und dank vernetzter Leistungs-Sensorik und -steuerung die Fertigungsqualität erhöhen
- **Kompetenzen & Rollen der Partner**
 - Gesamtsystemspezifikation: IZM
 - IoT-Hardware: IPMS
 - Energie (IPMS): Energy Harvester (ISIT), Energiespeicher (ISIT), Drahtlose Energieversorgung/energieeff. Wandler (Fhg EAS)
 - Kommunikation (ESK): RF-Frontend (IAF), Wake-Up RX (IIS)
 - Sensorik (EAS) und Aktorik (EMFT)
 - IoT Core (IZM)
 - Verifikation (Parameter, Feld): IISB, EMFT
 - Verwertung, Projektmanagement/Koordination: IZM, IISB, FMD

UseP: Universelle Sensor Plattform für IoT

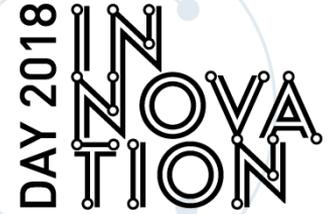
- **Ziel**: Kleinere Systemanbieter sollen den wachsenden F&E-/Fertigungsaufwand für Elektronik der nächsten Generation schultern können
- **Zielgruppe**: Systemintegrationen, KMU und Start-ups
- **USP**
 - Konfigurierbare Sensor-Plattform basierend auf Fully Depleted SOI-Technologie von GF (hochintegrierte stromsparende Chips)
 - Zentrale Steuer-/Recheneinheit mit zahlreichen Schnittstellen und breite Auswahl aktuell gängiger und zukünftiger Sensoren/Aktoren
 - V.a. für IoT-Systeme mit hohem Bedarf an lokaler Verarbeitungsleistung bei gleichzeitig geringer Leistungsaufnahme
 - Modulare Bauweise ermöglicht hohe Funktionsintegration und die Entwicklung von maßgeschneiderten Sensorknoten
 - Gliederung der Herstellung in stetige und in flexible Komponenten
- **Anwendungsfelder**
 - Industrieautomatisierung: Präsenzerkennung durch Bildsensor (System-on-Chip), Zustandsüberwachung und Prozesssteuerung
 - Smart Living: Überwachung vernetzter Gebäude-/Energiesysteme (Elektronische Nase), Bild-/Sprachverarbeitung f. int. Haushaltsgeräte
 - Smart Health: Bild-/Sprachverarbeitung für AAL, Intelligente Prothetik
 - Economy of Things: Security Wallet, Smart Contracts, Digital ID
- **Kompetenzen & Rollen der Partner**
 - Global Foundries (22FDX@-Technologie)
 - VµE (IZM, IIS-EAS): Innovatives Packaging, Konzeptentwicklung, Systemdesign, Sensorik, Datenübertragung, Simulation & Test.

SdSeMa: Strukturintegrierte, drahtlose Sensorik und Aktorik im Maschinenbau

- **Ziel**: Selbstorganisierende bedarfsgesteuerte automatisierte Produktion (Industrie 4.0)
- **Umsetzung**:
 - In-situ-Zustandsüberwachung von Fertigungssystemen, indem Sensoren an **schwer zugänglichen Stellen von Werkzeugmaschinen** funktional direkt in die jeweiligen Komponenten integriert werden („to be integrated directly into the structures of drive mechanisms and tool components“)
 - Vibrations-Harvester, RFID-Sensormodul
 - Konzeption, Entwicklung und Erprobung eines **Kugelgewindetriebes**
- **Partner**: ENAS, IIS-EAS, IPMS, IZM-ASSID sowie IKTS, IWU

Anbieterübersicht

Kompetenzen in der FMD zu Autarken Mikrosystemen (4/4)



FMD-Demonstratoren zu Autarken Mikrosystemen (s. Ausstellung)

FMD-Demonstrator		Vortrag Innovation Day	FMD-Institut
RFID-Drehscheibe		/	IPMS
Pick-by-Light-Demonstrator: RFID-basierter Kommissionierprozess		Drahtlose Kommunikation für autarke Mikrosysteme	IPMS
Funk-Sensornetzwerk zum Monitoring von Hoch- und Höchstspannungsleitungen (ASTROSE)		/	IZM
Temperaturlabel-Demonstrator: Foliensystem zur Temperaturmessung		Zero Power Mikrosysteme	EMFT

1. **Komplettierung der FMD-Kompetenzen zu Autarken Mikrosystemen**
→ Kompetenzmatrix (s. Abb.)
2. **Priorisierung der Einsatzbereiche Autarker Mikrosystemen aus Sicht der FMD**
→ hohes Synergiepotential
3. **Weiterentwicklung der priorisierten Anwendungsthemen**
→ Business Development

- Anwendungs- und Kundenworkshops
- Technologie-Alignment

4. Roadmapping zu Autarken Mikrosystemen

- Zukünftige Anforderungen
- Lösungsansätze
- Forschungs-Roadmap der FMD
(Invest in Maschinen, Kompetenzaufbau, Zugang zu Technologien, Kunden, Partnern etc.)

Technologiekompetenzen	Anwendungsfeld																			
	Industrie (Control Process)			Logistik		Transportation & Automotive				Energie & Umwelt			Smart Home & Smart Buildings		Digitales Leben & Smart Health					
	Industrie 4.0	Q/E/G	Produktion	Lagerhaltung	Gabelstapler	Züge, Schiffe, Flugzeuge	Autos, LKW, PKW (TPC)	Turbinen	Smart Streets	Smart Metering	Gas	CO ₂ -Messung	Smart Agriculture	Home Automation	Commercial Buildings (BAC)	Erkrankungserkennung	Invasive Medizin	Wearables	Consumer Electronics	
1. Sensorysystem																				
2. Aktorsystem																				
3. Energieversorgung																				
3.1. Energy Harvesting																				
3.1.1. Mechanische Energy Harvester																				
3.1.1.1. Piezoelektrisch																				
3.1.1.2. Elektromagnetisch																				
3.1.1.3. Biomembranbasiertes																				
3.1.2. Thermoelektro Energy Harvester																				
3.1.2.1. Thermoelektrisch																				
3.1.3. PV																				
3.1.3.1. CMOS/PEC																				
3.1.3.2. CMOS/PEC-CMOS																				
3.2. Batterien																				
3.2.1. Akkumulatoren																				
3.2.2. Supercaps																				
3.2.3. Mikrobatterien																				
4. RF-Matrix																				
4.1. Logikregister-Änderer																				
4.2. Filter, Controller																				
4.3. RF-Transceiver																				
4.4. Identifikationsprotokolle																				
4.4.1. RFID																				
4.4.2. UHF																				
4.4.3. Software-Defined																				
4.4.4. Bluetooth LE																				
4.4.5. RFID (act/passive)																				
4.4.6. Ultra-Fine Range																				
5. Identifikation & Lokalisierung																				
6. Systemintegration & Packaging																				
7. Systemdesign & Test																				
8. Installation, Betrieb und Support																				

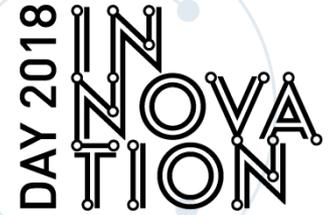
DAY 2018 TINNOVA

SESSION 1 Autarke Mikrosysteme

»Zero Power Mikrosysteme«

Frank Vanselow, Fraunhofer EMFT

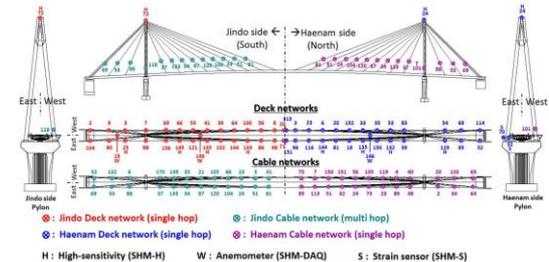
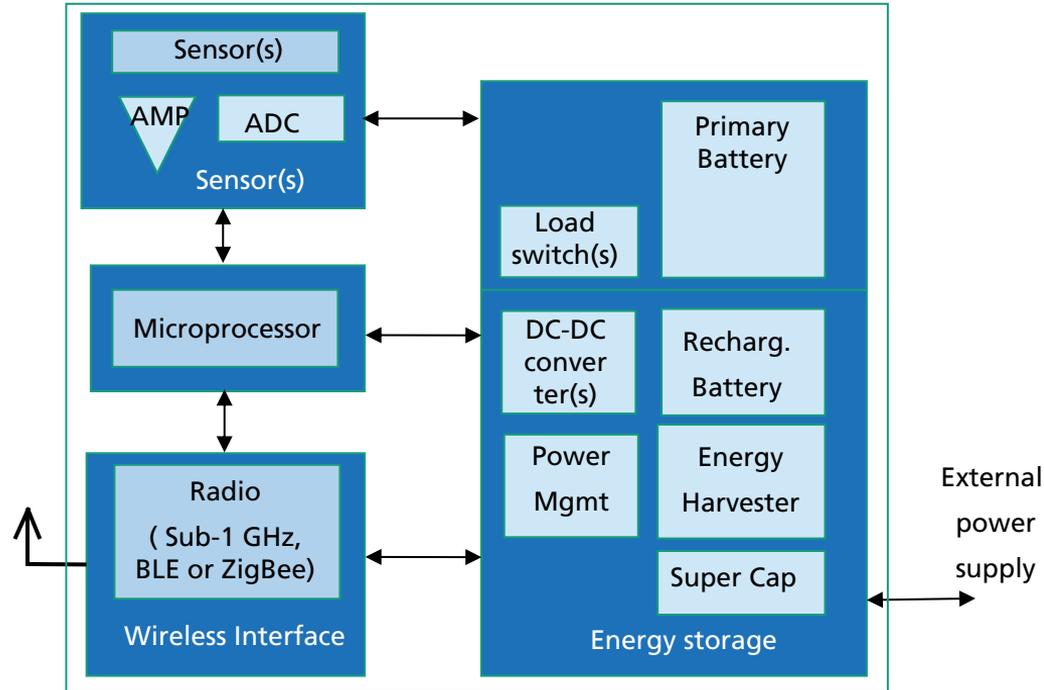
AGENDA



- Motivation Autarke Mikrosysteme
- Herausforderungen und Technologien
 - Energiespeicher
 - Harvesting
 - Power Management
 - Sensorik, Funkprotokolle
- ZePowel

Motivation – Power für autarke Mikrosystem

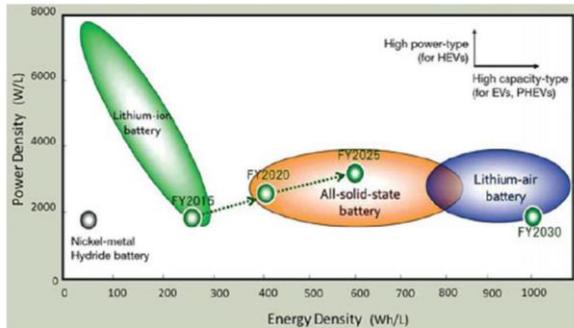
JAY 2018
NOVA
TION



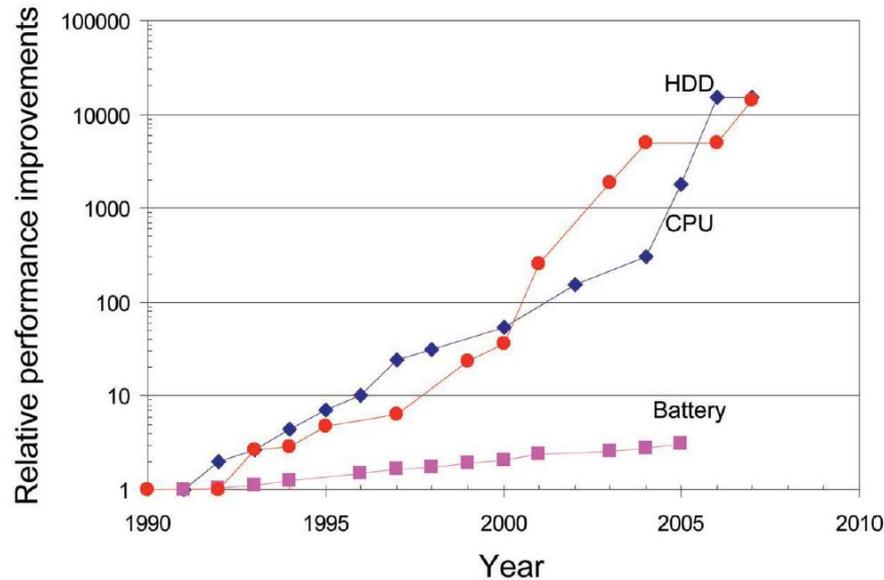
<https://smartstructure.weebly.com/jindo-bridge.html>

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Energiespeicher

- Batterietechnologie 2x Verbesserung alle 10 Jahre
- CMOS Technologie 2x Verbesserung alle 18 Monate



Toyota EV battery development roadmap
Toyota, 2014

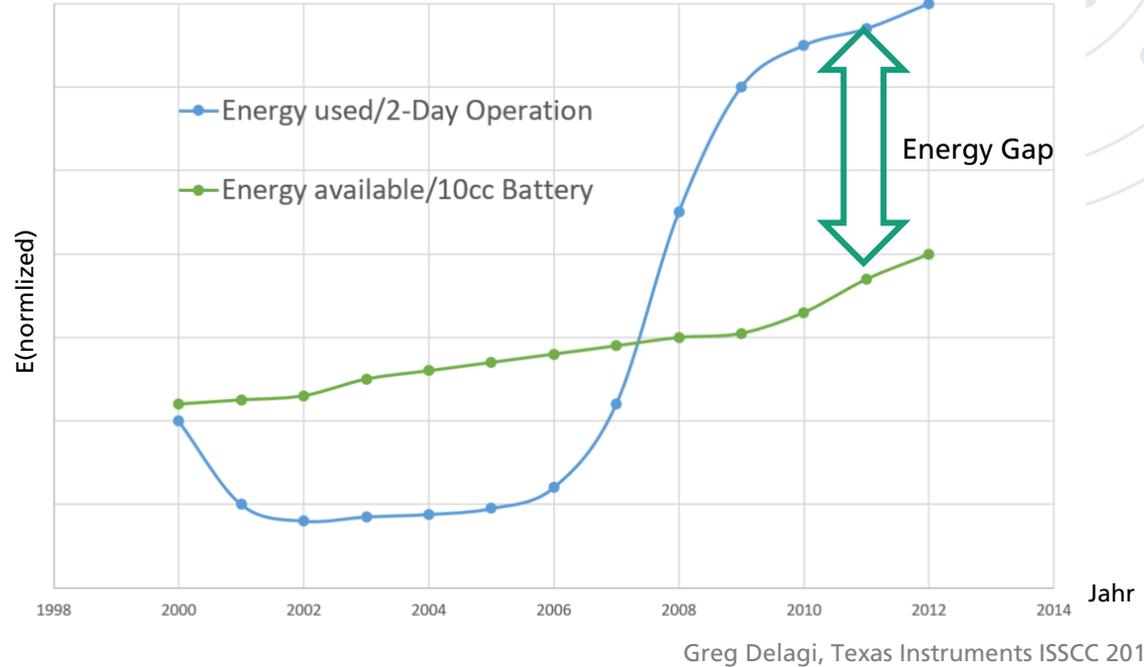
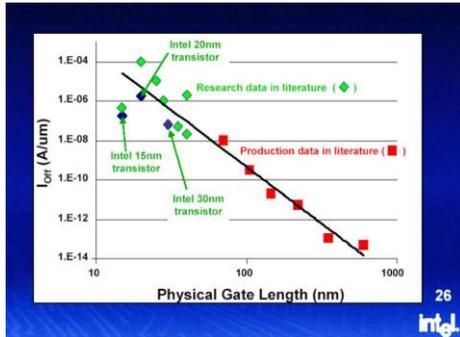


Ref: Chalamal,
Proc. IEEE, 2007

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Energiespeicher

DAY 2018
INNOVATION

- Sättigung der Entwicklung
- Kritisch für Multisensoranwendungen
- Leckströme relevant



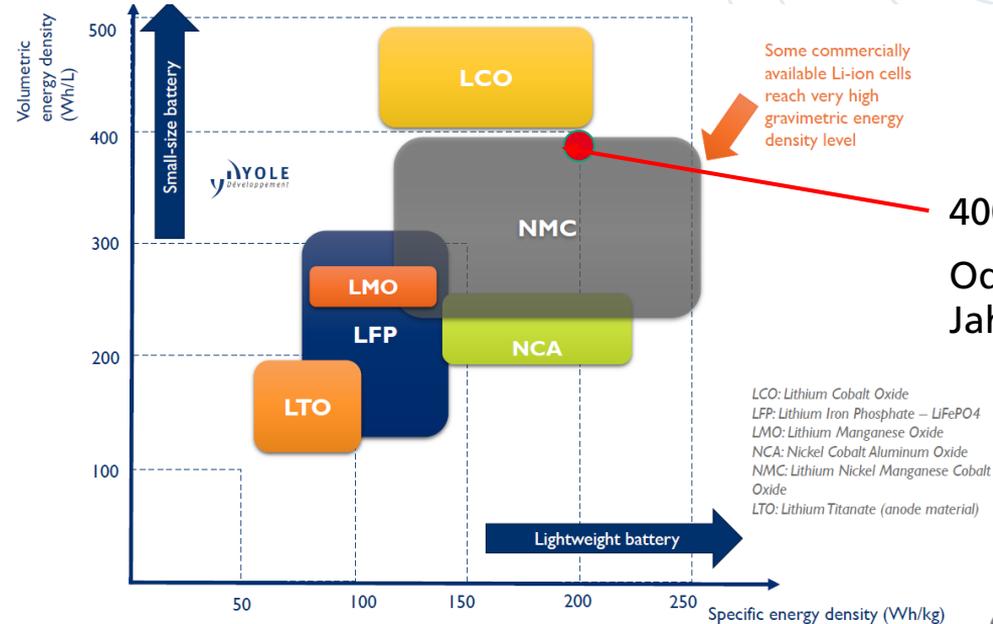
Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Energiespeicher

DAY 2018
INNOVATION

- Durchschnittlicher Leistungsverbrauch von einigen mW
- Betrieb : einige Tage
- Baugröße vs. Energiemenge



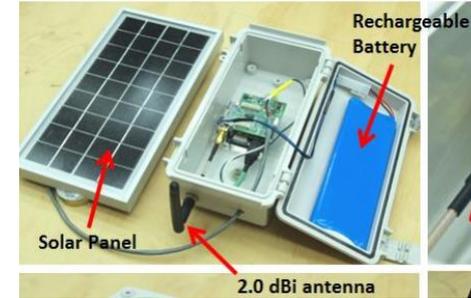
Imote2 , Intel Research



Yole : 2018 Solid-state batteries

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Photovoltaik

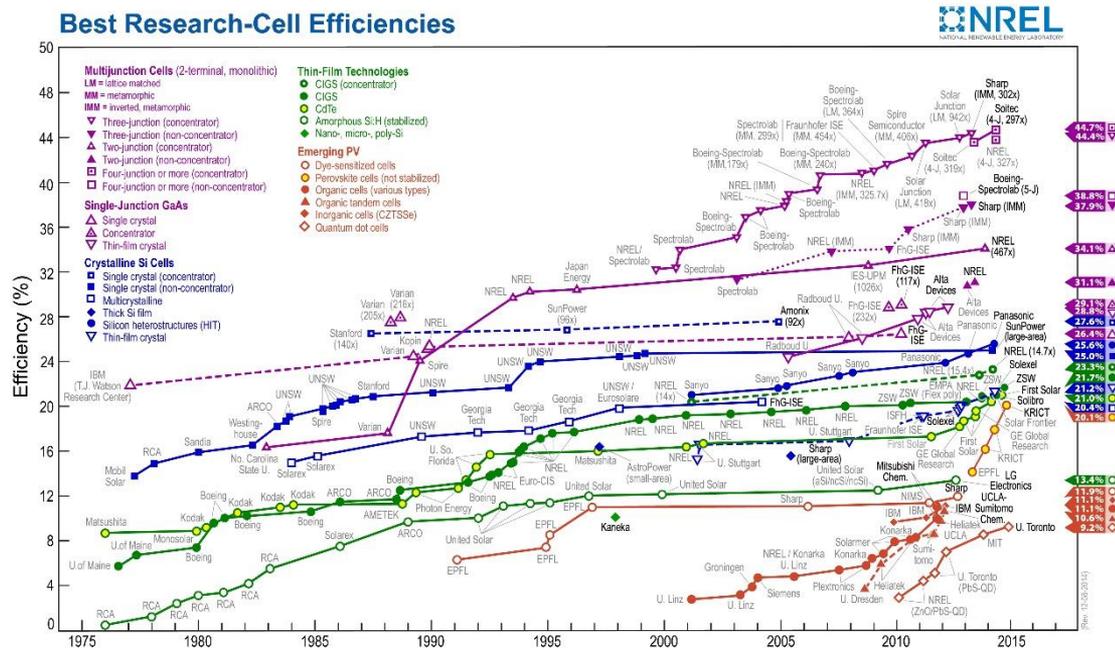
DAY 2018
NOVA
TION



- Solarkonstante : 136 mW/cm²
- P_{real} : 8 – 12 mW/cm²
- Einsatz im Außenbereich

<https://smartstructure.weebly.com/jindo-bridge.html>

Best Research-Cell Efficiencies



Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Photovoltaik

DAY 2018
INNOVATION

Yole Emerging PV Technologies 2014

	Average module efficiency (%)	Average coeff. of temp. losses (%/°C)	Weight per m ² (kg/m ²)	Power per m ² (Wp/m ²)	Power per kg (Wp/kg)	Life time (years)	Average module costs (\$/Wp)	
Gen1: Crystalline Si								
	Monocrystalline	16.3%	-0.43	11.6	163	14	25	0.63
	Multicrystalline	15.5%	-0.44	12.6	155	13.3	25	0.60
	Heterojunction	18.5%	-0.30	11.9	178	15	25	0.85
Gen2: Thin films								
	A-Si	9%	-0.29	17.5	91	5.2	25	0.45
	A-Si (flexible)	6.7%	-0.21	3.2	67	20.6	25	~2
	CIGS	12.7%	-0.31	10.2	127	12.5	25	0.6
	CIGS (flexible)	7.80%	-0.50	1.9	78	41.2	25	1.6
	CdTe	12.5%	-0.25	16.7	125	7.5	25	0.6
	CdTe (flexible)	NA	NA	NA	NA	NA	-	R&D
Gen3								
	III-V (CPV)	~30%	-0.15	-	-	-	25	~2.3
	III-V (flexible)	20.4%	-0.01	2.3	204	88.2	NA	>10
	Organic PV (flexible)	~2%	NA	0.9	17	18.4	NA	>10
	DSSC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	R&D

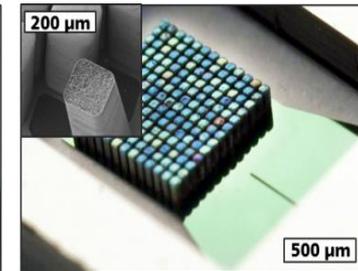
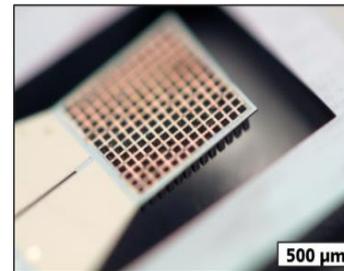
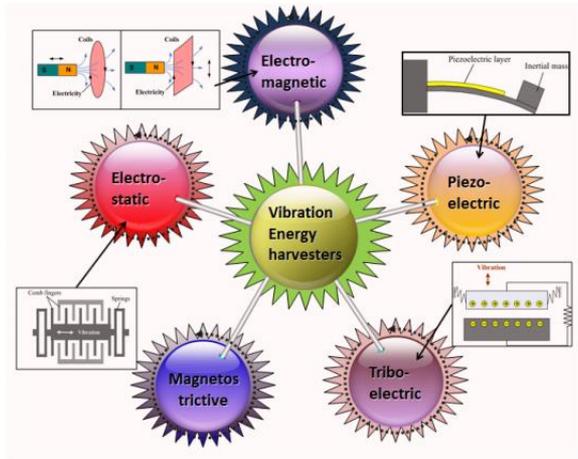
- Mono-/Polykristalline Solarzellen kostengünstig, sehr effizient, langlebig
- III/V hohe Kosten, hohe Energiedichte / kg
- Zusätzlicher Energiespeicher

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk

Vibrationsharvester

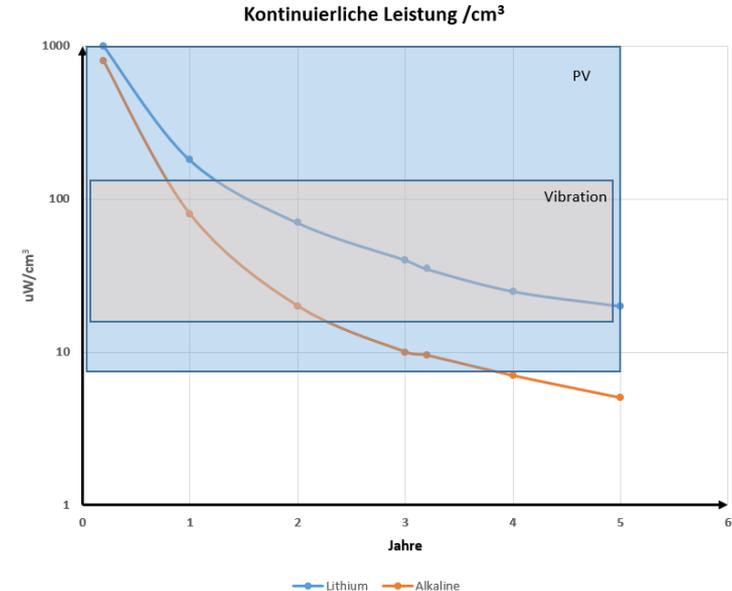
- Elektrostatisch (Triboelektrisch)
- Piezoelektrisch
- Elektromagnetisch

Typ	Praktisches Maximum	Theoretisches Maximum
Piezoelektrisch	17.7 mJ/cm ³	335 mJ/cm ³
Elektrostatisch	4 mJ/cm ³	44 mJ/cm ³
Elektromagnetisch	4 mJ/cm ³	400 mJ/cm ³



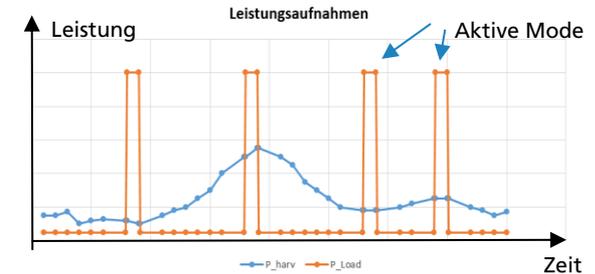
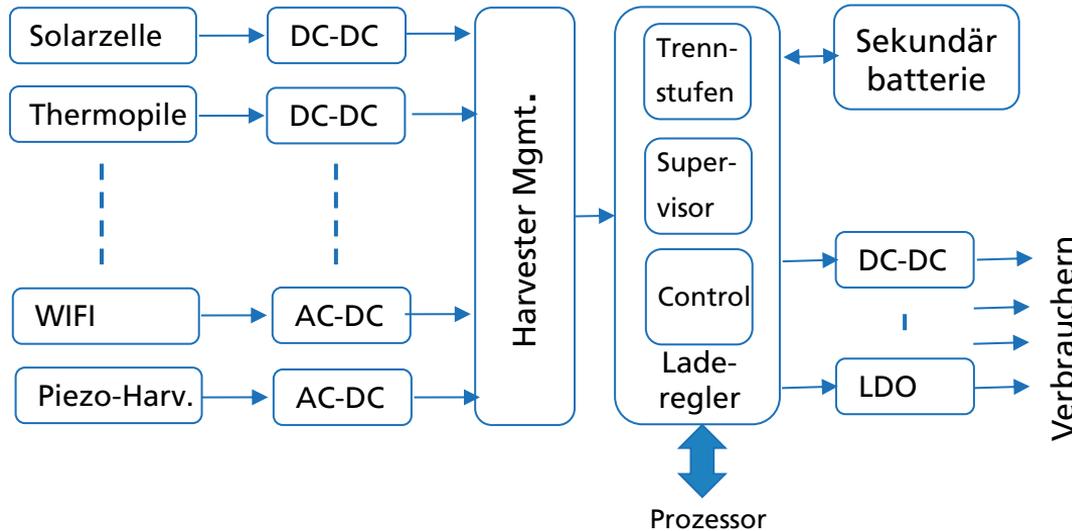
Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Harvesting

Power Source	P/cm ³ (μW/cm ³)	E/cm ³ (J/cm ³)	P/cm ³ /yr (μW/cm ³ /yr)	Secondary Storage needed	Spannungseregelung benötigt
Primärbatterie	-	2880	90	Nein	Nein
Sekundärbatt.	-	1080	34	-	Nein
Supercap	-	50-100	1.6-3.2	Nein	Ja
Solar (outside)	15000*	-	-	Ja	Ja
Solar (inside)	10*	-	-	Ja	Ja
Temperatur	40*	-	-	Ja	Ja
Vibrations	300	-	-	Ja	Ja
Air flow	380	-	-	Ja	Ja



<http://jes.ecsdl.org/content/165/8/B3130/T2.expansion.html>

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk Power Management

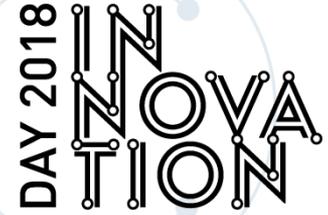


Adaptive HW und SW Techniken:

- Dynamically control supply voltage
- Taktfrequenz Prozessor

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk

Funkprotokolle



	Type	BLE mit TI CC2640	Overhead
Link Layer	Control & synchronization	1900 nJ/bit	70x
	Acknowledge receive	1200 nJ/bit	44x
	3-channel redundancy	790 nJ/bit	29x
Physical Layer	+ packet preamble and TX startup (short packet)	190 nJ/bit	7x
	+ packet preamble and TX startup (long packet)	37nJ/bit	1.4x
	Over-the-air (raw)	27 nJ/bit	1x

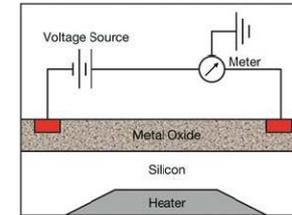
- Daten vor Ort speichern, auswerten und in großen Datenpaketen senden, wenn Latenzzeit unkritisch ist
- Energie/Bit für schmalbandige Dienste mit großer Reichweite noch größer

Herausforderungen IoT Sensornetzwerk

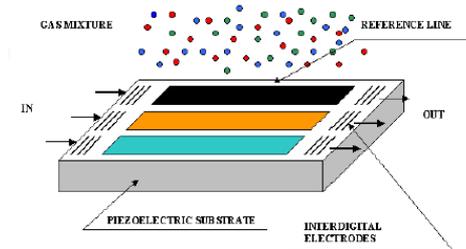
Leistungsaufnahme Sensorik

DAY 2018
INNOVATION

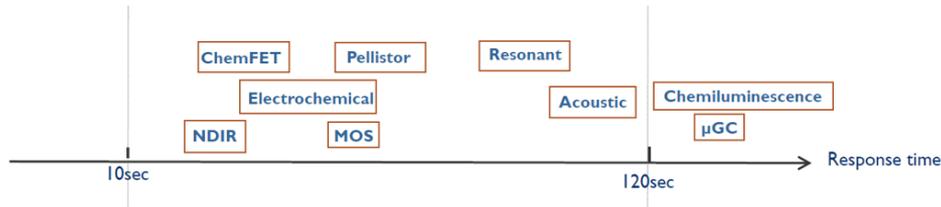
Typ	Technol.	Leistungsaufn.	tr	Volumen
Beschleunigung		1- 10s uW		
Integrierte Gas, Luftfeuchte Temp.		1- 10s uW @ 1 Hz	8s	9 mm ³
Partikel	Optisch	100s mW @ 1Hz	< x*10s	20k mm ³
Gas	MOS ChemFET Resonant	1-10s of mW's Few mW's	< 1s	8 mm ² ~ mm ² Few mm ²



Metal Oxide gas sensor



Resonant (SAW) gas sensor

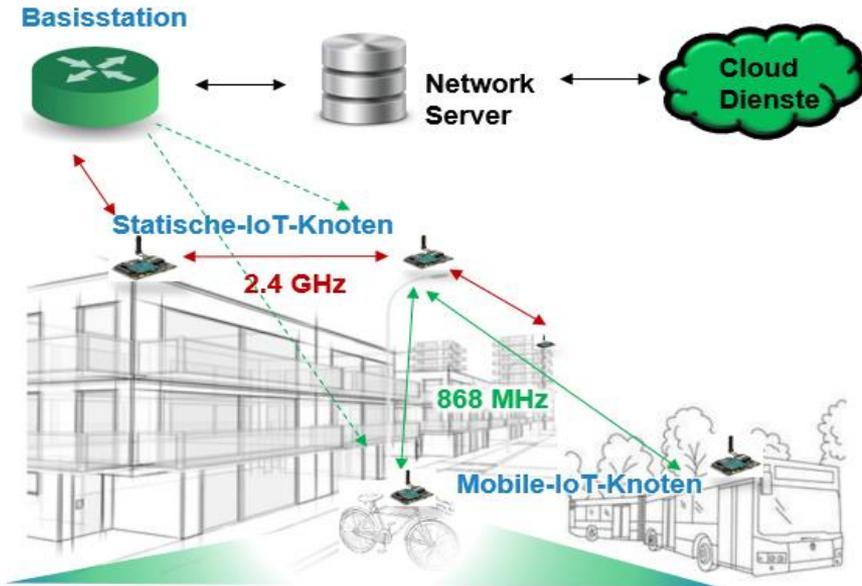


Yole Gas Sensor Technology 2016

ZePowel – Autarkes Sensornetzwerk

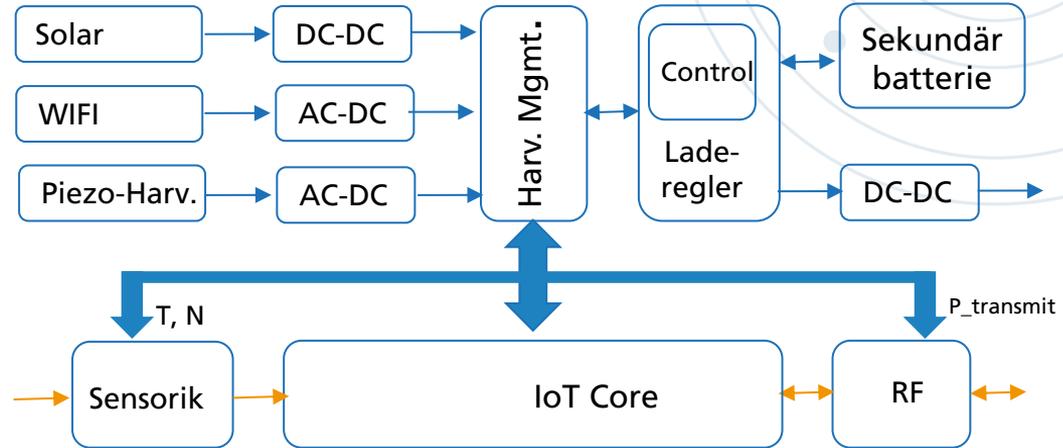
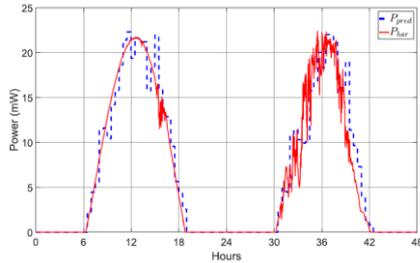
DAY 2018
INNOVATION

ZePowel Smart-City-Demonstrator



- Algorithmen für die Minimierung der RF Sendeleistungen im Multihop Netzwerk
- Reaktionsschnelle Sensorik
- Breitbandige Energieharvester mit speziellen Piezoelektrika
- Rekonfigurierbarer IoT Core für intelligentes Power Management
- Kryptografisch abgesicherte Wake-up Module mit kurzer Reaktionszeit
- Geringe Baugröße von einige cm³

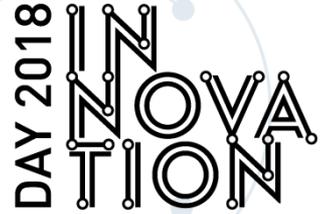
Predictive Power Management



IoT Netzwerk mit Cloud für Leistungsoptimierung und Verbesserung des QoS nutzen

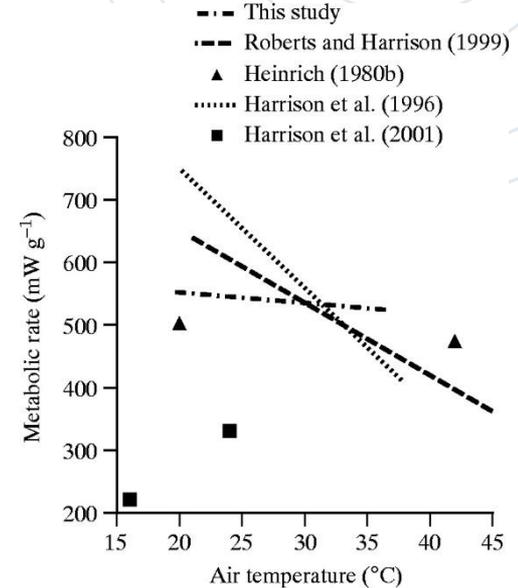
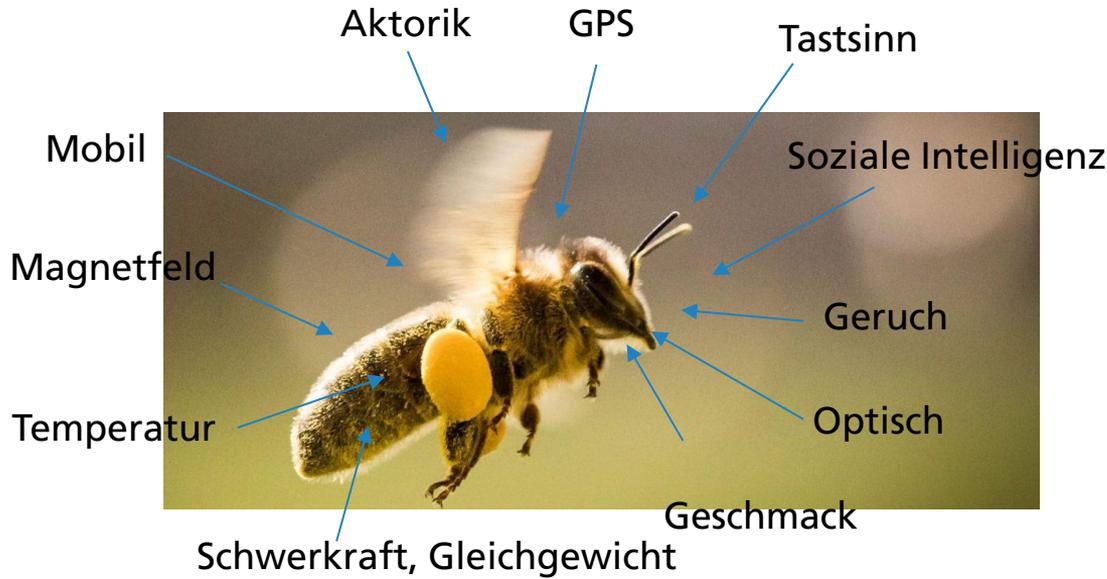
1. Verkehrs- und Nutzeraufkommen
2. Meteorologische Daten
3. Zustand der IoT Knoten

Zusammenfassung



- Leistungsanforderungen für autarke Sensorknoten sind sehr herausfordernd
- Applikation definiert die Energiequelle
- Holistischer Ansatz zur Optimierung des Leistungsverbrauchs notwendig
- Übertragungs- und Messraten den Erfordernissen anpassen
- RF-, IoT-core, Sensorik und Power Management haben enormes Potential für Verbesserungen

Ausblick



<http://jeb.biologists.org/content/208/6/1161>

DAY 2018 TINNOVA

SESSION 1 Autarke Mikrosysteme

»Drahtlose Kommunikation für autarke Mikrosysteme«

Dr.-Ing. Frank Deicke, Fraunhofer IPMS

Einfluss der Umgebung

DAY 2018
NOVA
TION



Anforderung Reichweite

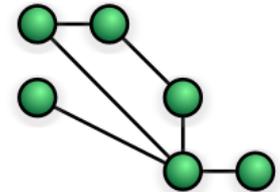
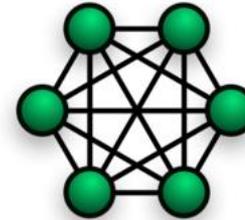
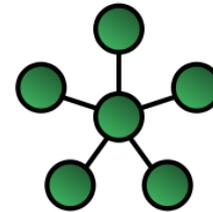
DAY 2018
NOVA
TION

- Optimierung von
 - Trägerfrequenz
 - Funkprotokoll
 - RX Sensitivität*
 - TX Leistung*
 - Anpassung
 - Antennengröße
 - ...

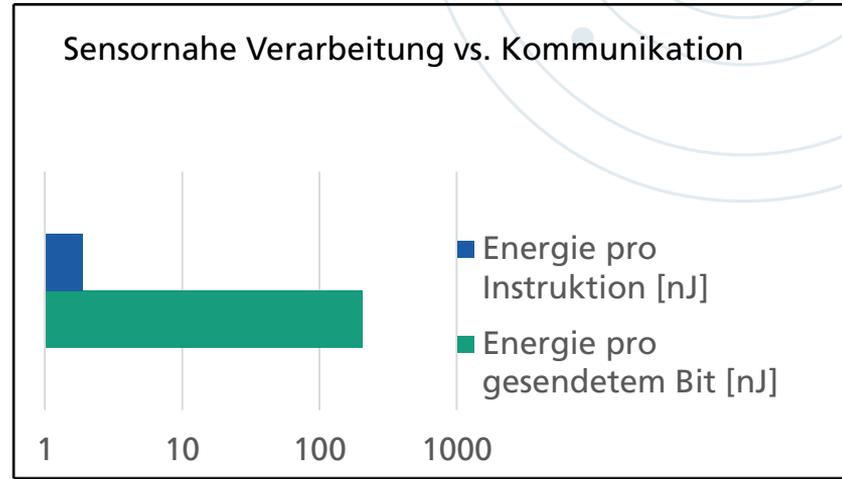
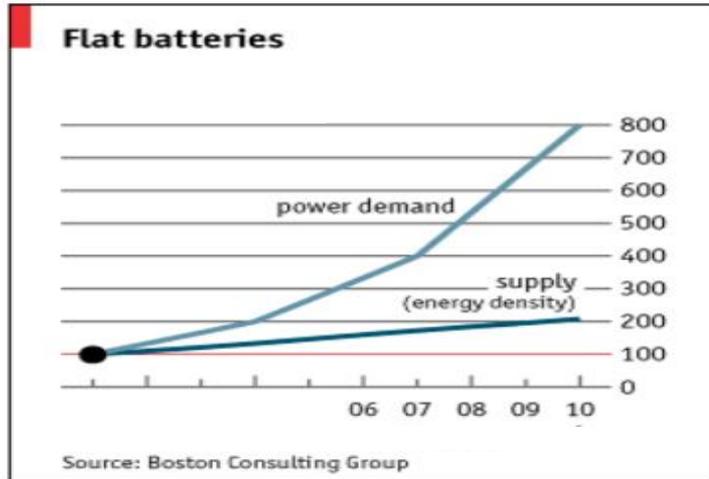


Netzwerktopologien

- Stern-Topologie
 - Coordinator & Client
 - Sendeleistung bestimmt Reichweite
 - Asymmetrischer Energiebedarf
- Mesh-Topologie
 - Jeder kommuniziert mit Jedem
 - Homogenität
- Hybride-Topologie
 - Multi-Hop-Routing → Reichweitensteigerung
 - Energiebedarf für Empfang und Weiterleitung



[Quelle: wikipedia.org]



- „Battery Gap“: Energiebedarf wächst stärker als Kapazitätssteigerung der Batterieentwicklung
- Energiebedarf für Funkkommunikation ist der entscheidende Faktor für die Batterielaufzeit
- Sensornahe Signalverarbeitung!

Beispiel – Feuchtemessung im Wärmedämmverbundsystem

DAY 2018
INNOVATION

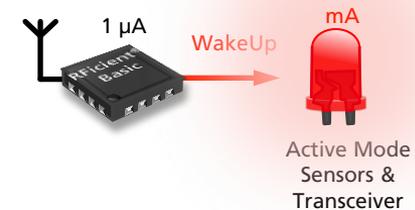
- Datenlogger für Feuchtemessung in Wärmedämmverbundsystem (WDVS) integriert
- Laufzeit: 5 Jahre
- Reichweite: bis 10m Innenraum
- Ziel:
 - kleine flache Bauform
 - lange Laufzeit
 - robust



Wake-Up Receiver

DAY 2018
NOVA
TION

- Einsatz als Trigger zur Aktivierung von Sensorik und aktiver Funkkommunikation bei minimalem Standby-Verbrauch
- SRD-/ISM-Frequenzbänder 433 MHz, 868 MHz, 2,4 GHz
- Leistungsaufnahme: 2 μ W bei 1,6 V
- Reaktionszeit: 30 ms (1 kbit/s) Empfindlichkeit: -80 dBm
- Nutzen
 - Batterielebensdauer erhöhen
 - Baugröße reduzieren



Beispiel – RFID Pick-By-Light: Sensorik & Aktorik

DAY 2018
NOVA
TION

- RFID-Lichtsignale unterstützen Teileauswahl/Kommissionierung
- RFID-Waage erkennt Gewicht des KLT*
- Automatisches Auffüllen der KLTs



Beispiel – Temperaturüberwachung im Schaltschrank

DAY 2018
T I O N
I O N
O V A

- Batterie- & drahtlose Messung
- Frühzeitige Gefahrendetektion
- Optimierte Planung von Serviceintervallen



DAY 2018
INNOVATION

FMD INNOVATION DAY 2018
Smart Micro Systems