



CSMA-basiertes Sensor/Aktor- Funknetzwerk für Echtzeit-Anwendungen (10ms) in der Fertigungsautomatisierung

Rainer Hornung, Ralf Heynicke, Gerd Scholl

Professur für Elektrische Messtechnik

Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

rainer.hornung@hsu-hh.de

Gliederung:

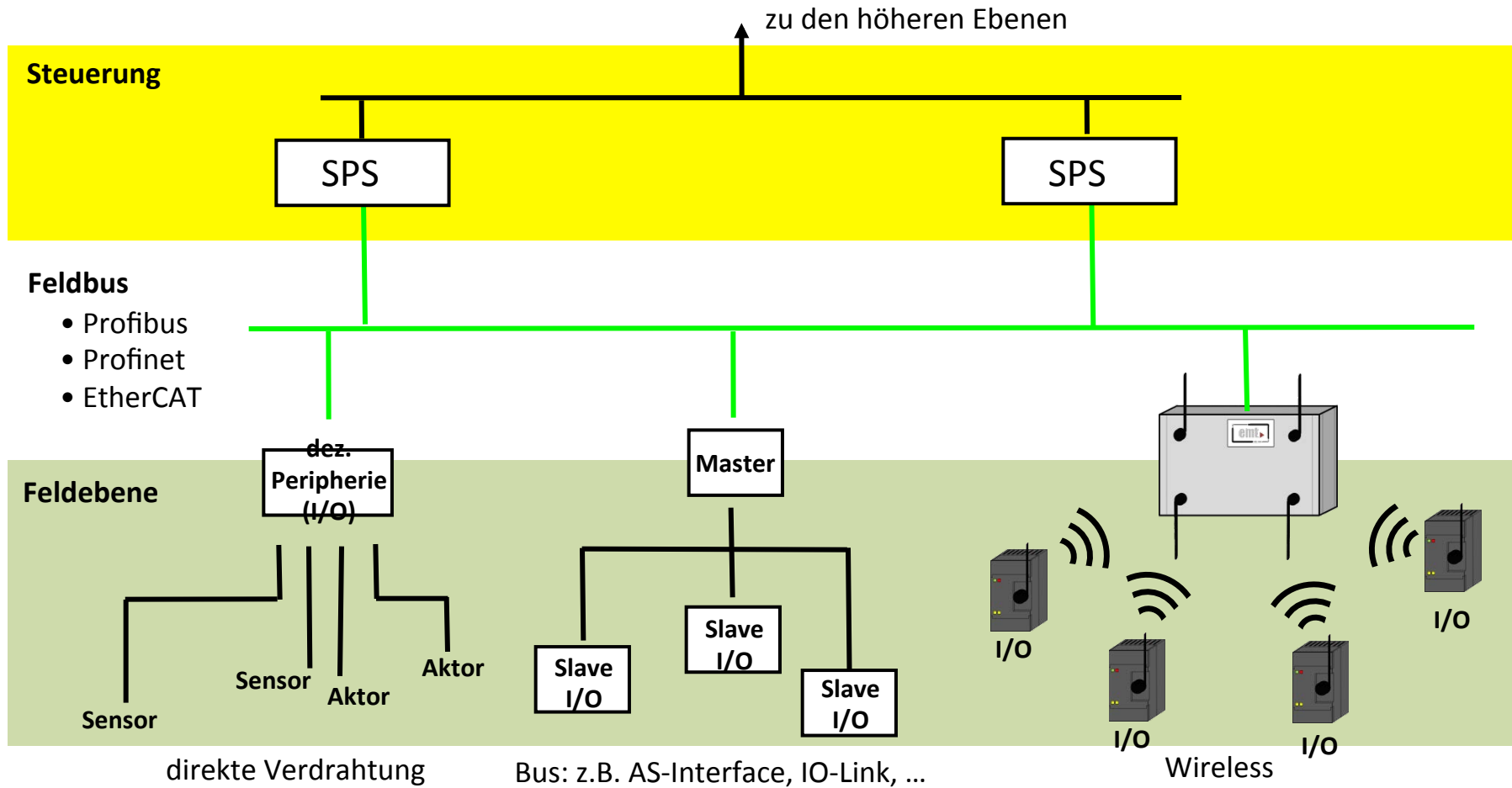
- **Drahtlose Kommunikation in der Fertigungsautomatisierung**
 - **Prinzipieller Aufbau**
 - **Vorgaben**
 - **Stand der Technik**
 - **Probleme & Lösungsansätze**

- **CSMA-basiertes Funknetzwerk für die Fertigungsautomatisierung**
 - **Frameaufbau**
 - **Realisierung Basisstation**
 - **Realisierung energieautarker Sensor**
 - **Maximale Auslastung des Systems**
 - **Koexistenz**

- **Zusammenfassung**

Drahtlose Kommunikation in der Fertigungsautomatisierung

Prinzipieller Aufbau



Drahtlose Kommunikation in der Fertigungsautomatisierung Vorgaben

- Bis zu 120 drahtlose Sensoren / Aktoren an einer Basisstation
- Die Echtzeitanforderungen zwischen einem Sensorereignis und der Bereitstellung der Sensorinformation an der Basisstation liegen im Bereich von 10 ms bis 50 ms
- Zuverlässigkeit vergleichbar zu drahtgebundenen Systemen (Fehlerwahrscheinlichkeit $< 10^{-9}$)
- Energieautarke Sensoren
- Koexistenz zu anderen Funkstandards
- Skalierbarkeit, Modularität
- Einsatz von Standardkomponenten



Drahtlose Kommunikation in der Fertigungsautomatisierung Stand der Technik

ABB: WiSA

- Basiert auf dem Physical Layer von IEEE 802.15.1
- Bis zu 60 / 120 Sensorknoten pro Basisstation
- Induktive Energieversorgung der Sensorknoten
- Verzögerung von bis zu 30 ms



ABB Automation Products 1SBC 125 003 C0204 ABB- 08/2011

Phoenix Contact: Interface Wireless

- Basiert auf IEEE 802.15.1, mit Bluetooth Stack
- Bis zu 7 Teilnehmer pro Basisstation
- Verzögerung zwischen 8 ms und 16 ms



TRUSTED WIRELESS 103146_00_de PHOENIX CONTACT - 11/2006

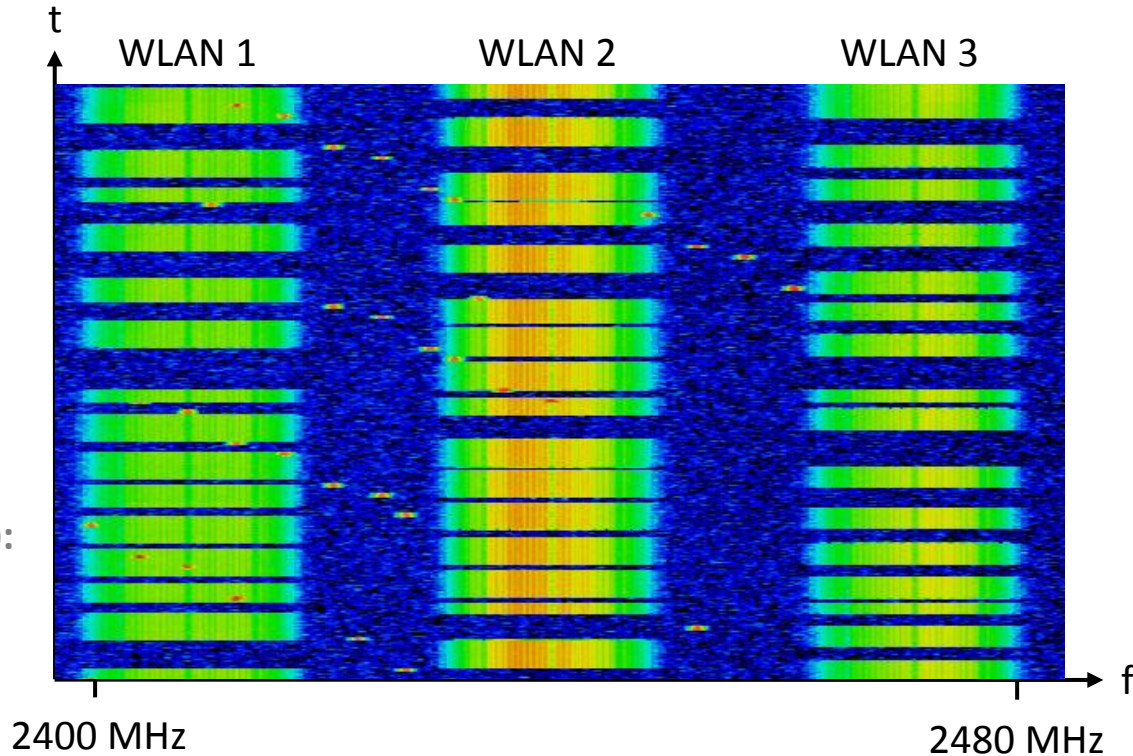
Drahtlose Kommunikation in der Fertigungsautomatisierung Probleme & Lösungsansätze

Probleme:

- Koexistenz:
 - Keine aktive Koexistenz
- FDMA/TDMA:
 - Synchronisation
 - Hoher Energieverbrauch

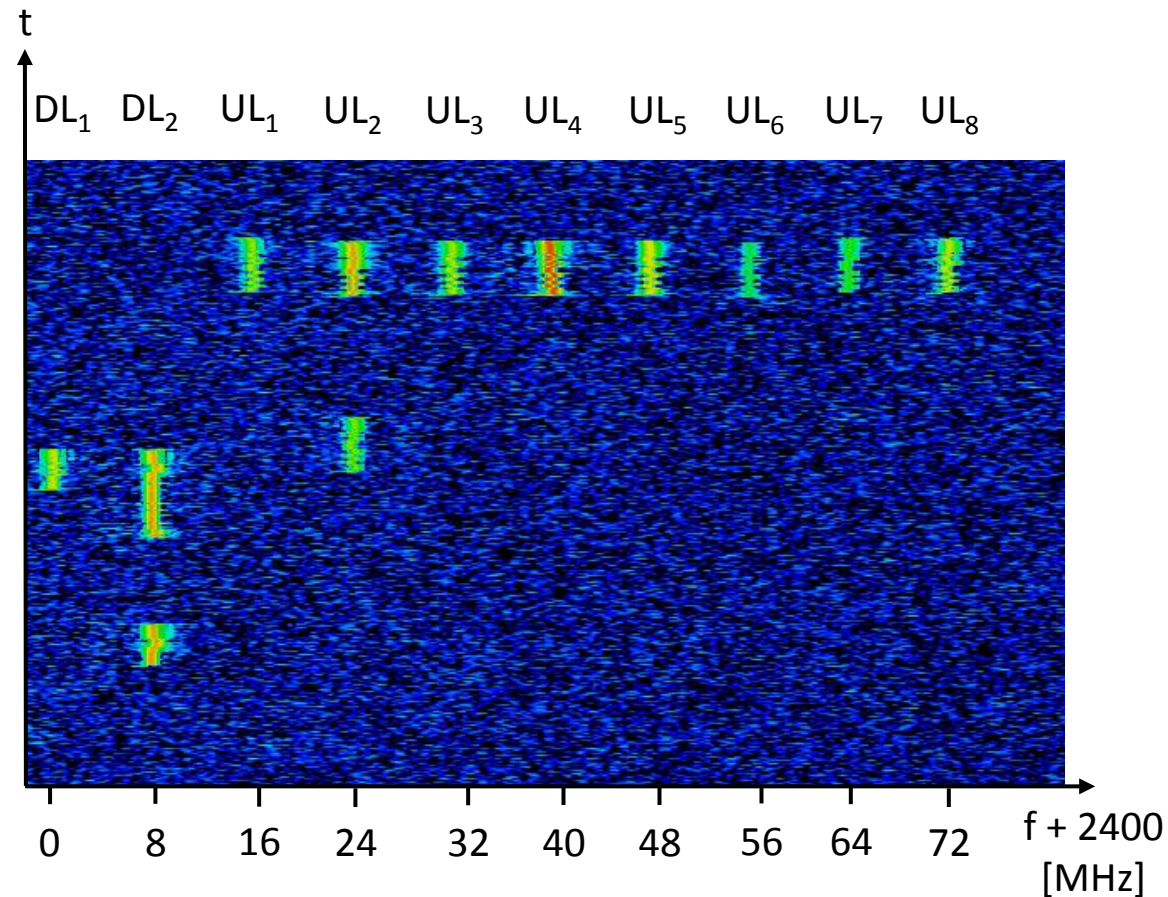
Lösungsansätze:

- Koexistenz:
 - Listen before talk
=> Aktive Koexistenz
- Carrier Sense Multiple Access (CSMA):
 - Ereignisorientierter
Sendezeitpunkt
 - Geringer Duty-Cycle
 - Geringer Energieverbrauch im
Sensormodul



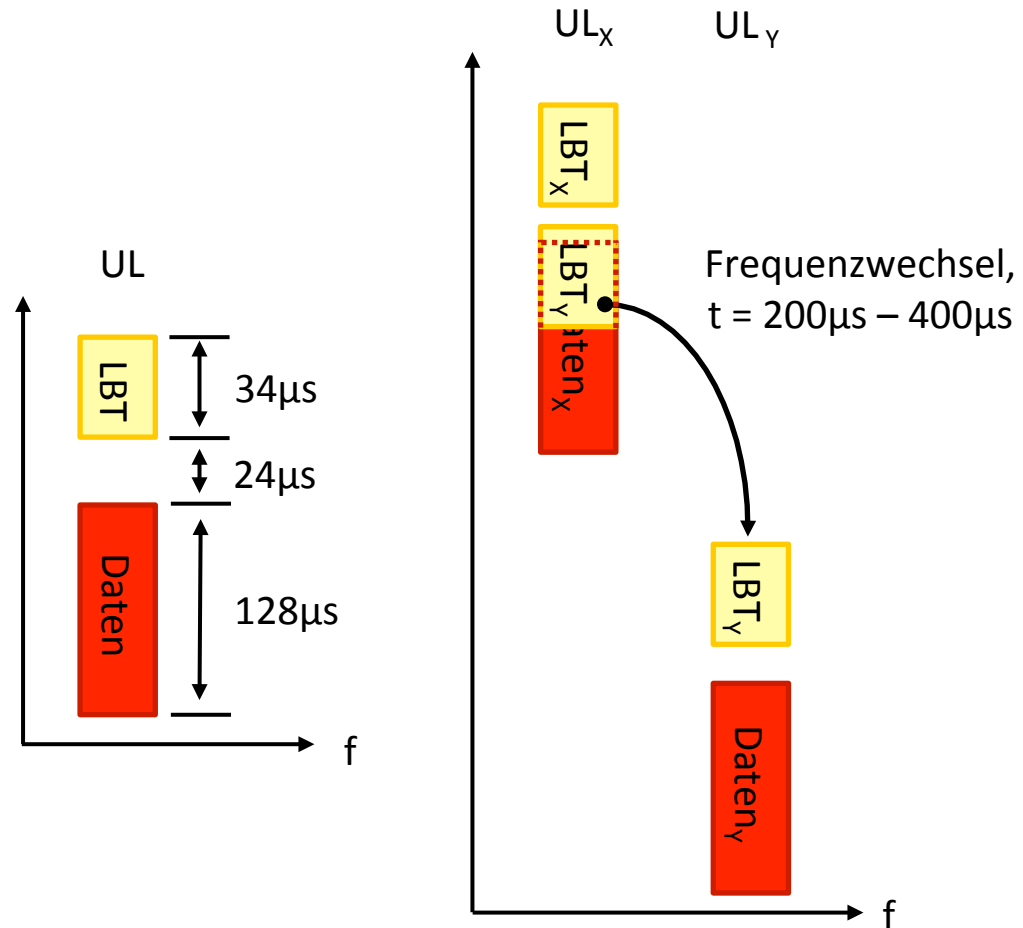
CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Frameaufbau

- 8 parallele Uplink- Spuren
- 2 feste Downlinkspuren mit
 - Acknowledge innerhalb von $t = 500 \mu\text{s}$
 - Flexibler Packetaufbau



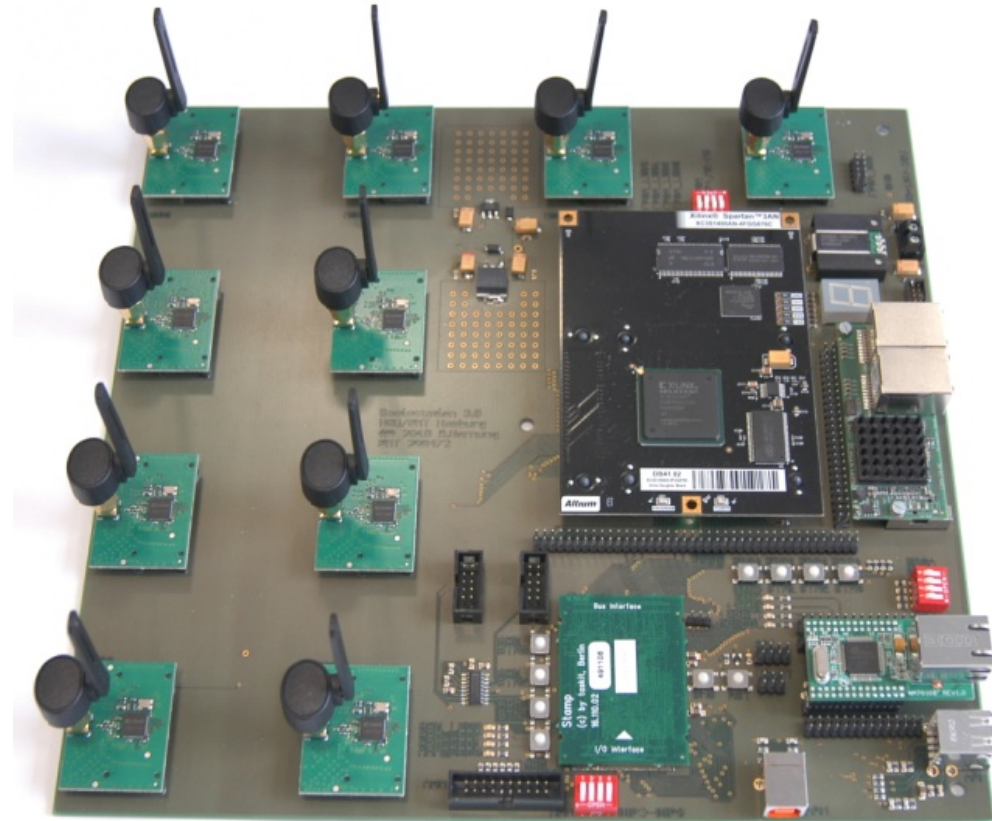
CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Frameaufbau

- Listen before talk (LBT)
- LBT-Schwelle = -65 dBm
- Zeitlicher Jitter nach dem Frequenzwechsel
- Nonpersistent CSMA
- LBT mit vielen Standard-Transceivern möglich



CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Realisierung Basisstation - Hardware

- FPGA & ARM9 basierte Plattform für standardisierte Funktransceiver (IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, ...)
- Bis zu 10 unabhängig konfigurierbare Transceiver
- 10/100 Mbit Ethernet
- Feldbus: Profinet RT, Profibus, EtherCat, ...
- Low-Cost-Komponenten
- Gleichzeitiger Betrieb von mehreren Frequenzbändern und Funkstandards



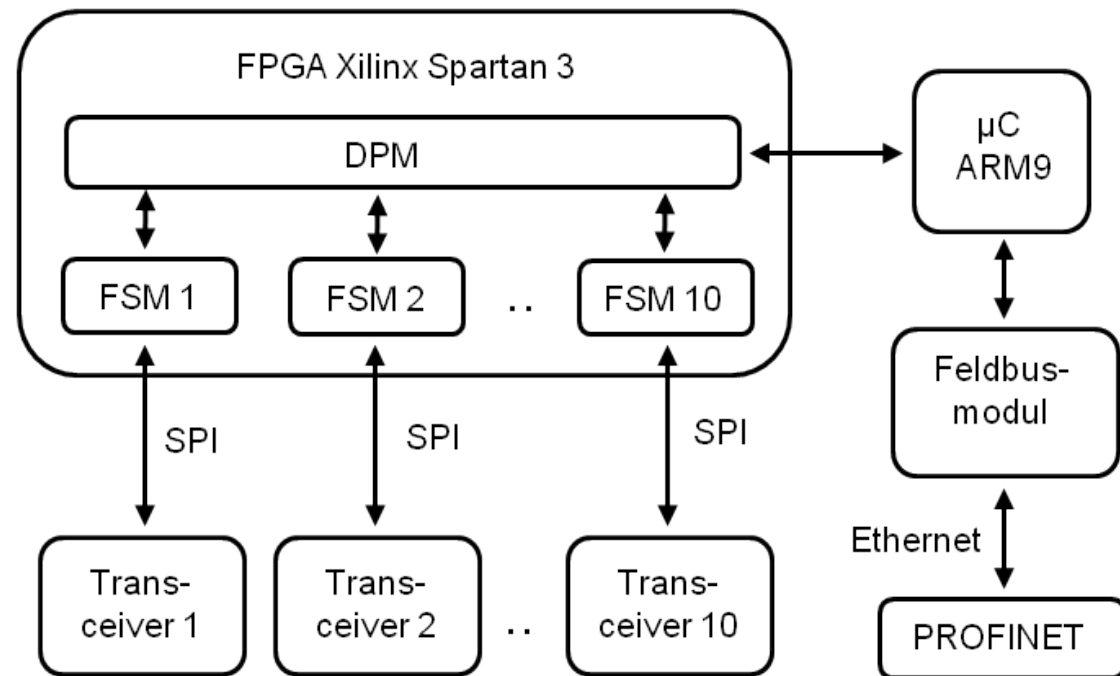
CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Realisierung Basisstation - Blockschaltbild

FPGA Xilinx Spartan 3:

- Physical Layer
- Parallele Datenverarbeitung
- Skalierbarkeit in der Anzahl der Transceiver

µC ARM9:

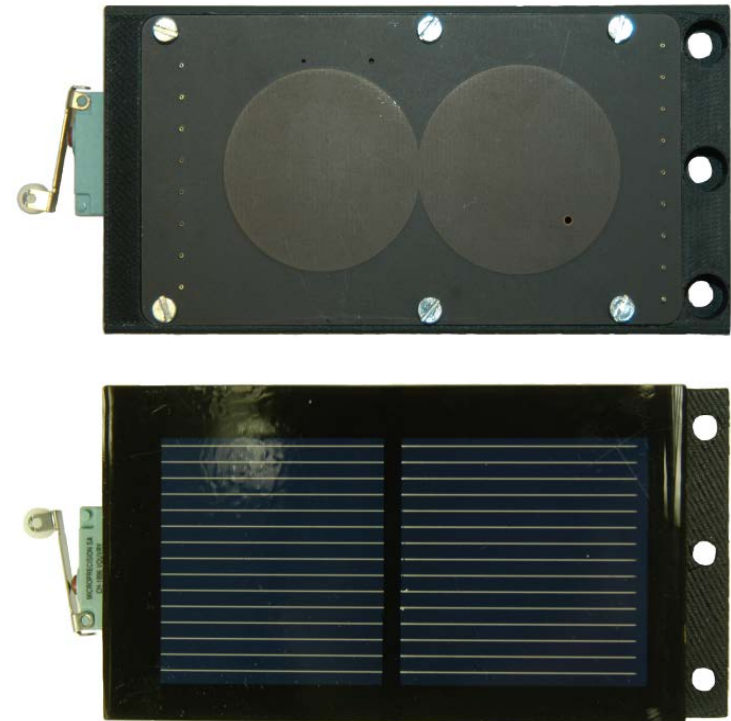
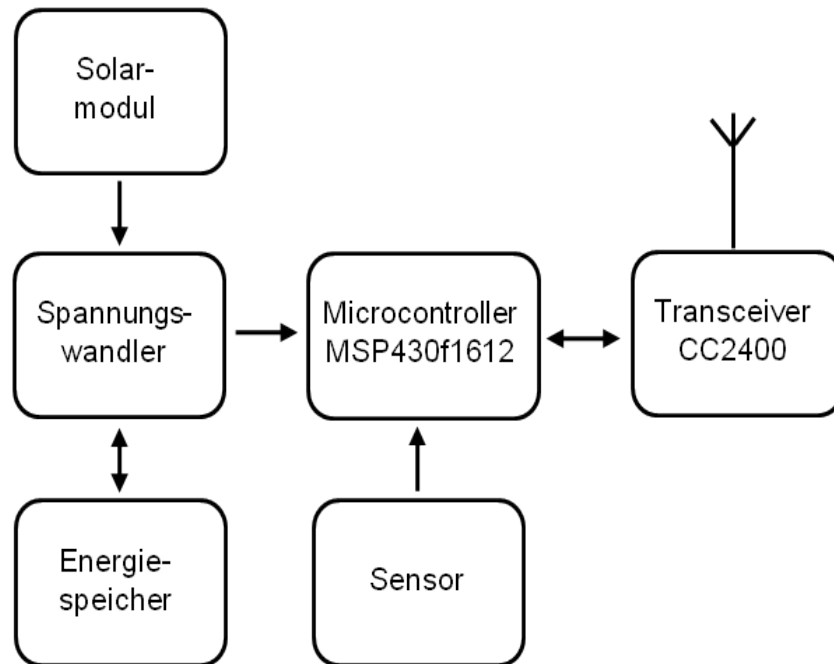
- Media Access Layer (MAC)
- Sequentielle Datenverarbeitung
- Kommunikation mit Feldbusmodul



CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Realisierung energieautarker Sensor

Implementierte Sensoren:

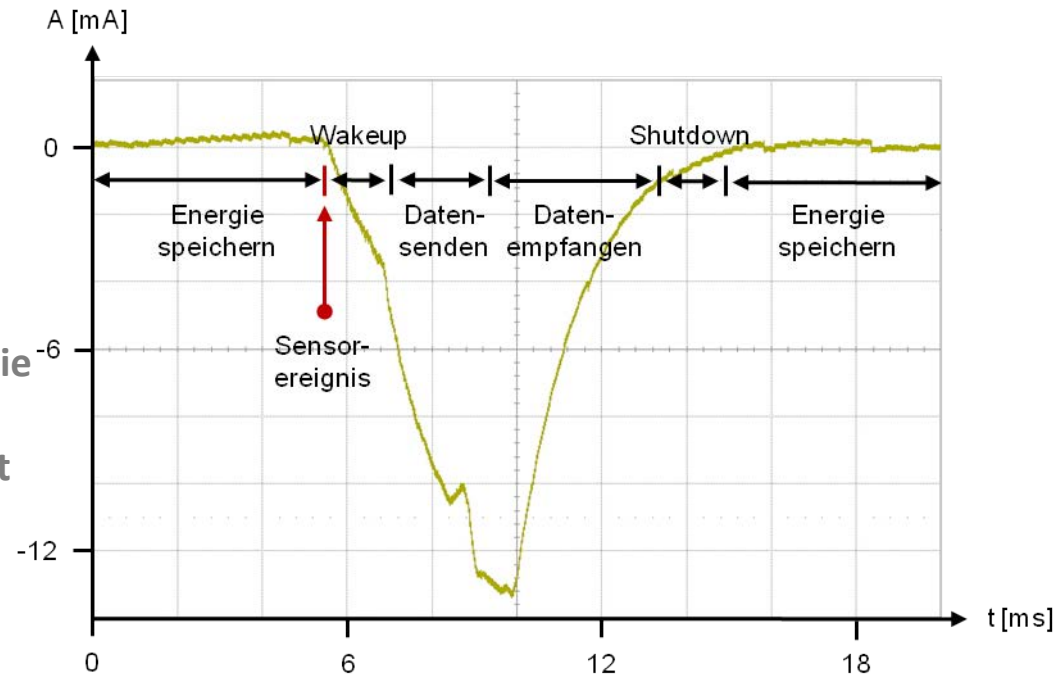
- Lageendschalter
- Resistive Druck- und Temperatursensoren



CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Realisierung energieautarker Sensor

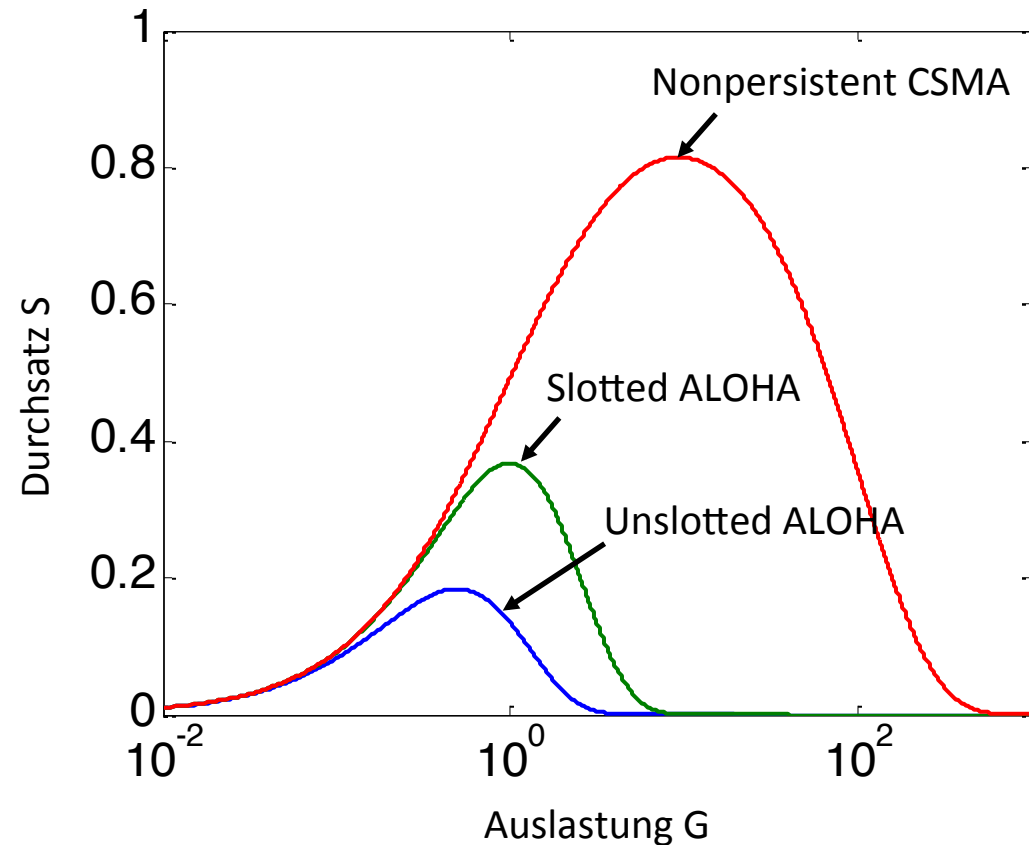
Eckdaten der Energieversorgung

- Standard Beleuchtungsstärke: $E = 500 \text{ lx}$
- Standard Low-Cost Solarzelle
- Energiespeicher:
Li-Ion-Akku, $U = 3,7 \text{ V}$, $Q = 100 \text{ mAh}$
- Bei 2 Sensorereignissen pro Sekunde ist die Energiebilanz positiv
- Bei 120 Sensorereignissen pro Sekunde ist der Akku nach 6h entladen



CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Maximal Auslastung des Systems

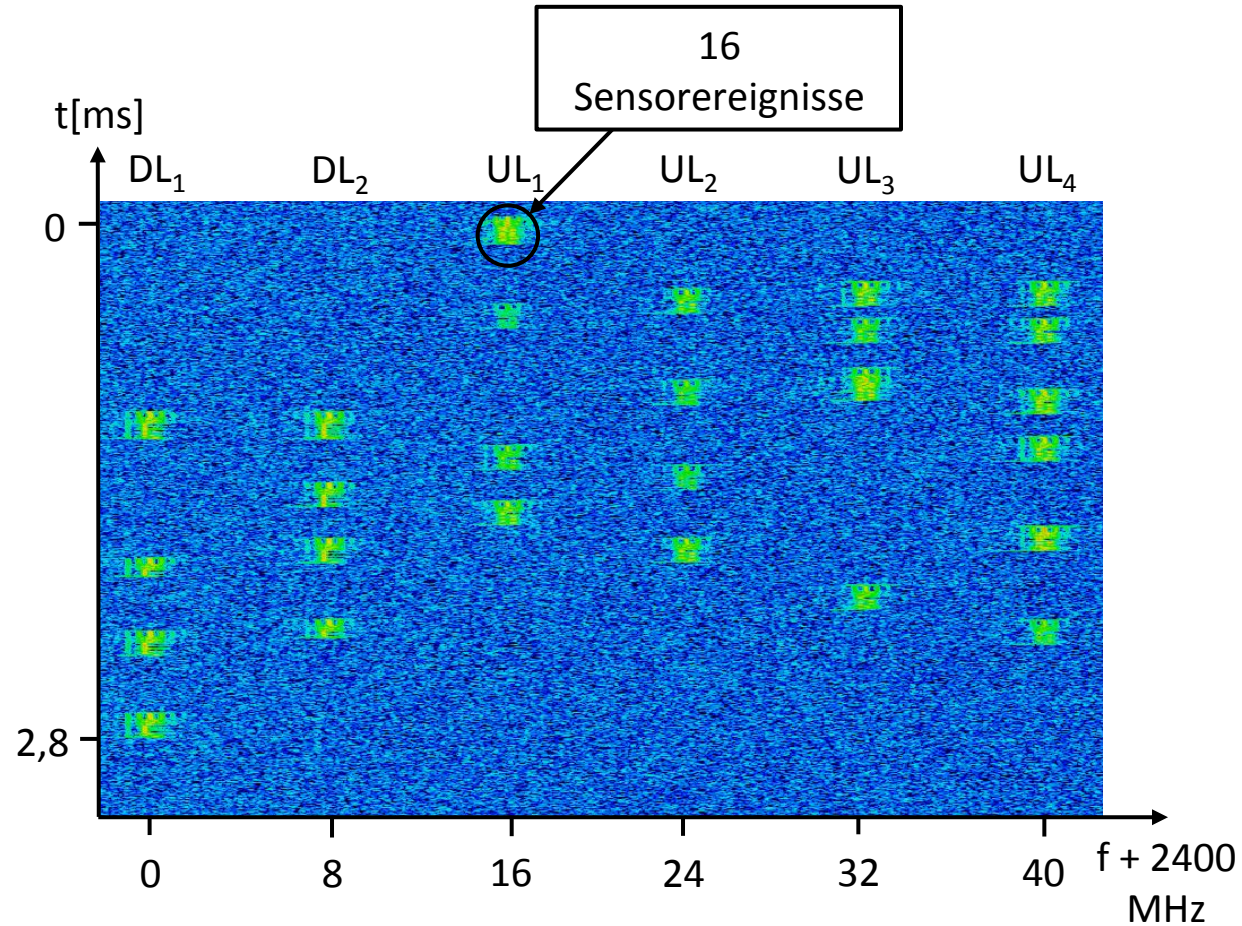
- **Unslotted ALOHA:**
 - $S_{\max} = 18,4\%$
 - Keine Synchronisation
- **Slotted ALOHA:**
 - $S_{\max} = 36,8\%$
 - Benötigt Synchronisation
- **Nonpersistent CSMA:**
 - $S_{\max} = 81,5\%$ (bei $\alpha = 0,01$)
 - Keine Synchronisation
 - Listen before talk



CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Maximal Auslastung des Systems

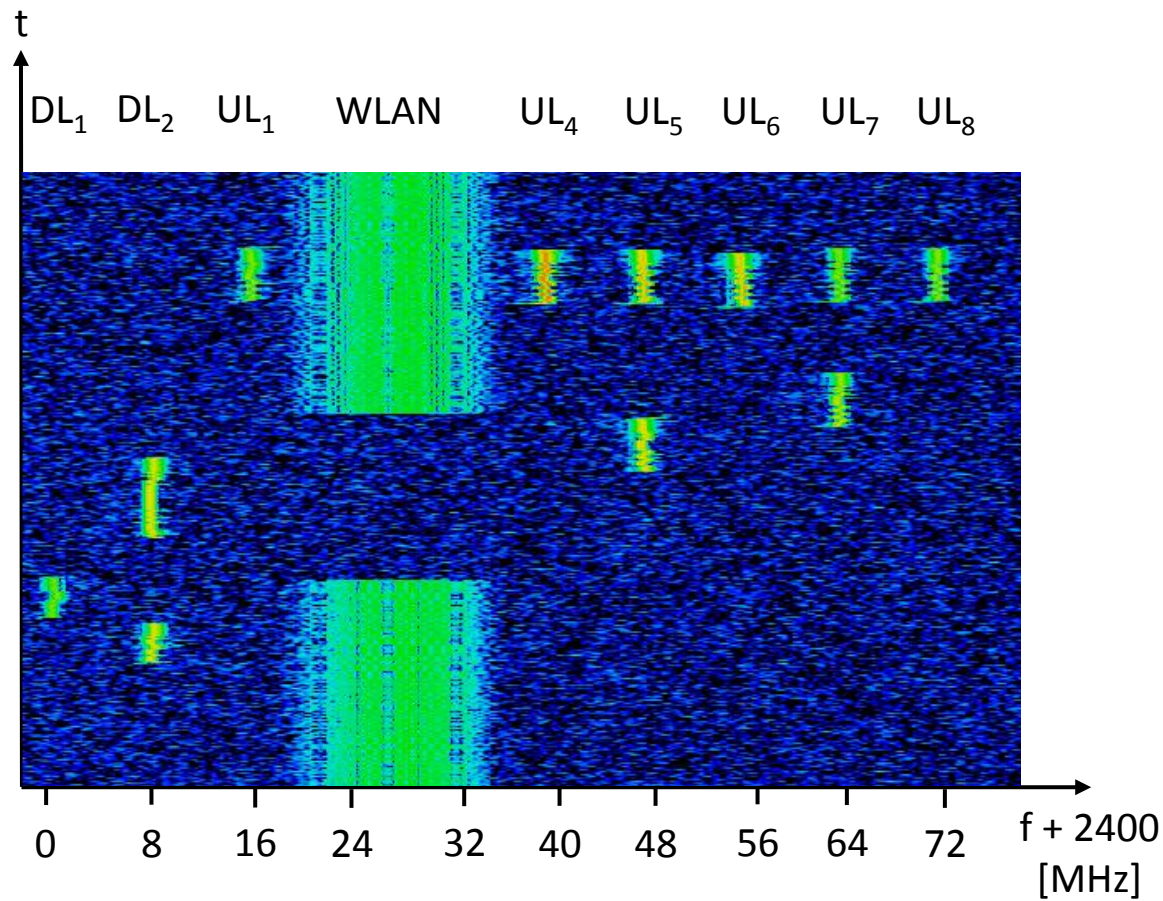
Spontane Ereignisse:

- Mit einer Wahrscheinlichkeit von $4 \cdot 10^{-26}$ treten 64 statistisch unabhängige Sensorereignisse zum gleichen Zeitpunkt auf acht Uplink-Spuren auf. Der Datenstau ist nach 11,2 ms behoben
- Mit einer Wahrscheinlichkeit von 10^{-55} treten 16 statistisch unabhängige Sensorereignisse zum gleichen Zeitpunkt auf einer Uplink-Spur auf. Bei vier Uplink-Spuren ist der Datenstau nach 2,8 ms behoben



CSMA-basiertes Funknetzwerk für Echtzeitanwendungen Koexistenz

- LBT, die Sensoren weichen dem Störer aus



Zusammenfassung:

- Aktuelle drahtlose Kommunikationssysteme haben erhöhten Duty cycle, erhöhten Energieverbrauch und keine aktive Koexistenz
- Realisiertes System hat einen geringen Duty cycle und einen geringen Energieverbrauch
- Mit zwei Ereignissen pro Sekunde ist die Energiebilanz des autarken Sensors positiv
- Listen before talk ermöglicht aktive Koexistenz
- Bei vier Uplink-Spuren ist ein Datenstau von 16 Sensorereignisse nach 2,8 ms behoben



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**

Fragen?