# Vermaschte, drahtlose Sensornetzwerke für Grossanlagen

Dominic Ast (asdo@zhaw.ch)
Mirco Gysin (gysn@zhaw.ch)
Institute of Embedded Systems
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

# Inhalt



- Einführung
- Technische Grundlagen
- GSensNet
- Zusammenfassung

Zurich University
of Applied Sciences

School of Engineering

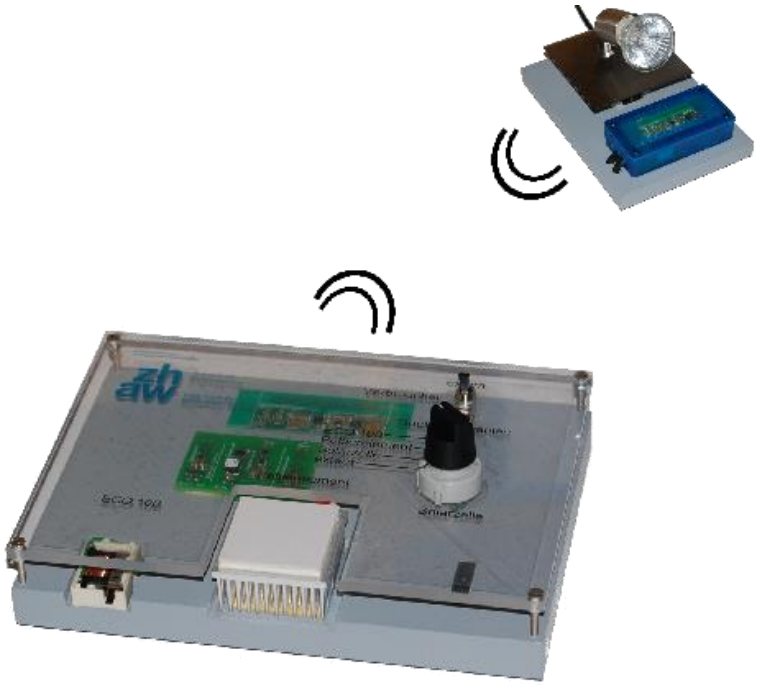
InES Institute of Embedded Systems

**www.ines.zhaw.ch**

# Einführung
# Wireless System Group

School of Engineering

InES Institute of Embedded Systems

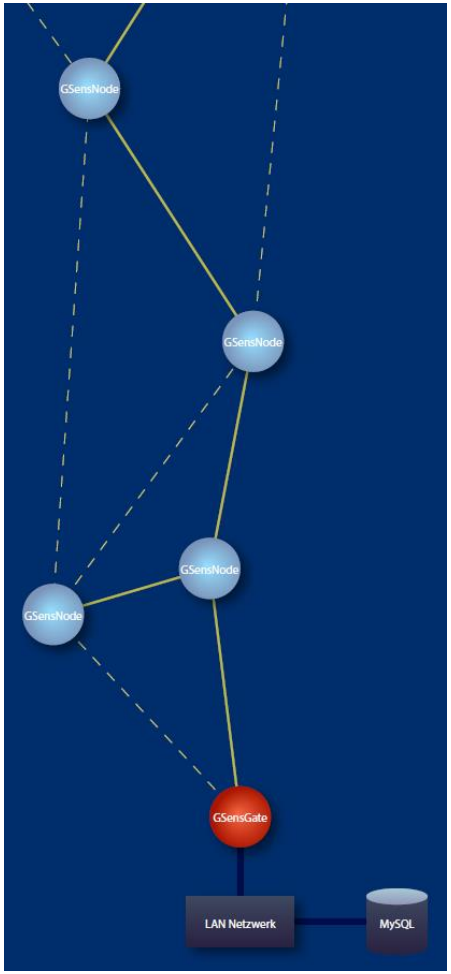


# Einführung
# Projekt



GLOOR sensors

- Drahtlose Vernetzung von handelsüblichen Sensoren
- Druck, Temperatur, Pegelstand, usw.
- Langzeitmessungen im Abstand von einigen Minuten
- Messwerte durch zentralen Gateway erfasst



# Einführung
# Umgebung

School of Engineering

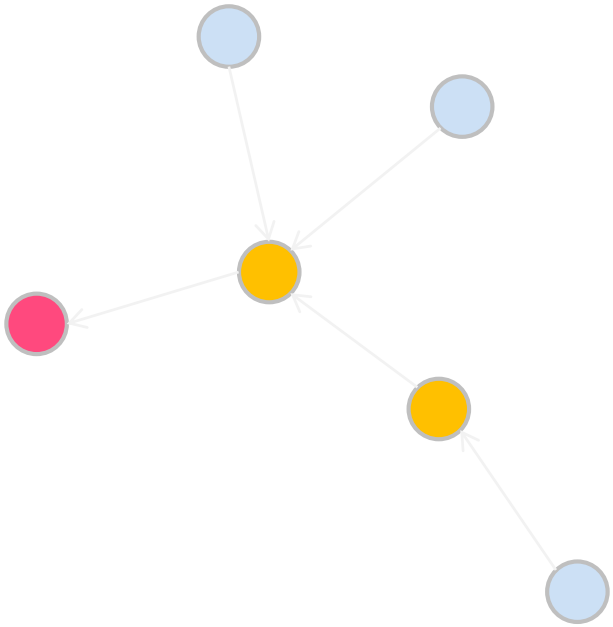
InES Institute of Embedded Systems

# Technische Grundlagen
# Mesh Architekturen

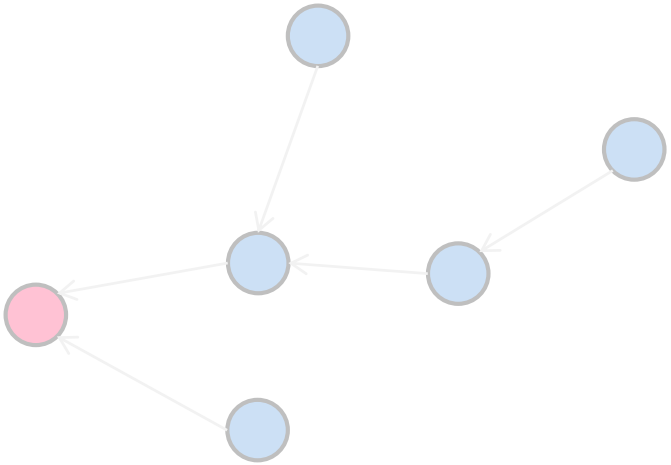
School of Engineering

InES Institute of Embedded Systems

## Always-on Router Netzwerk



## Sleeping Router Netzwerk



# Technische Grundlagen
# Übersicht: DigiMesh

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

- DigiMesh XBee Module:
  - Sleeping Router Netzwerk
  - basierend auf IEEE 802.15.4
  - Proprietäres Routing Protokoll

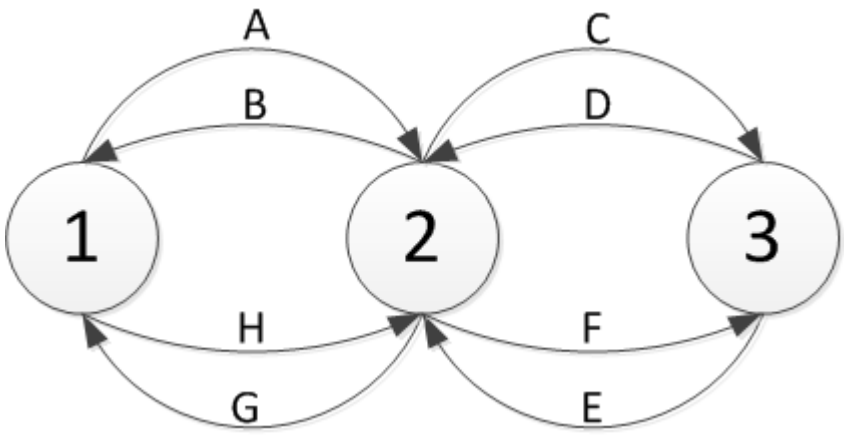
# Technische Grundlagen
# Übersicht: XBee

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

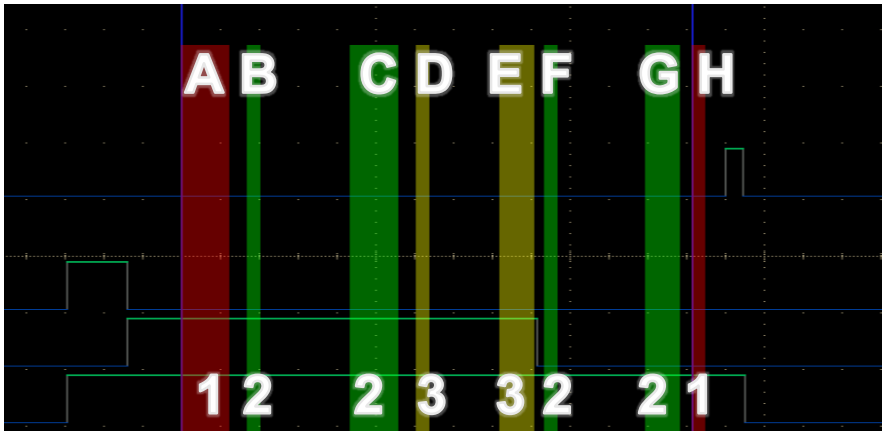
| | XBee | XBee-PRO International | XBee-PRO |
|---|---|---|---|
| Reichweite innen | 30 m | 60 m | 90 m |
| Reichweite aussen | 90 m | 750 m | 1.6 km |
| Sendestärke | 1 mW (0 dBm) | 10 mW (10 dBm) | 63 mW (18 dBm) |
| RF Datenrate | 250 kbps | 250 kbps | 250 kbps |
| Empfindlichkeit | -92 dBm | -100 dBm | -100 dBm |
| Strom Senden (3.3 V) | 45 mA | 150 mA<br>180 mA (RPSMA) | 250 mA<br>340 mA (RPSMA) |
| Strom Idle/Empfangen (3.3 V) | 50 mA | 55 mA | 55 mA |
| Strom Schlafen (pin) | < 10 uA | < 10 uA | < 10 uA |
| Strom Schlafen (cyclic) | < 50 uA | < 50 uA | < 50 uA |

# Technische Grundlagen
# DigiMesh Unicast

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

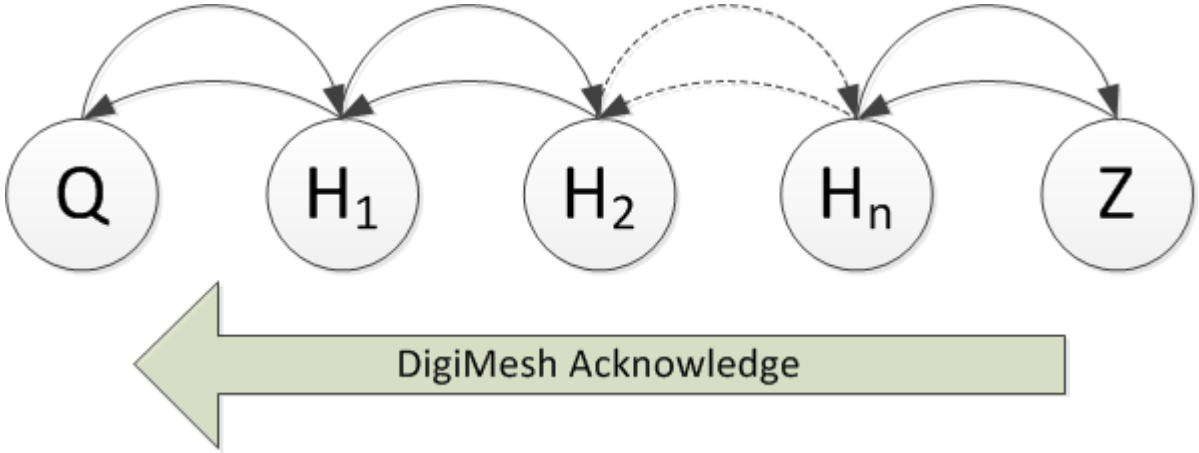



| | Payload | RSSI (dBm) | LQI | FCS |
|---|---|---|---|---|
| A | 02 17 7F FF 00 13 A2 00 40 56 48 C9 00 13 A2 00 40 70 03 E0 2A 01 A0 FF 00 84 6A 00 00 13 A2 00 40 70 03 E0 00 13 A2 00 40 70 E6 55 13 00 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 | -74 | 64 | OK |
| B | 03 17 00 13 A2 00 40 70 03 E0 | -38 | 208 | OK |
| C | 02 43 7F FF 00 13 A2 00 40 70 E6 55 00 13 A2 00 40 56 48 C9 2A 01 A0 FF 00 84 6A 00 00 13 A2 00 40 70 03 E0 00 13 A2 00 40 70 E6 55 13 00 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 | -37 | 212 | OK |
| D | 03 43 00 13 A2 00 40 56 48 C9 | -87 | 12 | OK |
| E | 02 B8 7F FF 00 13 A2 00 40 56 48 C9 00 13 A2 00 40 70 E6 55 14 01 A5 FF 10 80 6A 00 00 13 A2 00 40 70 E6 55 00 13 A2 00 40 70 03 E0 | -86 | 16 | ERR |
| F | 03 B8 00 13 A2 00 40 70 E6 55 | -37 | 212 | OK |
| G | 02 44 7F FF 00 13 A2 00 40 70 03 E0 00 13 A2 00 40 56 48 C9 14 01 A0 FF 10 80 6A 00 00 13 A2 00 40 70 E6 55 00 13 A2 00 40 70 03 E0 | -38 | 208 | OK |
| H | 03 44 00 13 A2 00 40 56 48 C9 | -74 | 64 | OK |



# Technische Grundlagen
# DigiMesh Unicast

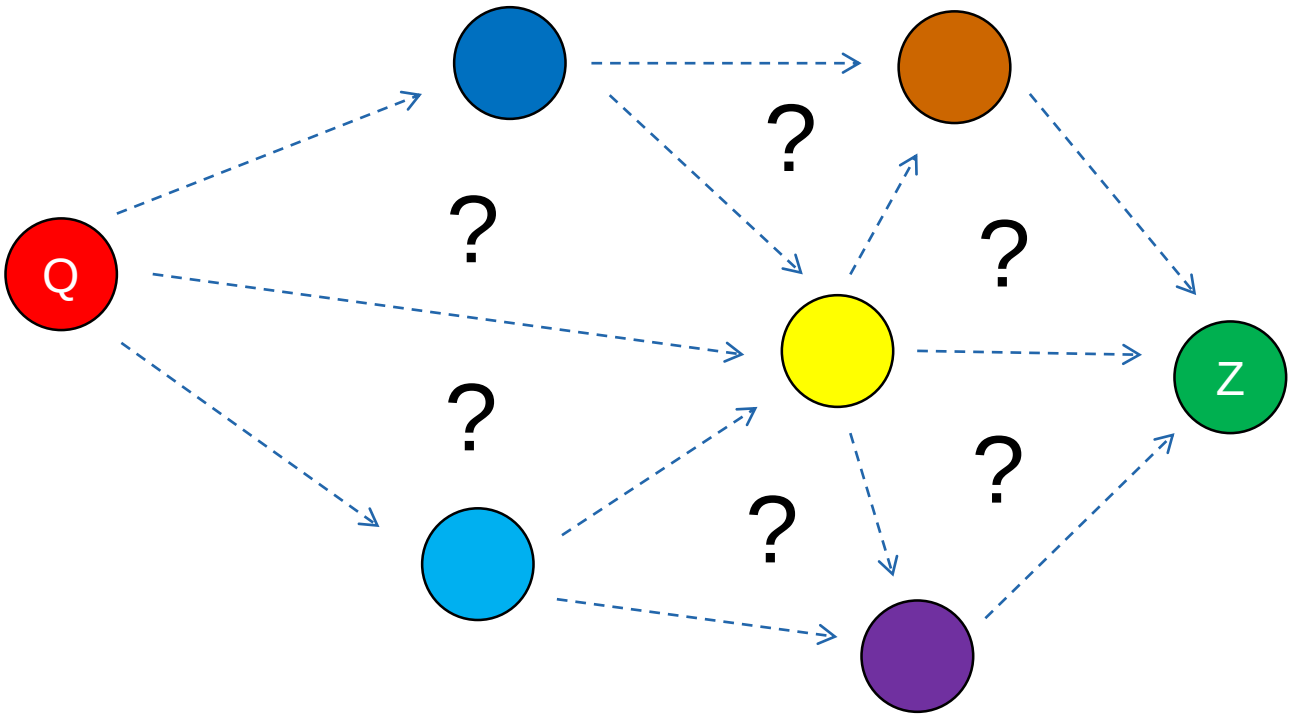
School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems




| Hops (n) | Berechnung mit DigiMesh Ackn. | Berechnung ohne DigiMesh Ackn. | Angaben von Digi |
|---|---|---|---|
| 0 | 10.45 ms | 3.92 ms | 10 ms |
| 1 | 23.50 ms | 10.87 ms | 20 ms |
| 2 | 36.56 ms | 17.82 ms | 30 ms |
| 3 | 49.61 ms | 24.77 ms | 40 ms |
| 4 | 62.67 ms | 31.72 ms | 50 ms |
| 5 | 75.73 ms | 38.67 ms | 60 ms |
| 6 | 88.78 ms | 46.62 ms | 70 ms |
| 7 | 101.84 ms | 52.57 ms | 80 ms |

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

Roter Knoten möchte dem Grünen Knoten etwas schicken



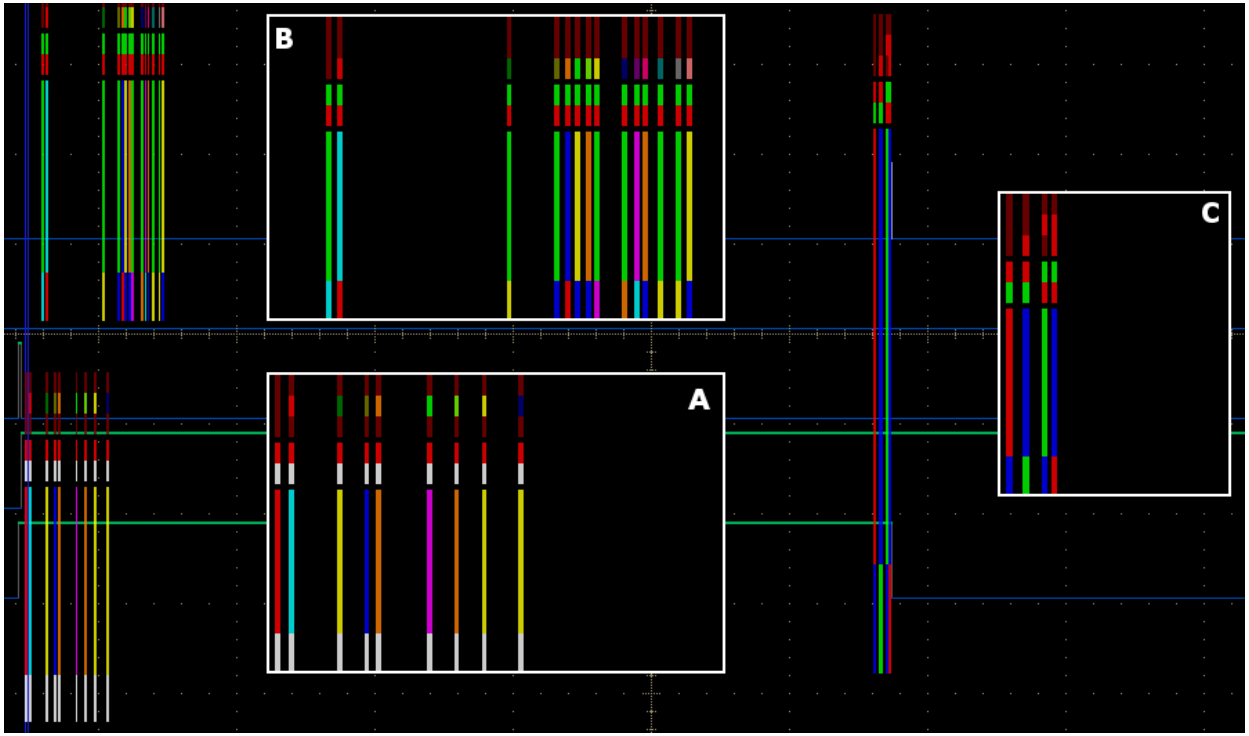

Welches ist die beste Route? → Discovery auslösen

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

- Discovery Phasen:
  - A Discovery Broadcasts
    - Liste möglicher Routen bei Zielknoten erstellen
    - Routen vorfiltern
  - B Discovery Unicasts
    - Liste möglicher Routen an Quellknoten übertragen
    - Routen vorfiltern
  - C Route Auswahl
    - Quellknoten «wählt» effektive Route

# Technische Grundlagen
# DigiMesh Route Discovery

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

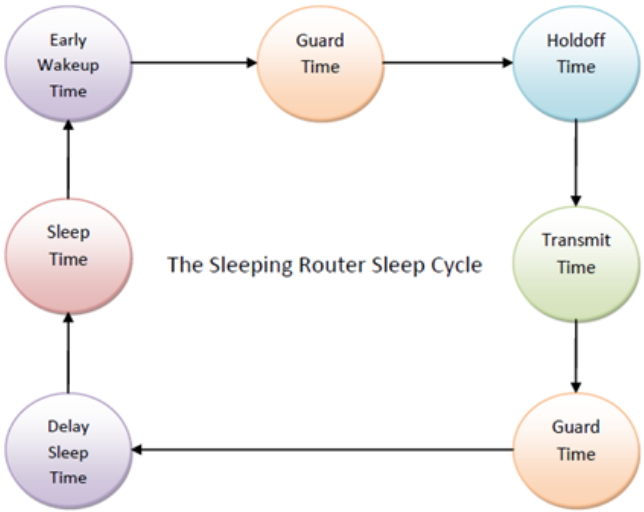



A: Discovery Broadcasts
B: Discovery Unicasts
C: Auswahl der Route

- Zeit abhängig von verschiedenen Faktoren
  - Anzahl Hop's im Netzwerk
  - Dichte der Broadcasts
- Prozess kann bei 7 Hop's bis zu 1.6 Sekunden dauern
- 2 – 3 Discoveries sind parallel möglich

# Technische Grundlagen
# DigiMesh Sleep

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems



Koordinator sendet Sync-Broadcast nach Aufwachen

- **Sleep Time** — Schlafzustand, kleiner Stromverbrauch
- **Early Wakeup Time** — Drift ausgleichen, Reduktion der Schlafzeit (Abhängig von Sync)
- **Delay Sleep Time** — "
- **Guard Time** — Drift ausgleichen, Reduktion der Sendezeit (Abhängig von Sync)
- **Holdoff Time** — Vermindert Kollisionen nach Aufwachen (Zufällig)
- **Transmit Time** — Sendezeit

# GSensNet
# Architekturentscheide



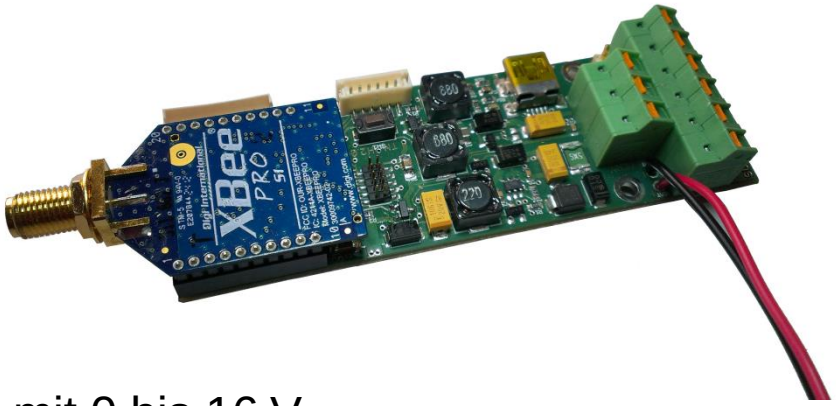
- Konfiguration auf Sensor-Modul speichern
- Verzichten auf end-to-end Empfangsbestätigung von Gateway
- Limitierte Anzahl Route-Discovery pro Wachzeit
- Messwerte auf Sensor-Modul speichern
- Verwenden von Time-Slots

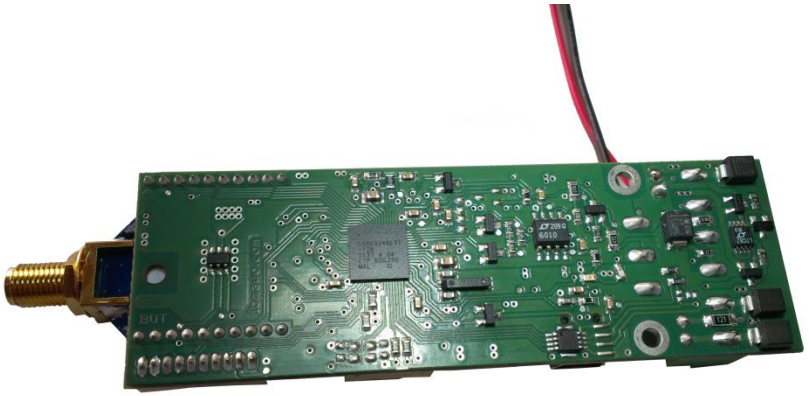
- → Mikrocontroller auf Sensor-Modul

# GSensNet
# Sensor Modul

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

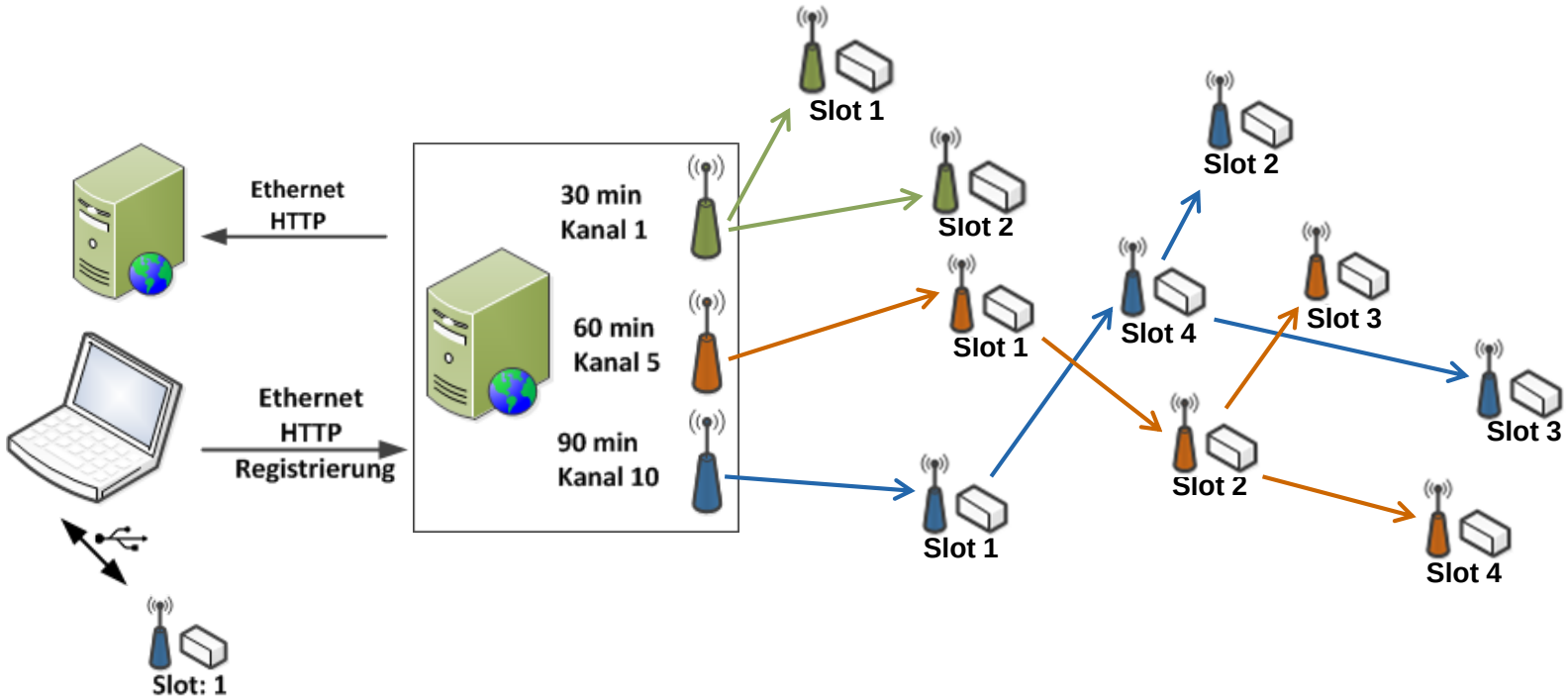
- Digitale RS-485 Sensoren mit Modbus Kommandos
- Analoge Spannungs Sensoren
  - 0 bis 2 V, 0 bis 5 V, 0 bis 10 V
- Analoge Strom Sensoren
  - 0 bis 20 mA, 4 bis 20 mA
- Ratiometrische Sensoren
- Anschlüsse für $I^2C$ und SPI
- Spannungsversorgung der Sensoren mit 0 bis 16 V
- Cypress PSoC 3 Microcontroller
- Micro-SD Karte
- Speisung
  - Batterie ( 6V )
  - USB
  - Externe Speisung

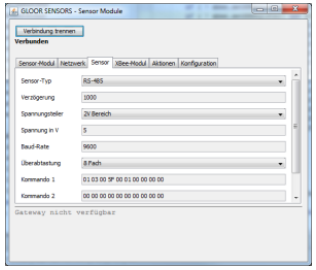


# GSensNet
# Gesamtsystem

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems



# GSensNet
# Datenübertragung



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gateway-Slot | GB | SS1 | SS2 | SS3 | ... | SSn | SB |

- Gateway-Slot
  - Route-Discovery
  - Verpasste Messwerte individuell anfordern
  - Anpassen von Slot-Zeiten und Netzwerk-Eigenschaften
- Sensor-Slot
  - Diagnose Informationen von Sensor-Module
  - Messwerte mit Zeitstempel
  - Batterie Status

# GSensNet
# Durchsatz



- Der mögliche Durchsatz ist stark abhängig von den äusseren Umständen und daher ist die folgende Rechnung als Grössenordnung anzusehen.
- Konfiguration:
  - Wachzeit = 10 s
    - Akzeptabler Stromverbrauch gemäss folgender Folie
  - Gateway-Slot = 3 s
    - Erlaubt 3 bis 4 Route-Discoveries
  - Buffer = 1 s
    - Zeitpuffer für Retransmissions
  - Sensor-Slot = 40 ms
    - 40 Byte Nutzdaten pro Sensor
    - Durchschnittlich 5 Hop's
- Ca. **150 Datenpakete** in 6 Sekunden

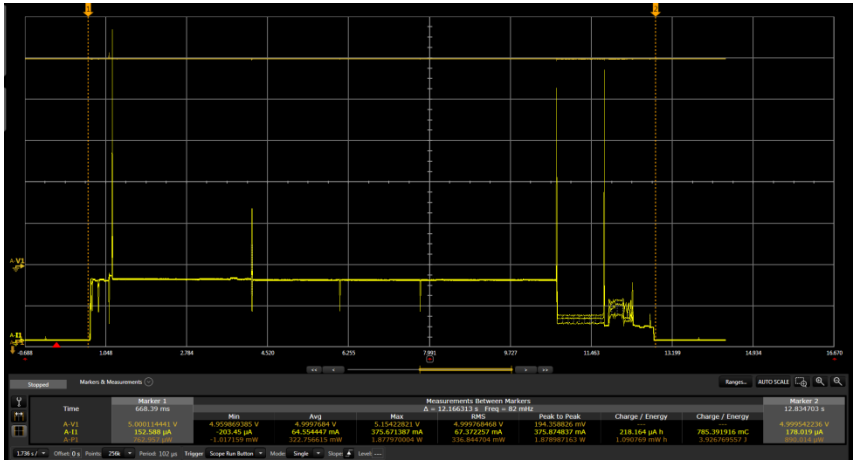
# GSensNet
# Stromverbrauch

School of Engineering

InES Institute of Embedded Systems

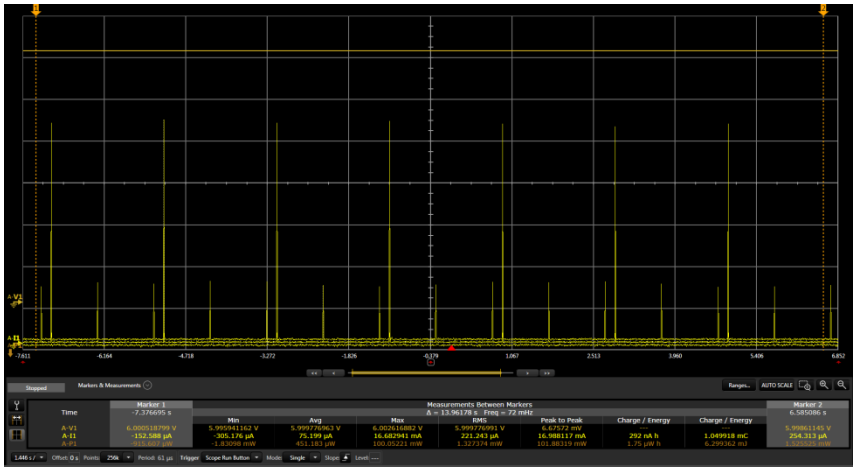
**Wachzeit**

- Netzwerk ON für 10 s
- Daten schicken
- 1 s Verzögerung für Sensor (100 Ω, 5V)
- Messung erheben mit ADC
- Messung auf SD-Karte speichern
- **62 mA** während 12 s



**Schlafzeit**

- XBee Modul in Cyclic-Sleep Modus
- PSoC 3 in Sleep Modus + RTC
- **60 uA**



# GSensNet
# Batterie Lebensdauer

School of Engineering
InES Institute of Embedded Systems

- 2 Messungen + Datenübertragung pro Stunde
- 4 x Typ C Batterie

→ Batterie Lebensdauer ca. 700 Tage (1.9 Jahre)

| | 1'000 mAh | 2'000 mAh | 5'000 mAh | 8'000 mAh | 10'000 mAh |
|---|---|---|---|---|---|
| **1 / Tag** | 571 | 1'142 | 2'855 | 4'569 | 5'711 |
| **2 / Tag** | 510 | 1'021 | 2'554 | 4'086 | 5'108 |
| **4 / Tag** | 421 | 843 | 2'109 | 3'374 | 4'218 |
| **1 / Stunde** | 153 | 307 | 768 | 1'230 | 1'537 |
| **2 / Stunde** | 87 | 174 | 436 | **697** | 872 |
| **4 / Stunde** | 46 | 93 | 233 | 374 | 467 |
| **1 / Minute** | 3 | 6 | 16 | 26 | 33 |

# Zusammenfassung
# Was wir getan haben



- Analyse der XBee-Module und DigiMesh
  - Funktionsweise erfassen
  - Mit Anforderungsprofil abgleichen
- Übertragungskonzept erstellen
  - Skalierbar auf grosse Anzahl Module
  - Messwerte verlässlich aber nicht zeitkritisch
  - Diagnose des Netzwerks und Adaption an Umgebung
- Implementation von Software für Gateway, Sensor-Module und Ökosystem

# Fragen

# Merci

School of Engineering

InES Institute of Embedded Systems

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**