

# **Positionsbestimmung drahtloser mobiler eingebetteter Systeme mittels Time Difference of Arrival**

präsentiert von

Oliver Koepp

Zur Erlangung des akademisches Grades

**Bachelor of Engineering**

24.01.2020

# Gliederung

- Einleitung
- Grundlagen
- Implementierung
  - Software
  - Modultest
- Auswertung
- Praktische Durchführung

# Einleitung

Problem:

„Eine Positionsbestimmung im Zentimeterbereich durchzuführen“

Lösung:

- Kommunikation zwischen Master und Slave
  - 2,4GHz Funk
  - Hörbaren Schall
- Zeitsynchronisation
  - Precision Time Protocol (PTP)
- Positionsbestimmung
  - Time Difference of Arrival

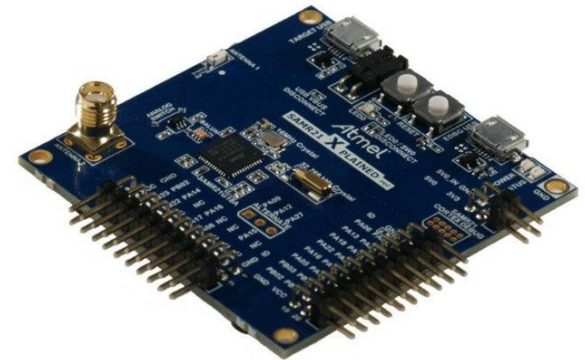
# Grundlagen – Master /Slave

## Software:

- RIOT – The friendly Operating System for the Internet of Things
  - Echtzeitfähig
  - Fokus – Drahtlose Sensornetzwerke
  - Ist mit SAMR21 kompatibel

## Hardware:

- Atmel SAM R21 Xplained Pro Board
  - RIOT OS
  - Integriertes 2,4GHz Funkmodul
  - Integrierbarkeit in vorhandene Systeme



# Grundlagen – Master / Slave

Master:

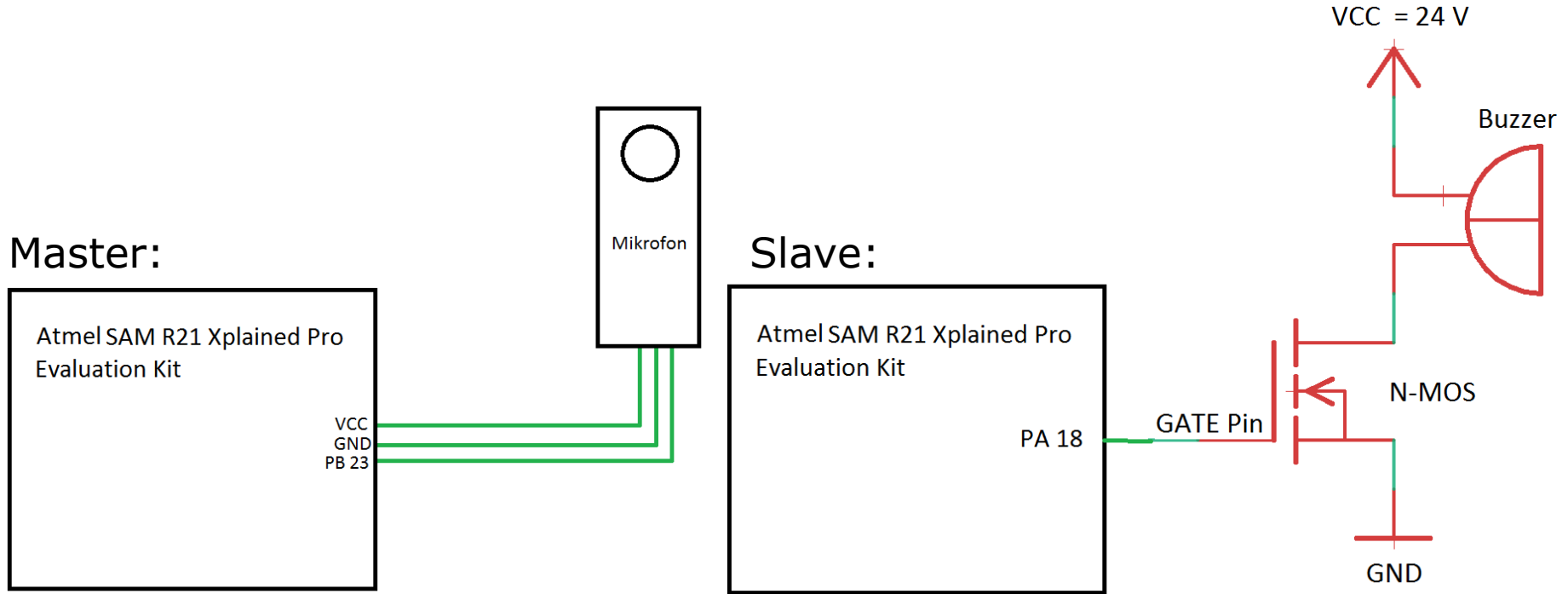
- Koordinaten unbekannt
- Mikrofon
- TTL – Ausgang

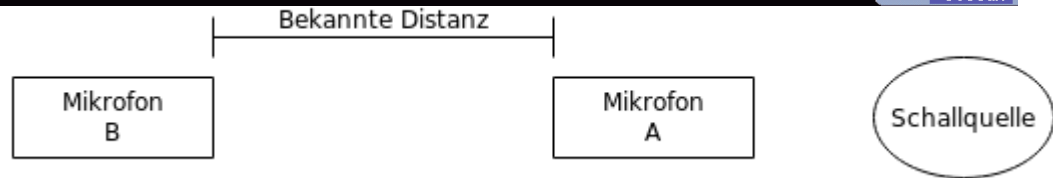
Slave:

- Koordinaten bekannt
- Lautsprecher
  - PIEP-Ton → Überlagerung von Signalen



# Grundlagen – Master / Slave





# Grundlagen – Zeitsynchronisation

Problem:

„Keine gemeinsame Zeitbasis vorhanden“

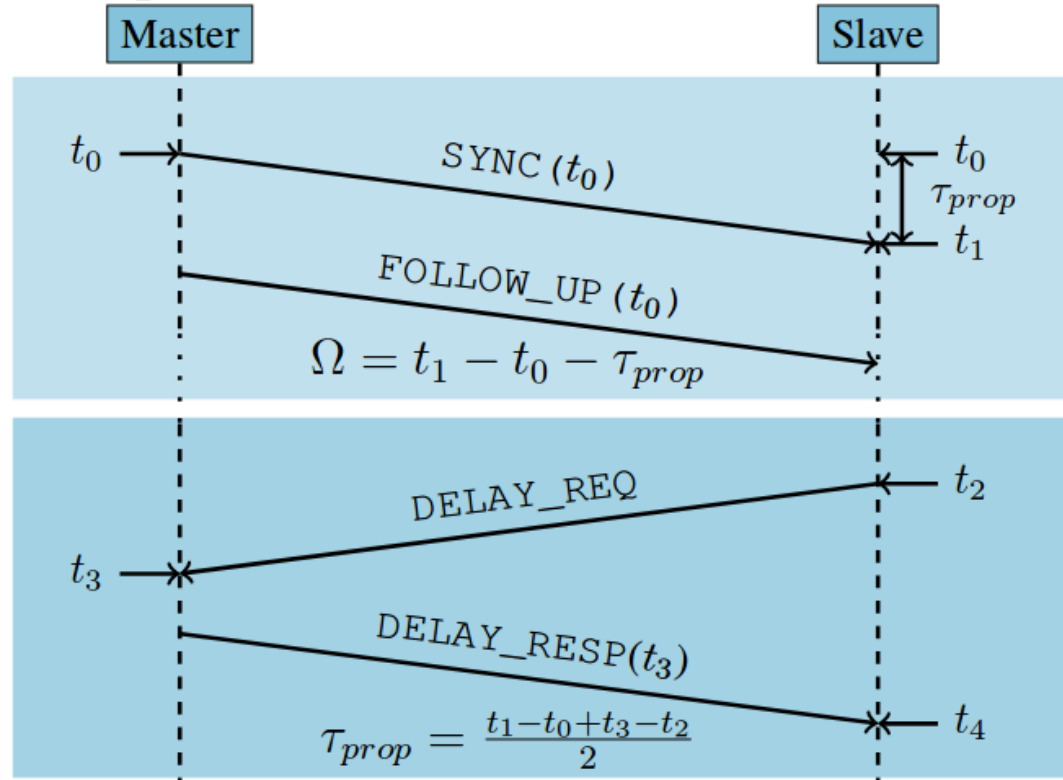
Lösung:

- Precision Time Protocol (PTP)
- Hierarchielos
- Sensornetzwerke spezialisiert
- Hohe Genauigkeit
- Genauigkeit bis  $5ms$  ohne Hardwareunterstützung



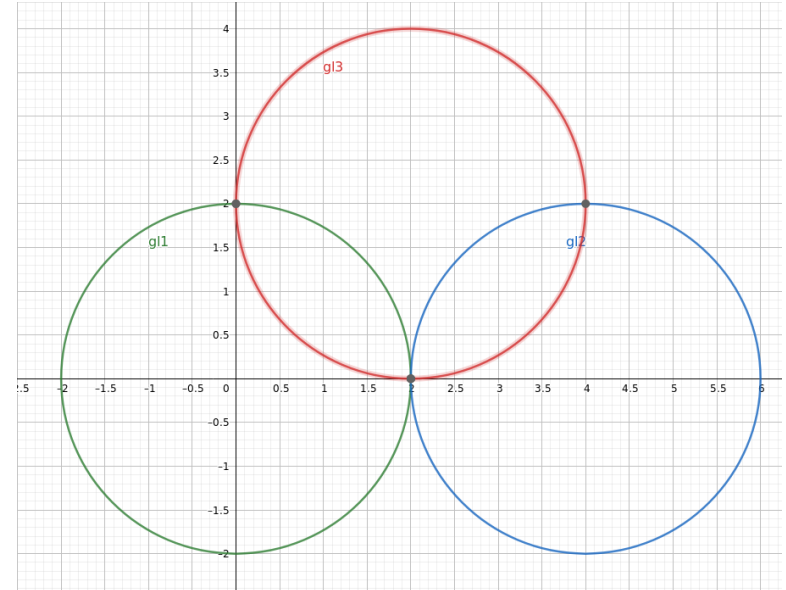
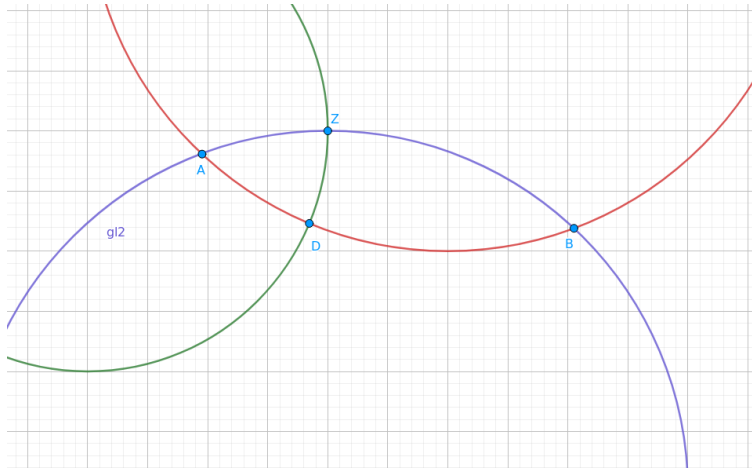
# Grundlagen – Zeitsynchronisation

- Laufzeitverzögerung
- Bestimmung des PINGs
- Synchronisation der Zeit
- Request / Response – Nachrichtenaustausch

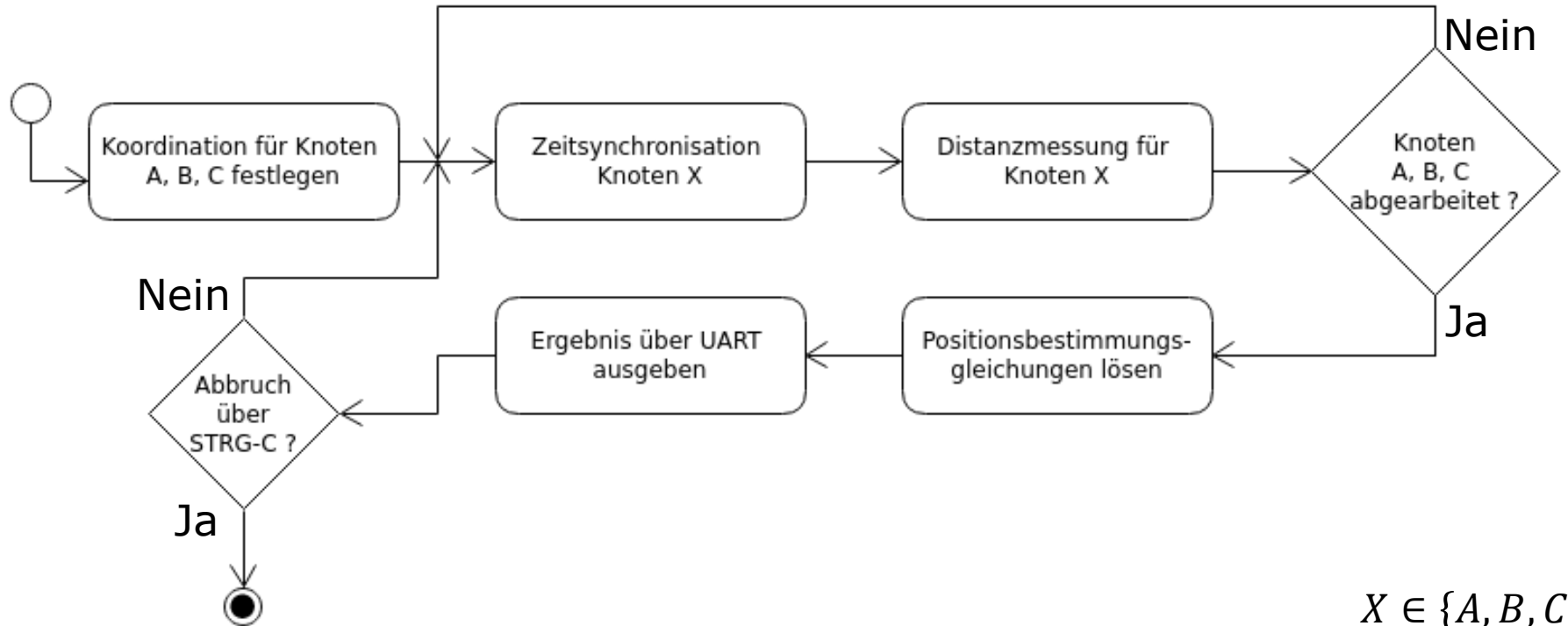


# Grundlagen – Mathematik

- Schall breitet sich kreisförmig in 2D aus
- Schnittpunkt von drei Kreisen → eindeutige Punktidentifizierung



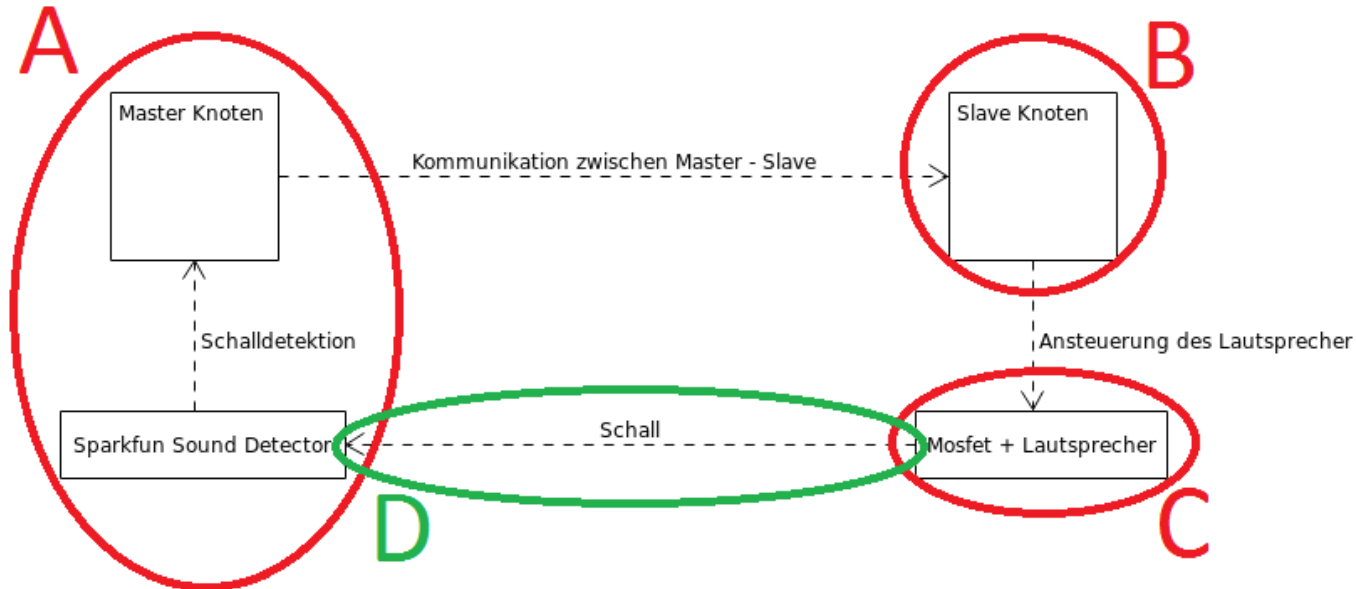
# Implementierung – Software – Master



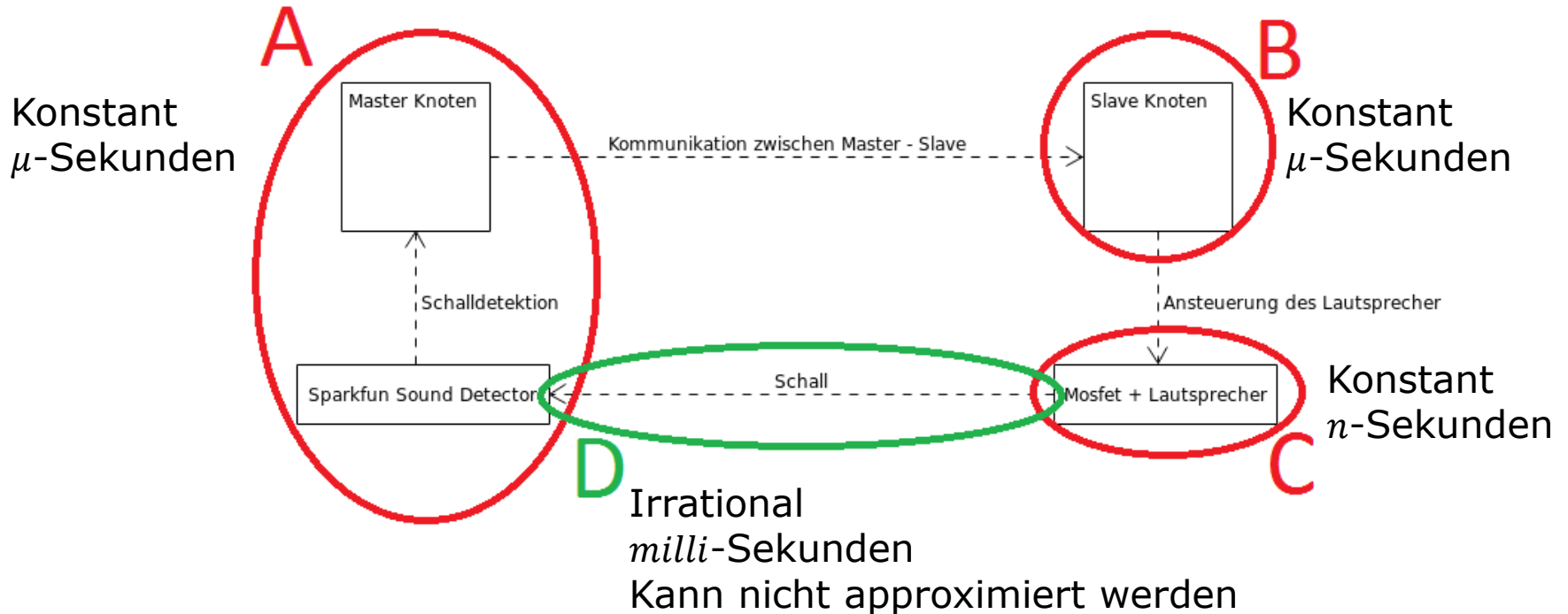
$X \in \{A, B, C\}$

# Implementierung – Modultest

- Fehlereingrenzung durch unabhängige Module
- Abweichungen besser zu erkennen



# Implementierung – Modultest



# Vermutung – Modul D

- Keine Impulsabgabe des Tons
- Plausibilitätscheck war erfolgreich (Klatschen)
- Verzögerungen min.  $5\text{ ms}$  durch Zeitsynchronisation
  - $343,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 5\text{ ms} = 1,716\text{ m}$  Genauigkeit

# Auswertung

- Positionsbestimmung → Technisch realisierbar
- Zentimetergenauigkeit nicht erfüllt
  - Einschränkungen bei der Hardware
- Irrationale Schwankungen
- Hardware nicht optimal ausgesucht

## Unit Test

- Gleichungen für die Positionsbestimmung
- Abstand zweier Punkte
- Quadratische Gleichung

# Praktische Durchführung

- Zeitsynchronisation
  - Precision Time Protocol
- Theoretische Positionsbestimmung
  - Schnittpunkt ohne Schwankung
  - Schnittpunkt mit Schwankung
- Praktische Positionsbestimmung
  - Zeitsynchronisation
  - Messung





**Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin**

University of Applied Sciences

[www.htw-berlin.de](http://www.htw-berlin.de)