

Ressourcenbewusste Lokalisierung in großen Geosensornetzwerken

Dr.-Ing. Frank Reichenbach



Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik (IMD)

Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG)

Universität Rostock



Vortragsreihe *GeoMV* - 3. April 2008

- Werdegang:
 - Bis 2004: Studium der Informationstechnik
 - Seit 2004: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik
 - Seit 2005: DFG Projekt GeoSens (IMD+GG)
 - Ende 2007: Promotion auf dem Gebiet Rechnernetze

- Forschungsbereich:
 - Drahtlose Geosensornetzwerke
 - Exakte und ressourcensparende Lokalisierungsalgorithmen
 - Hinderniserkennung
 - Eingebettete Systeme
 - Paketsimulatoren
 - Übertragungstechnologien und -standards



project
GeoSens

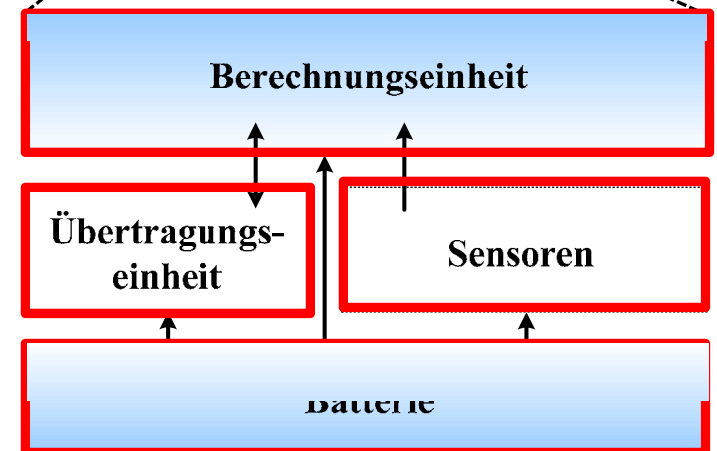
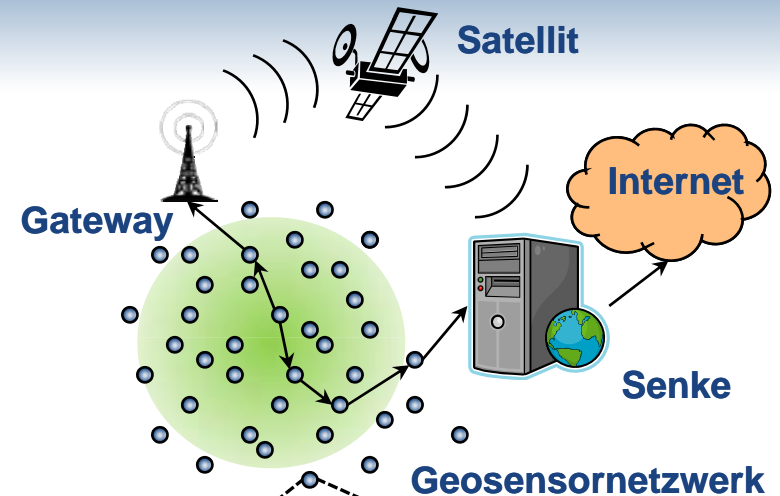


Agenda

- Einführung in Geosensornetzwerke
- Herausforderungen bei der Entwicklung von GSNs
- Anwendungen für GSNs
- Lokalisierungsansätze und Techniken zur Distanzbestimmung
- Spezielle Lokalisierungsalgorithmen für GSNs
- Zusammenfassung und Ausblick

Einführung

- Grundidee:
 - Zufällige Verteilung tausender Sensorknoten über einem Phänomen
 - Spontane Vernetzung der Knoten
 - Aufnahme physikalischer Parameter
 - Weiterleitung zur Datensenke
- Aufgaben eines Sensorknotens:
 - Messwerte ermitteln
 - Einfache Datenverarbeitung
 - Datenaustausch mit Nachbarknoten
 - Optimale Energieausnutzung
- Eigenschaften eines Geosensornetzwerkes:
 - Selbstkonfiguration
 - Hohe Knotenmenge
 - Übermäßiger Verkehr zur Senke



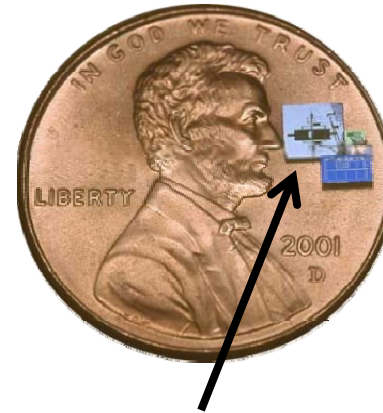


Agenda

- Einführung Geosensornetzwerke
- Herausforderungen bei der Entwicklung von GSNs
- Anwendungen für GSNs
- Lokalisierungsansätze und Techniken zur Distanzbestimmung
- Spezielle Lokalisierungsalgorithmen für GSNs
- Zusammenfassung und Ausblick

Herausforderungen

- Langfristige Zielsetzung:
 - Miniaturisierte Knoten (<math>< \text{mm}^3</math>)
 - Kostengünstige Knoten (<math>< 1\text{€}</math>)
 - Maximale Laufzeit der Knoten (>Jahre)
- Ressourcenproblem:
 - Stark limitierter Energievorrat
 - Leistungsschwache Recheneinheit
 - Geringe Speicherkapazität
- Aber, komplexe Prozesse ausführen:
 - Daten(de)kompression
 - Datenaggregation
 - Ver(ent)schlüsselung
 - **Lokalisierung!**



Golem Dust



Batterie vom Typ: Micro

Das Energieproblem im Detail

- Neben der Größe ist ein geringer **Energieverbrauch** die bedeutendste Herausforderung bei der Entwicklung von drahtlosen Geosensornetzwerken

Batterie-/Akkutyp	Energiedichte [J/cm ³]	Aktivität	Energie [mJ]
Nichtwiederaufladbare Lithium-Ionen	2880	Temperaturmessung (1 Messung)	0,001
Wiederaufladbare Lithium-Ionen	1080	Kommunikation (Bluetooth) (64 Bit werden gesendet)	0,032
Nickel-Metall-Hydrid	864	Rechenoperation (1000 Operationen)	0,0018
Nickeisen	1190		
Brennstoffzelle (Methanol)	8900		

- Der Energievorrat einer 0,05 g Li-Ion-Polymer-Batterie beträgt 27 J
- Bei einer Periode von 1 s für alle 3 Aktivitäten
- Nur ~ 9 Tage Laufzeit!**

- Low-Power-Ansatz
 - Idealfall: Sensorknoten erzeugen sich benötigte Energie selbst

- **Solar** (Außen, Mittagszeit)
→ Leistungsdichte 15 mW/cm^2



- **Vibration** (Umgebung mit Vibrationen bei 28 Hz und 0,1 g)
→ Leistungsdichte $0,124 \text{ mW/cm}^3$

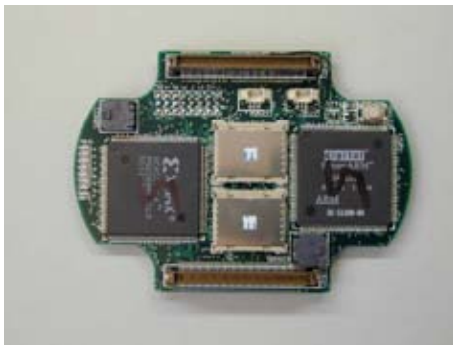


- Zum Vergleich:
 - Nominale Sendeleistung eines Klasse-2-Bluetooth-Gerätes: **1 mW**

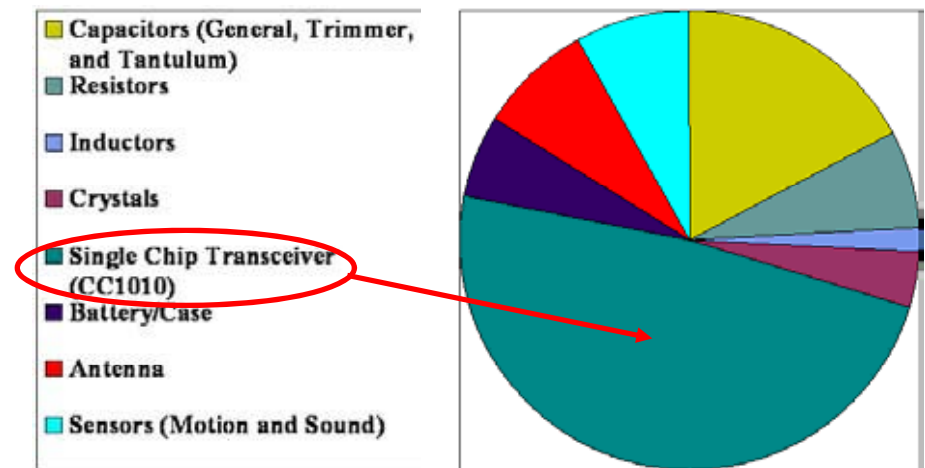


Finanzieller Aufwand

- Preis pro Sensorknoten muss sehr niedrig sein
- Stand der Technik:
 - Bluetooth
 - <5 \$ in großen Stückzahlen
 - ~20 \$ für Endverbraucher
 - PicoRadio
 - <1 \$ (angestrebter Preis)

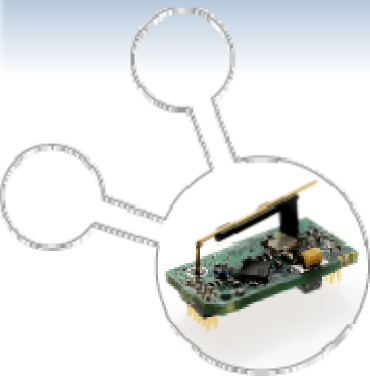


PicoRadio, Berkeley Wireless Research Center



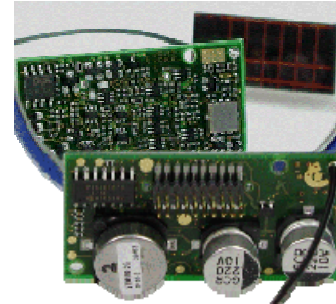
Kosten der Teilkomponenten

Verfügbare Knotenplattformen



Ember

WINS



BT-Node



ScatterWeb



MicaMotes



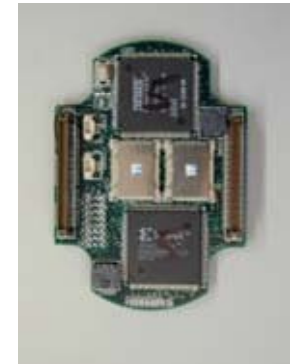
EnOcean



PicoRadio



TI CC24XX



Hardware Future Trends

- **Golem Dust**
- Bidirek. Kommunikation
- Sensor
- Solar
- Größe: 11.7 mm³
- **UC-Berkeley's SPEC**
- Aktiver Knoten
- μ C, 3K RAM, 8 bit ADC
- Propriet. Übertragung.
- Größe: 2.0 · 2.5 mm
- **Hitachi μ -Chip**
- Kein richtiger Sensor
- Nur passiver Transponder (wie RFID)
- Größe: 0.4 · 0.4 mm



Photo: UCB



Photo: Jason Hill, UCB

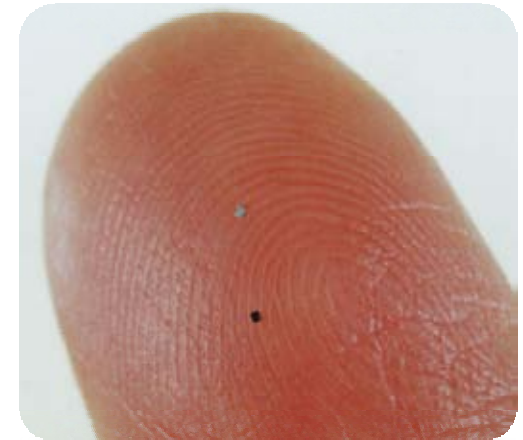


Photo: Hitachi

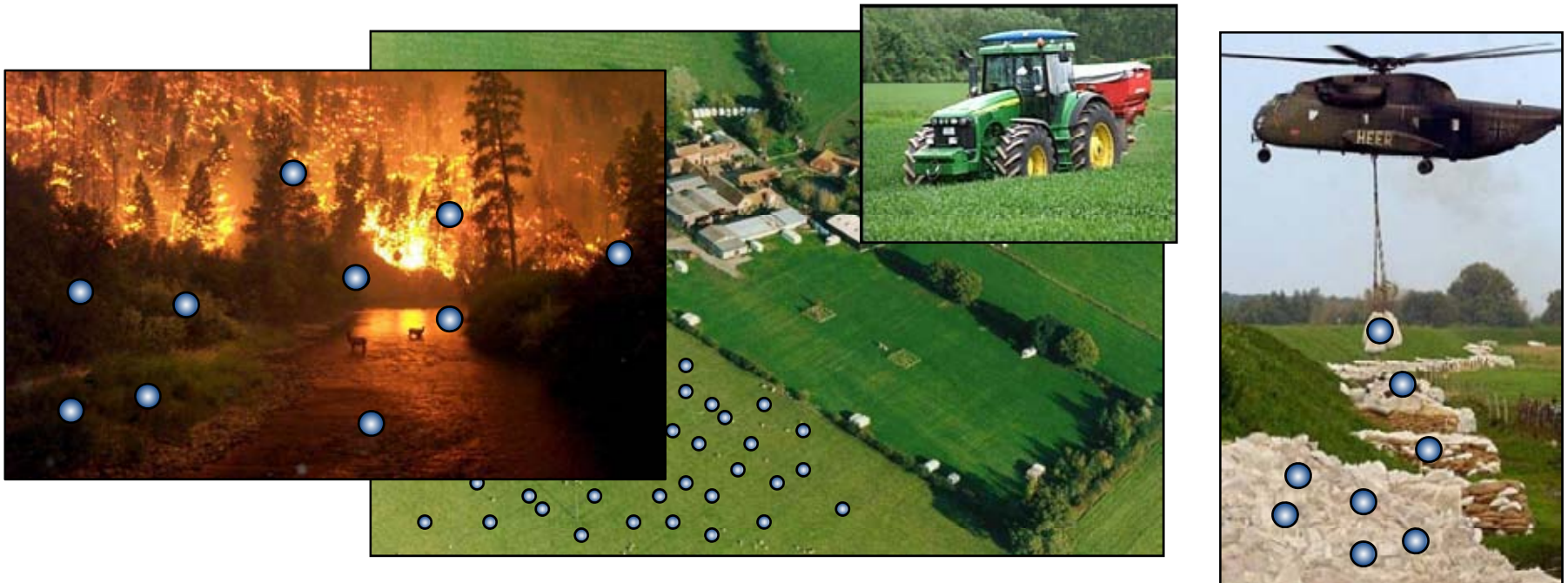


Agenda

- Einführung Geosensornetzwerke
- Herausforderungen bei der Entwicklung von GSNs
- **Anwendungen für GSNs**
- Lokalisierungsansätze und Techniken zur Distanzbestimmung
- Spezielle Lokalisierungsalgorithmen für GSNs
- Zusammenfassung und Ausblick

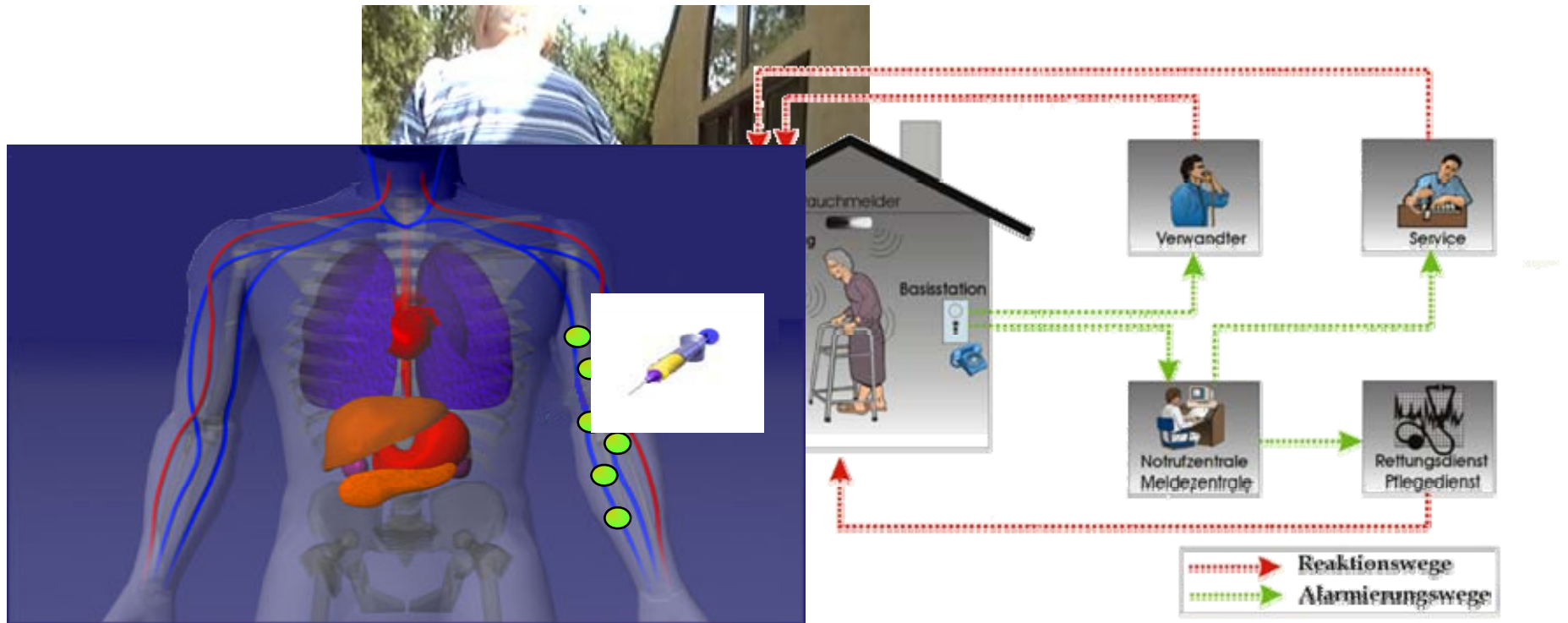
Anwendungen

- **Landwirtschaft:** Präzisionslandwirtschaft
 - Messung der Konzentration chemischer Stoffe im Boden
- **Weitere:**
 - Frühzeitige Waldbranderkennung
 - Deichüberwachung



Weitere Anwendungen

- Überwachung von physiologischen Daten älterer Menschen
- Lokalisierung von Patienten zu Hause
- "Smart Pill"



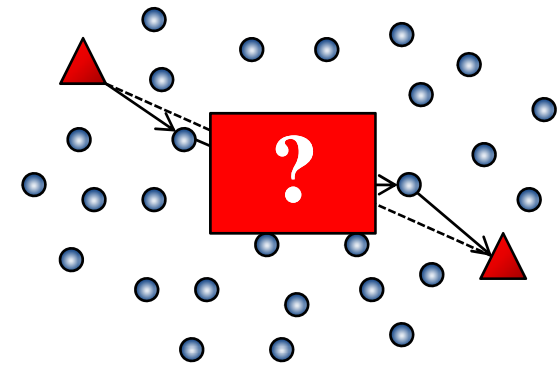


Agenda

- Einführung Geosensornetzwerke
- Herausforderungen bei der Entwicklung von GSNs
- Anwendungen für GSNs
- **Lokalisierungsansätze und Techniken zur Distanzbestimmung**
- Spezielle Lokalisierungsalgorithmen für GSNs
- Zusammenfassung und Ausblick

Lokalisierung: Motivation

- Wo muss gedüngt werden?
 - Zuordnung der Sensordaten zum Ort ihrer Aufnahme
- Vereinfachung komplexer Aufgaben durch Ortsinformationen:
 - Paketweiterleitung nach dem kürzesten Weg Prinzip kann sehr energiesparend sein
 - Optimale Einstellung der Kommunikationsreichweite der Knoten
- Detektion von Hindernissen
- Position selbst ist die relevante Information:
 - Ortung und Verfolgung von mobilen Phänomenen (Target Tracking)



Lokalisierung: Ansatz

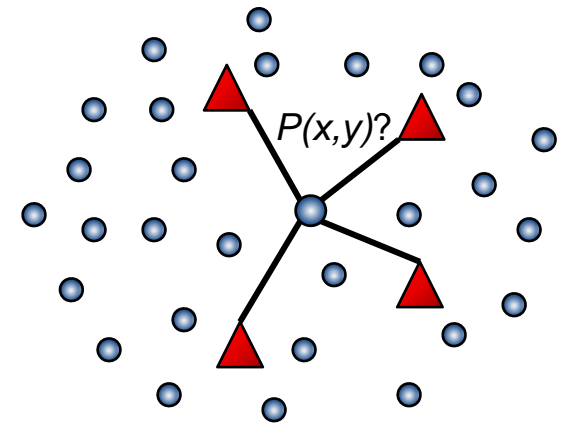
1. Intuitiver Ansatz:

- Kommerzielles Lokalisierungssystem nutzen
z.B. „Global Positioning System“ (GPS)
- Probleme:
 - Zusätzliche Hardware
 - Relativ Hoher Energieverbrauch
 - Zusätzliche Kosten
 - Beschränkte Nutzung in Innenbereichen (Gebäude)

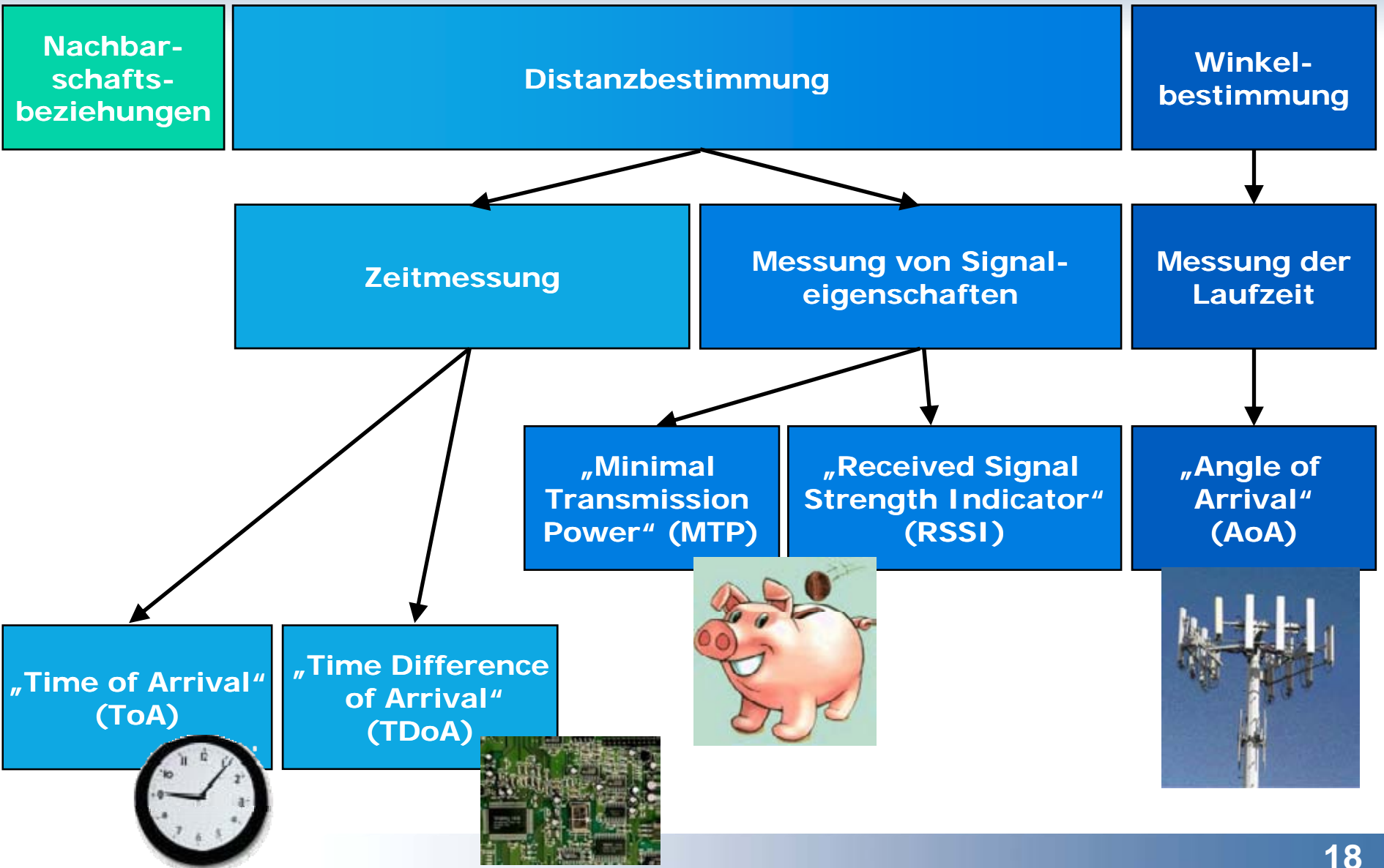


2. Praktikabler Ansatz:

- GPS auf einigen wenigen Beacons (Anzahl: q)
- Ermittlung von Distanzen bzw. Winkeln
- Lokalisierung mittels eines geeigneten Algorithmus‘
- Anforderungen an die Lokalisierung:
 - Ressourcensparend
 - Präzise
 - Robust, skalierbar

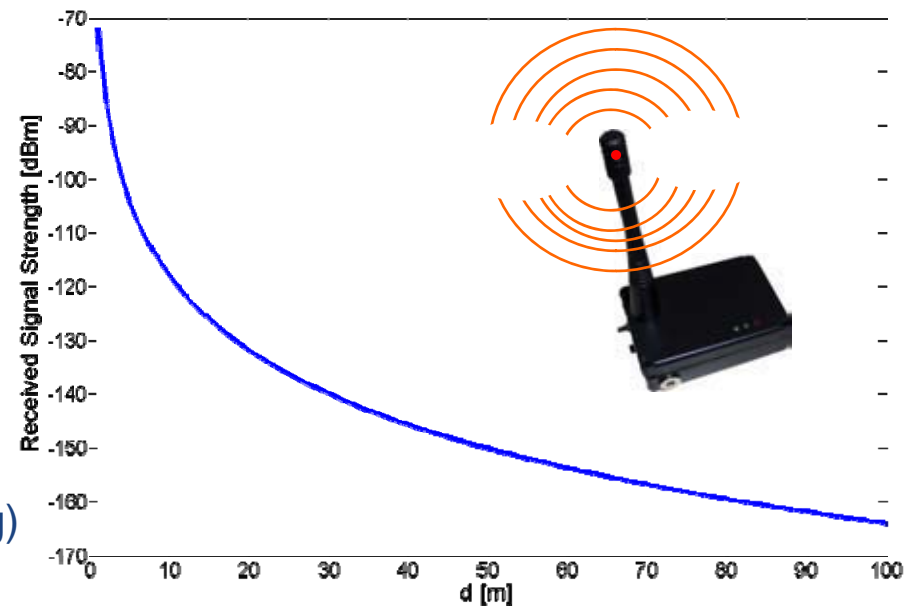


Messtechniken



1.) „Received Signal Strength“

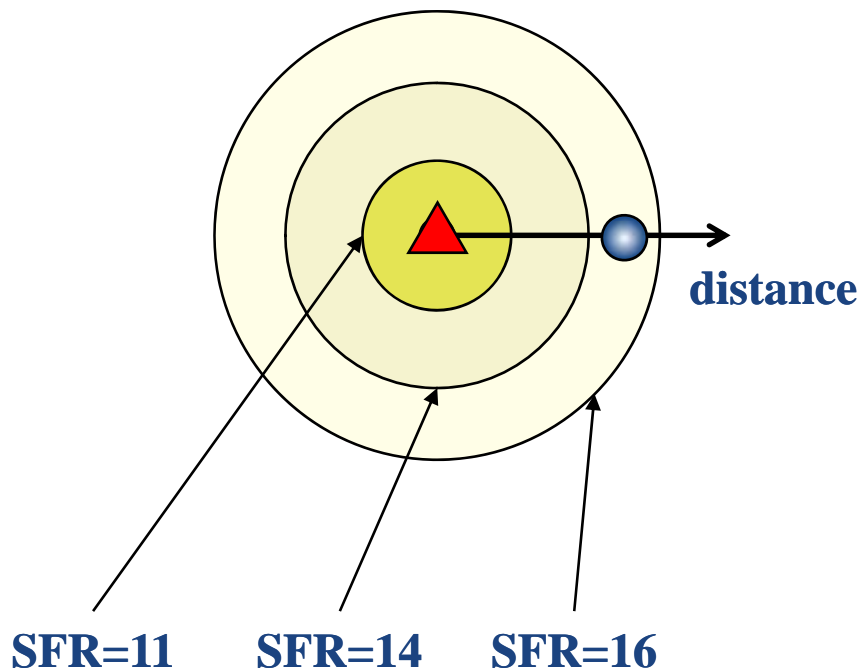
- Bestimmung:
 - Messung der durch die elektromagnetische Welle erzeugten Leistung an der Antenne bzw. der Spannung über einem Widerstand
 - Analog-Digital-Wandlung dieser Spannung
 - Normierung in entsprechenden Wert, meist 0-254
- Vorteile:
 - Prinzipielle Distanzschätzung möglich
 - Keine zusätzliche Hardware
 - Geringer Energieverbrauch
- Nachteile:
 - Dynamik der Umgebung
 - Signaldämpfung \rightarrow Distanz^(- α)
 - Nicht standardisiert (herstellerabhängig)



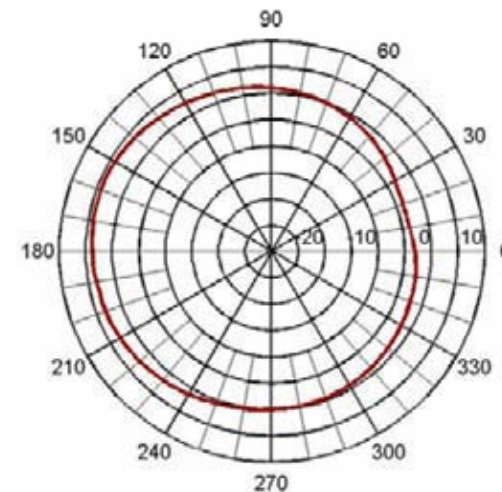
2.) „Minimal Transmission Power“

- Sendeleistung P in der Übertragungseinheit einstellbar
- P entspricht einem Steuerregisterwert (special function register (SFR))
- SFR beeinflusst die Sendereichweite
- Hardwareabhängige Funktion $\rightarrow d(SFR)$

Theorie

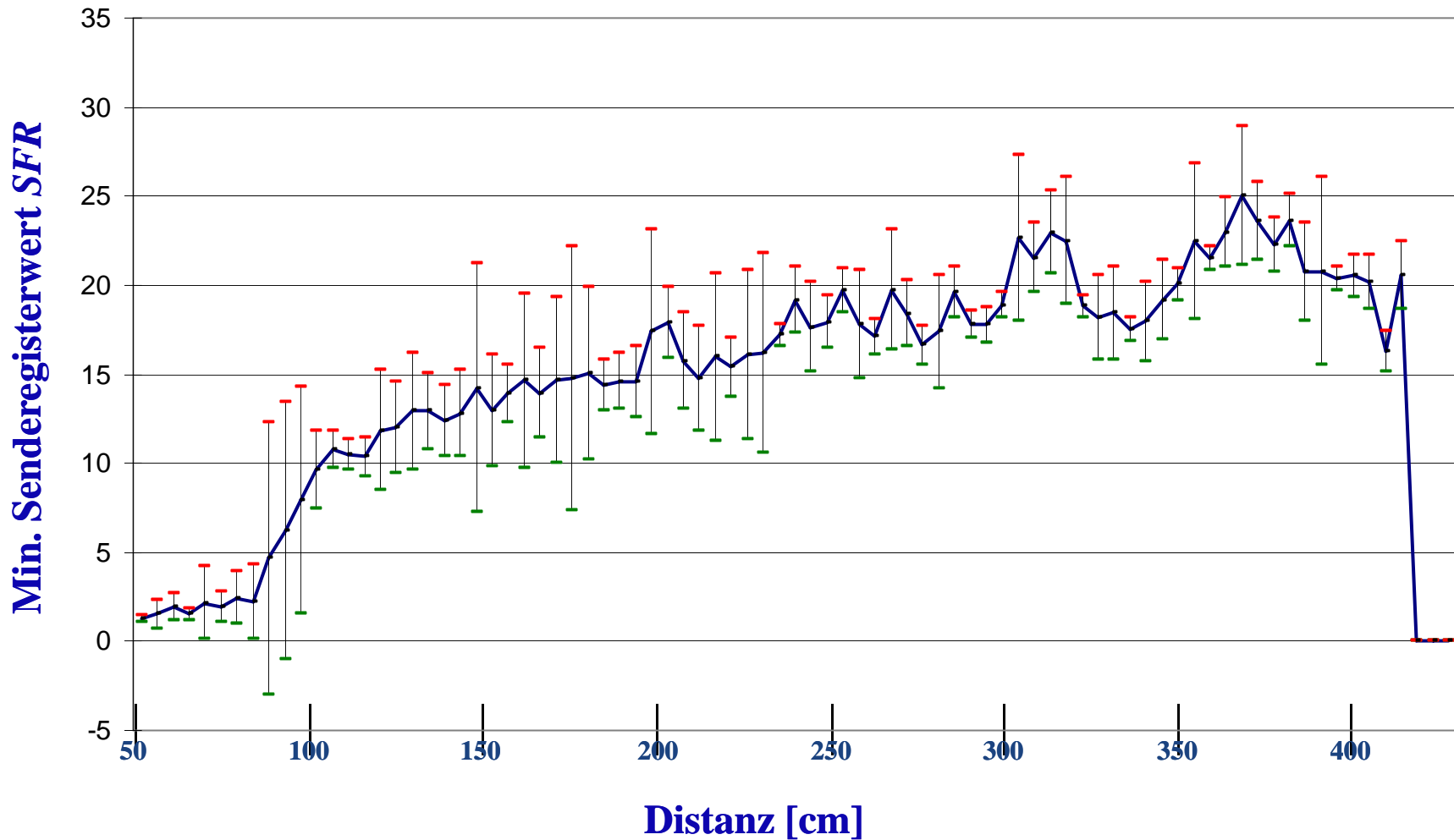


Praxis (hier gutartig)



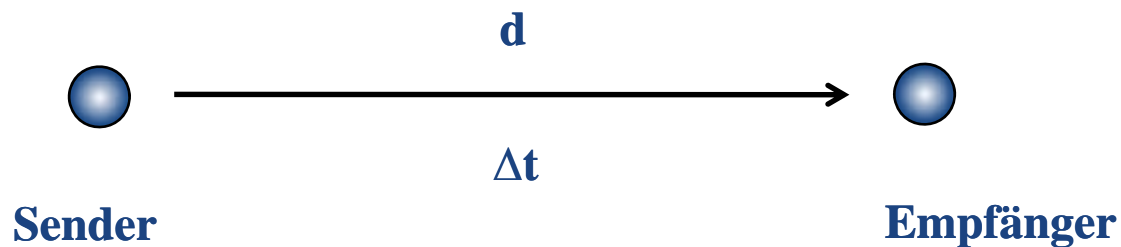
2.) „Minimal Transmission Power“

Kennlinie



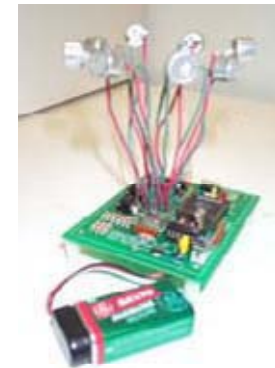
3.) „Time of Arrival“

- **Idee:** Messung der Signallaufzeit vom Sender zum Empfänger → GPS
- **Berechnung:**
 - $d = \Delta t \cdot c$
- **Probleme in Geosensornetzwerken:**
 - Uhrensynchronisation
 - Sehr kurze Distanzen zwischen den Knoten
 - z.b.: Entfernung = 1 m → ~ 3,3 ns Auflösungszeit

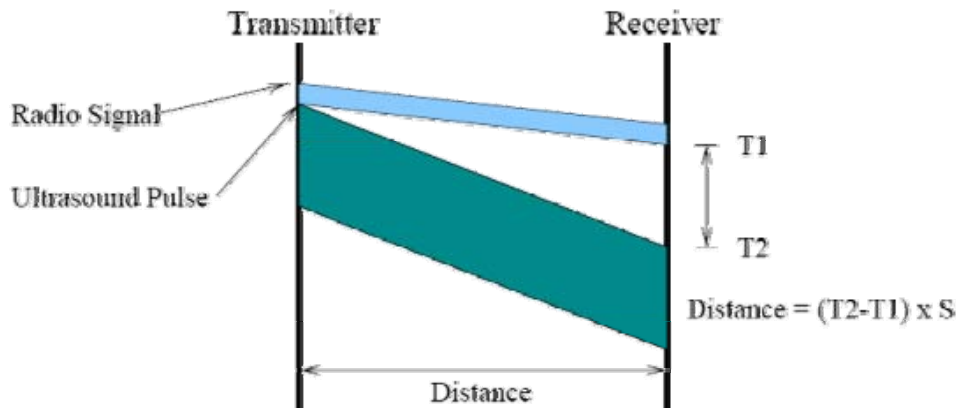


4.) „Time Difference of Arrival“ (TDoA)

- **Sender:**
 - Zwei unterschiedlich schnelle Signale aussenden
 - Radio und Ultraschall
- **Empfänger:**
 - Empfang beider Signale
 - Messung der Empfangszeit und Differenzbildung $T_2 - T_1$
- **Fazit:**
 - Sehr genau
 - Zusätzliche Hardware erforderlich
 - Schallwellenerzeugung benötigt relativ viel Energie

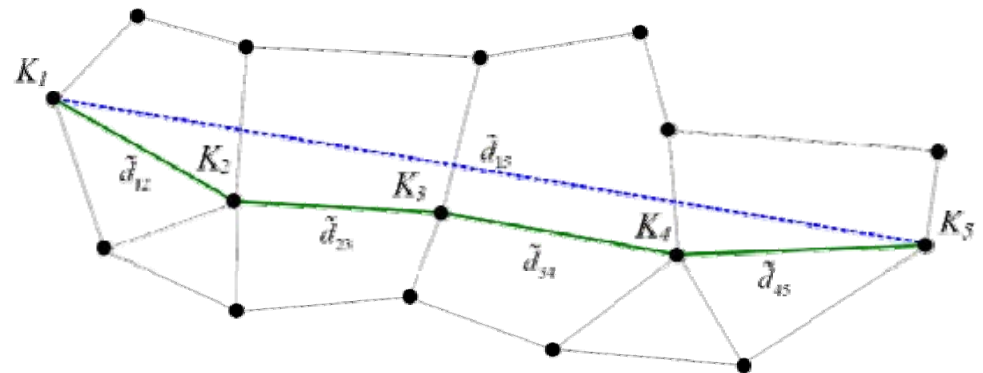


Medusa Node



5.) Multihopping

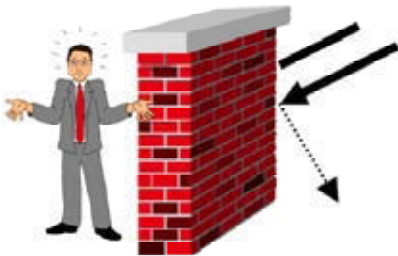
- Sende Pakete über den kürzesten Pfad
- Zähle die Anzahl der Weiterleitungen
- Annahmen:
 - Durchschnittlicher Abstand zwischen den Knoten bekannt (Knotendichte)
 - Möglichst linienartige Paketweiterleitung
- Hopdistanz \cdot Hopzahl = Absolute Distanz
- Fazit:
 - Keine Distanzmessverfahren benötigt
 - Relativ ungenau, aber
 - Bei hoher Dichte \rightarrow Genauer



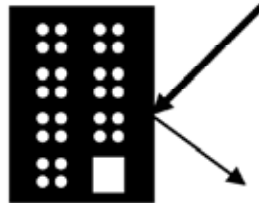
Probleme mit Signalen in der Praxis

- Signale unterliegen in der Realität starken Umgebungseinflüssen:

Abschattung



Reflexion



Streuung



Beugung



- Dämpfung beim Durchdringen von Objekten: $D \sim d^\alpha$
 - 876 MHz Signal \rightarrow 8-20 dB durch einen Baum mit Blattwerk
- Sensitivität der Übertragungseinheit
- Unterschiedliche Hardware
- Bewegung zw. Sender und Empfänger \rightarrow Dopplereffekte

Fehler in Distanzmessungen



Grobe Fehler:

- Beispiel: falsches Ablesen der Anzeige
- Beseitigung: kann nachträglich beseitigt werden (offset)



Systematische Fehler:

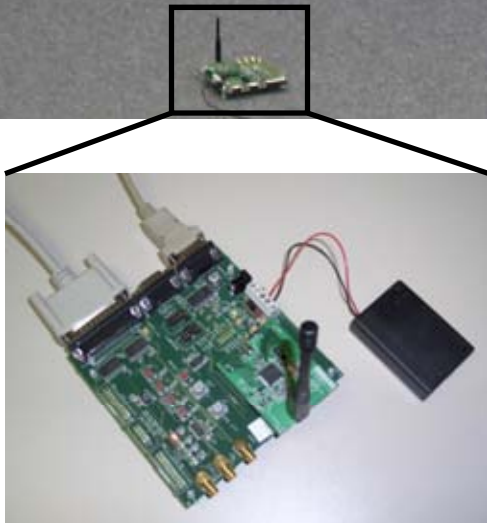
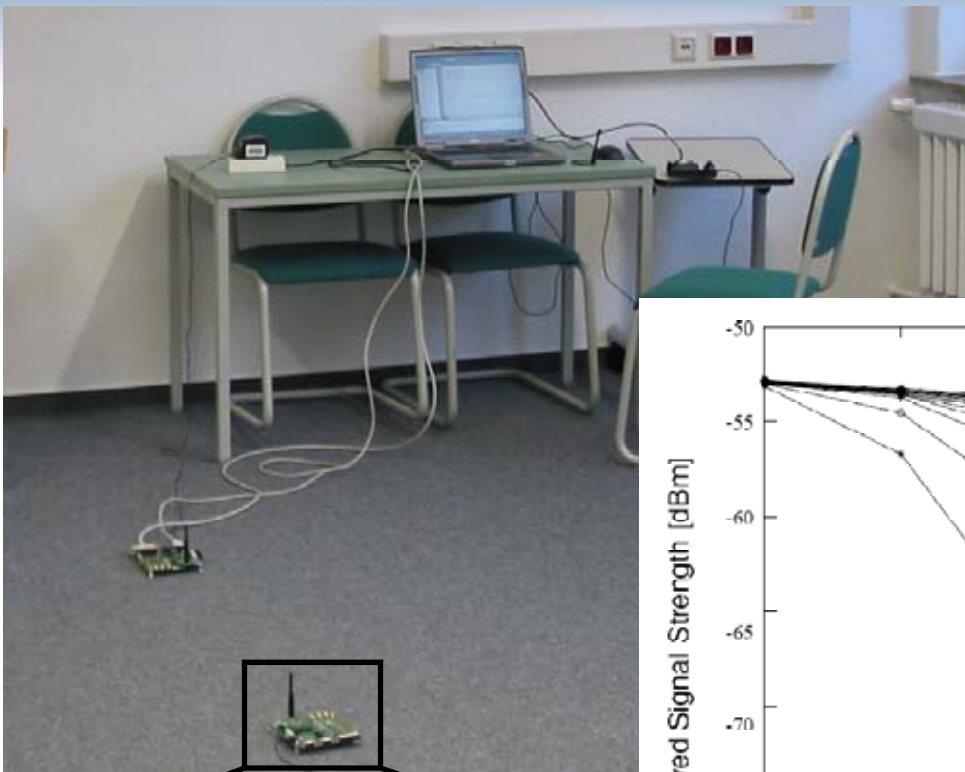
- Beispiel: Messinstrumentenfehler, die bei jeder Messung gleichermaßen auftreten
- Beseitigung: durch Justierung und Kalibrierung der Messinstrumente



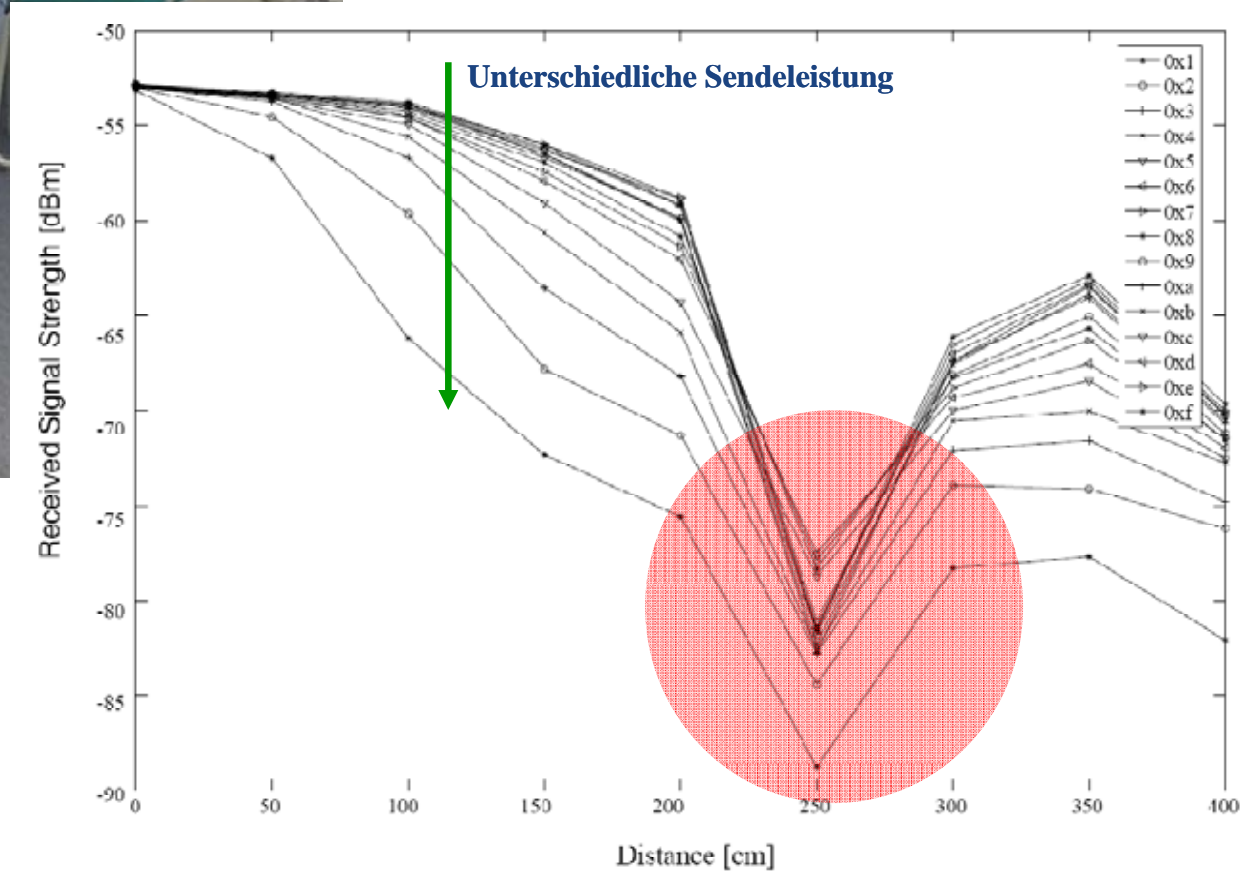
Zufällige Fehler:

- Beispiel:
 - Unkontrollierbare Änderungen der äußeren Verhältnisse
 - Temperaturschwankungen
 - Endliches Auflösungsvermögen der Messeinrichtung
- Beseitigung:
 1. Auf Hardwareebene: Mehrwegeeffekte erkennen und reduzieren (Ultrawideband)
 2. Auf Softwareebene (verteilt auf Knoten): Ausgleichung, Sensorähnlichkeiten
 3. Auf Softwareebene (zentral auf der Senke): freie geodätische Netzausgleichung

Testmessungen im Innenraum



Chipcon CC1010

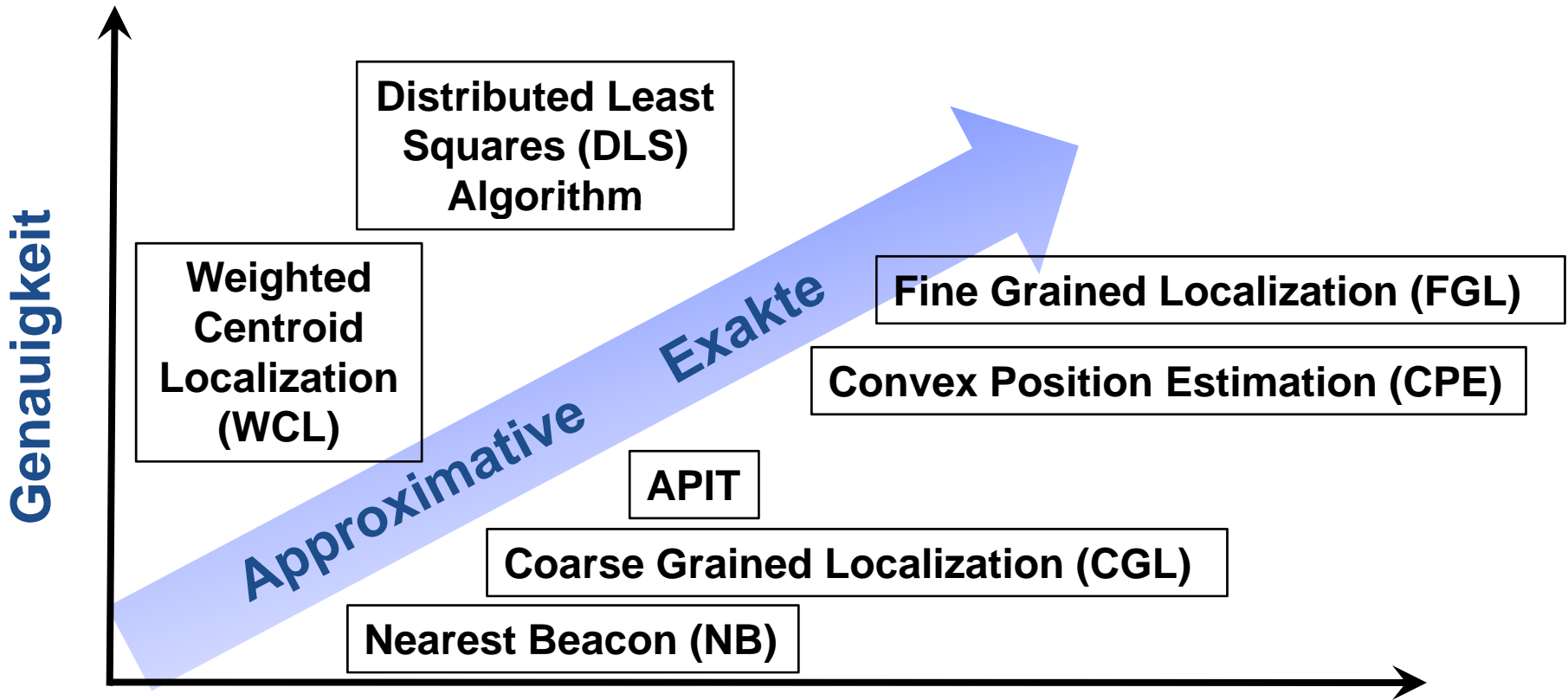




Agenda

- Einführung Geosensornetzwerke
- Herausforderungen bei der Entwicklung von GSNs
- Anwendungen für GSNs
- Lokalisierungsansätze und Techniken zur Distanzbestimmung
- **Spezielle Lokalisierungsalgorithmen für GSNs**
- Zusammenfassung und Ausblick

Lokalisierung: Stand der Technik



Ressourcenanforderungen an die Sensorknoten

WCL - ein approximativer Lokalisierungsalgorithmus

WCL: Grundlagen

- **Grundlage:** Schwerpunktgleichung $\rightarrow P_1(x_1) = \frac{\sum_{j=1}^m (B_j(x_j))}{m}$; $P_1(y_1) = \frac{\sum_{j=1}^m (B_j(y_j))}{m}$

- **Annahme:** Fehlerhafte Distanzmessungen oft vorhanden

- **Erweiterung:** Ortsabhängige Gewichte

$$P_2(x_2) = \frac{\sum_{j=1}^m (w_{2j}(d) \cdot B_j(x_j))}{\sum_{j=1}^m (w_{2j}(d))}$$

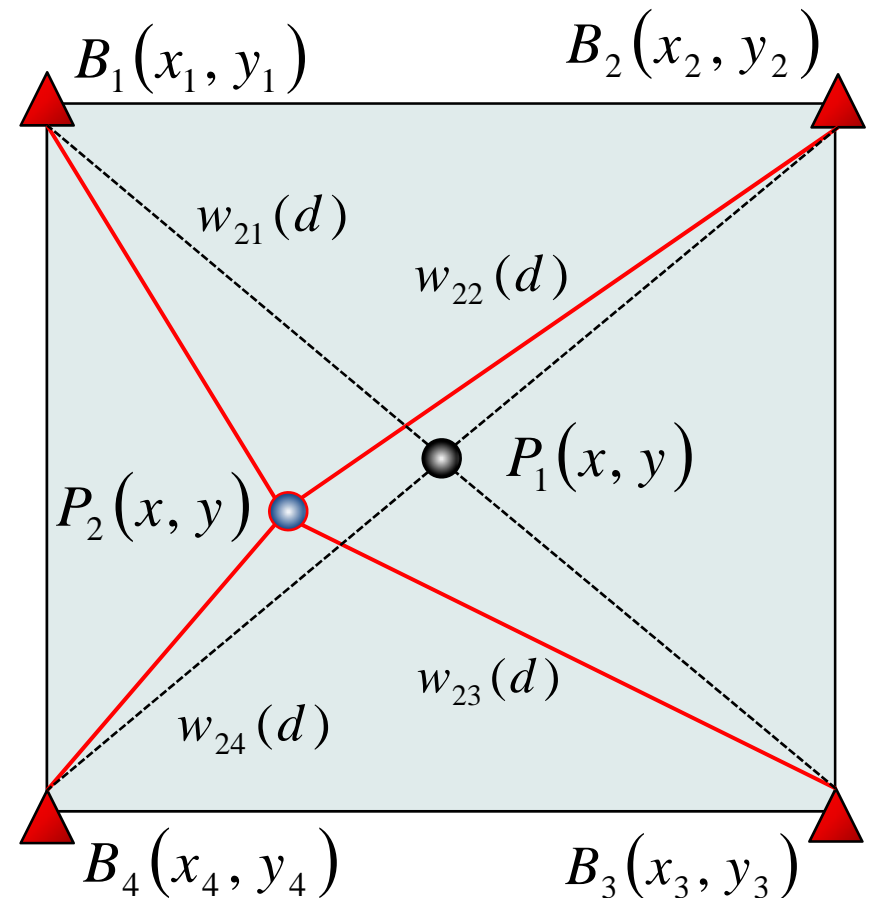
• bzw.

$$P_2(y_2) = \frac{\sum_{j=1}^m (w_{2j}(d) \cdot B_j(y_j))}{\sum_{j=1}^m (w_{2j}(d))}$$

- Untersuchung der Gewichtsfunktion:

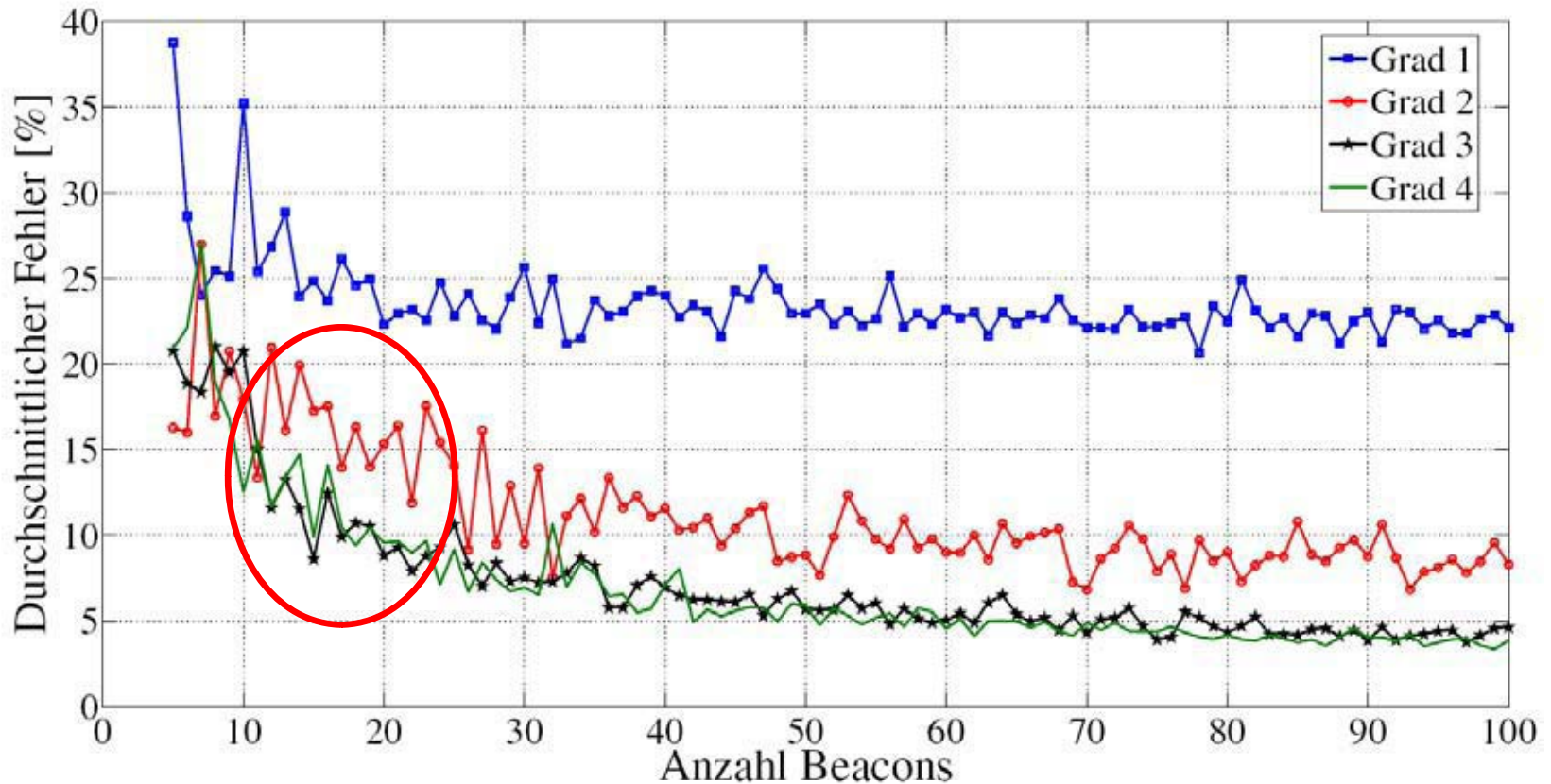
$$w_{2j}(d) = \frac{1}{d^g}$$

- Optimierungsziel: $\min(F)$



WCL: Matlab Simulation

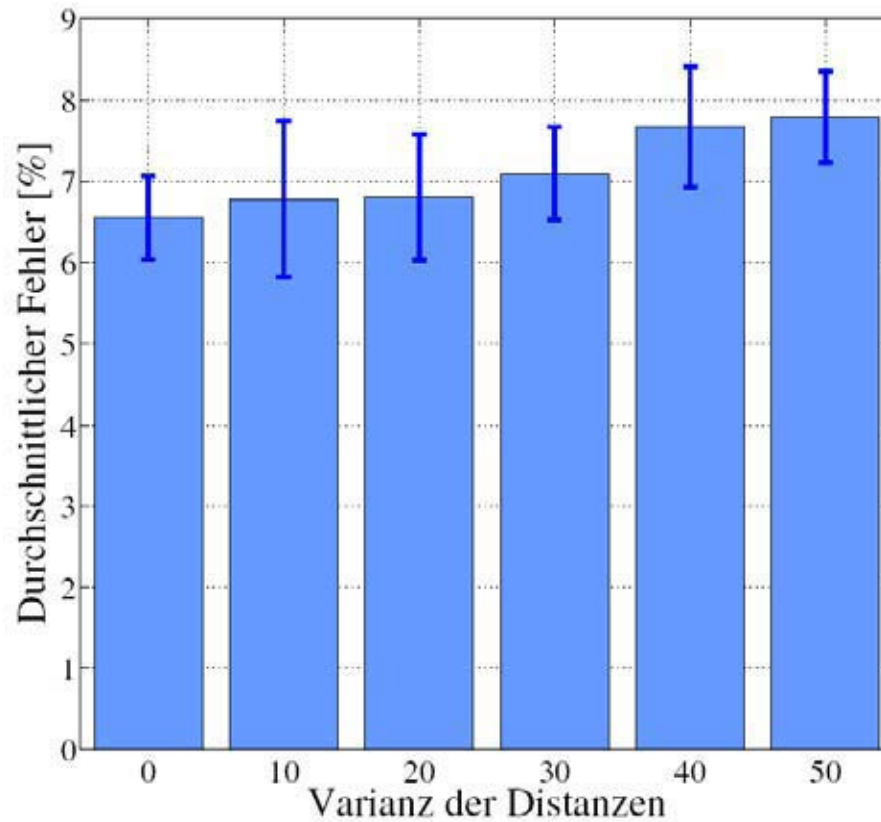
- Nur wenige Beacons benötigt
- Allerdings 10-15% Fehler



Simulationsparameter: $a=100, s=10.000$

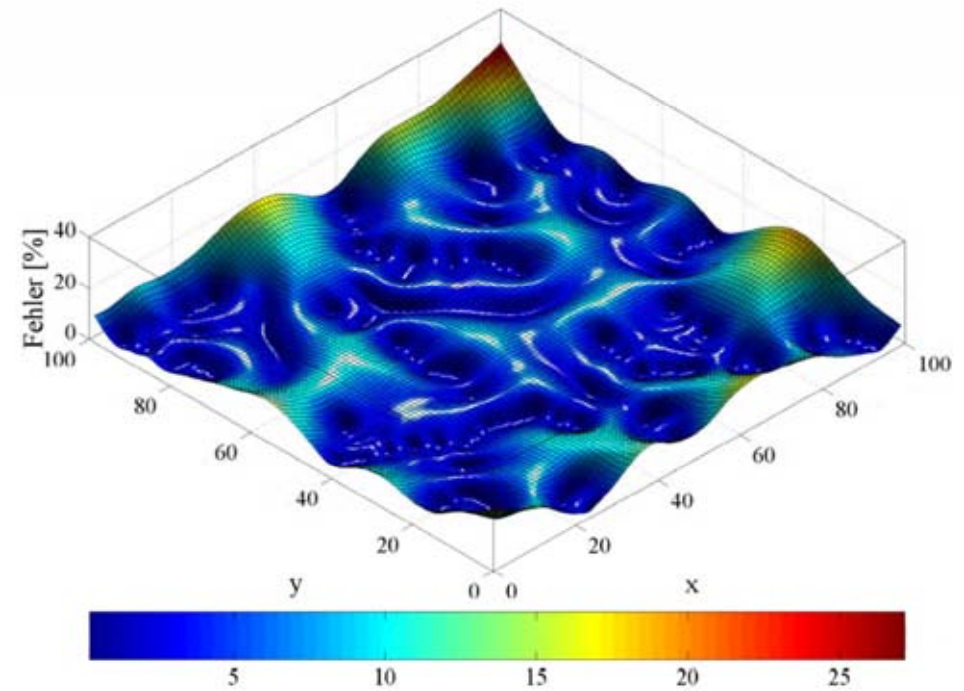
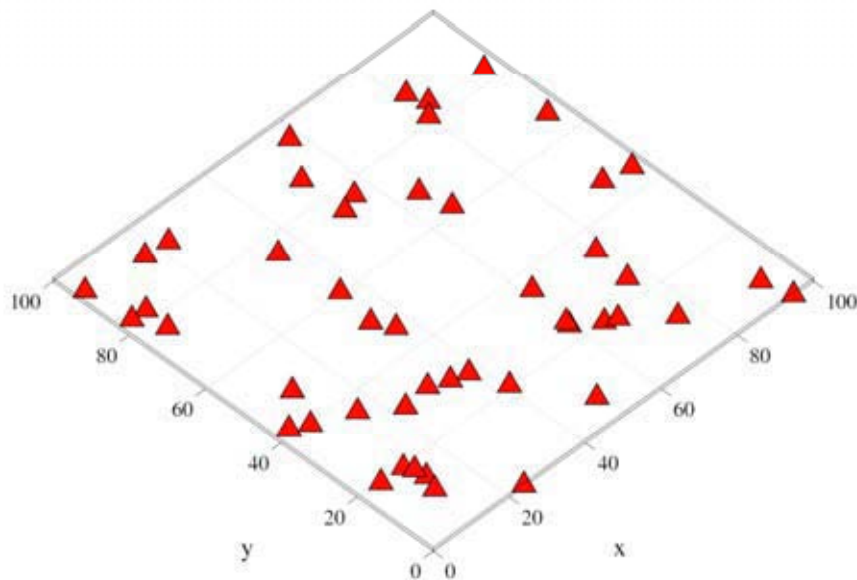
WCL: Einfluss gegenüber fehlerhaften Eingangswerten

- Hoch robust gegenüber fehlerhaften Eingangsdistanzen



Simulationsparameter: $a=100$, $s= 10.000$, $b=100$, 10 Wiederholungen

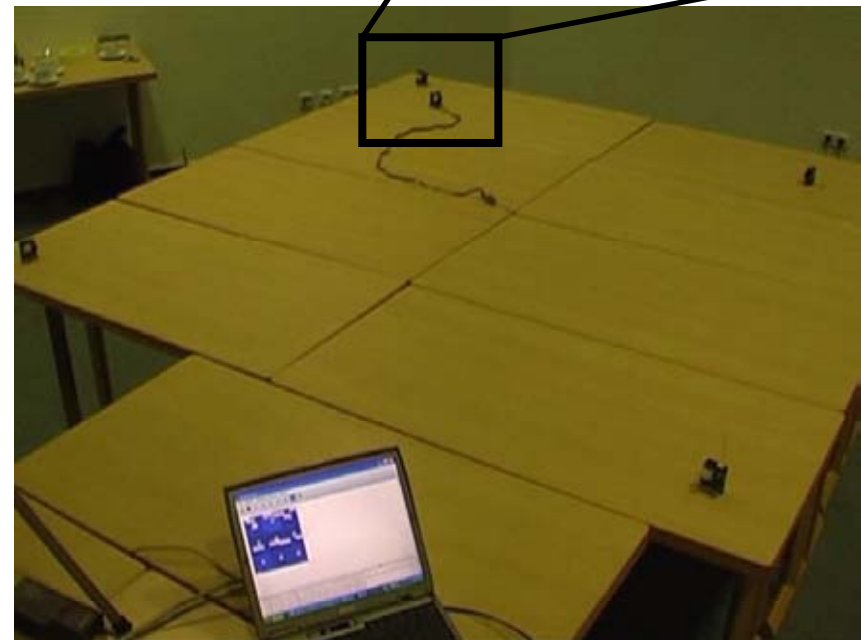
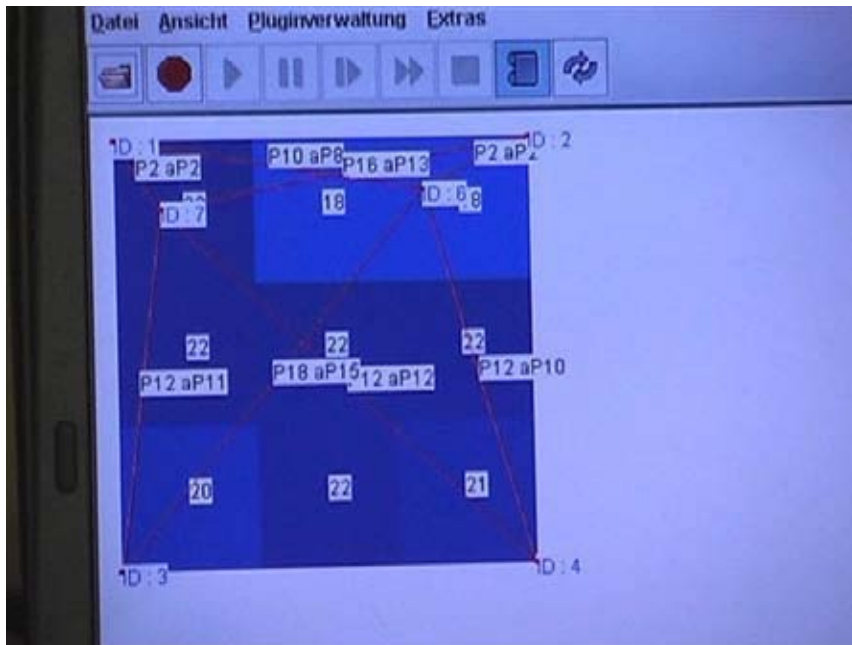
WCL: Einzelfehler über einem quadratischen Feld



Simulationsparameter: $a=100$, $s=10.000$, $b=49$

WCL: Localization Framework

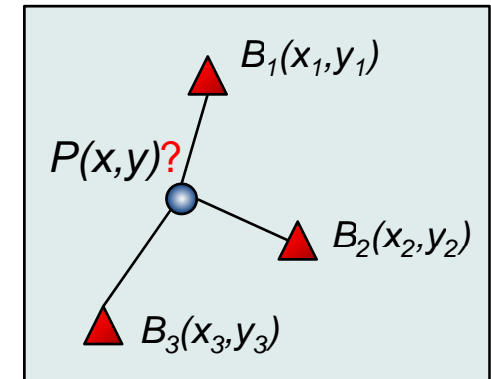
- Graphische Benutzeroberfläche: SpyGlass (Universität Lübeck)
- Knotenplattform: Scatterweb (FU Berlin)
- *SFR*-Intervall = 0..100 ($d = 1-300$ m)
- 4 Beacons an den Ecken, ein Unbekannter Knoten
- Feldgröße = 2 2 m
- Durchschnittlicher Lokalisierungsfehler \rightarrow 30 cm (absolut)



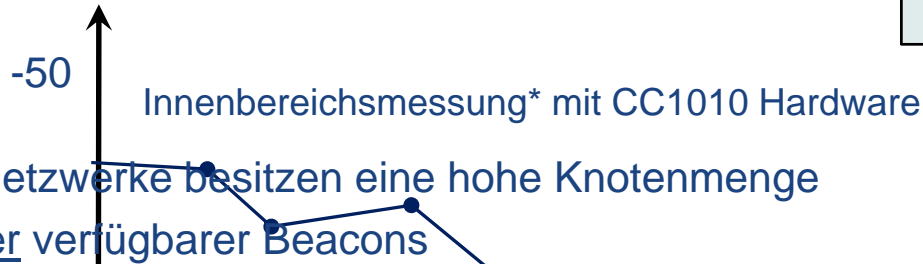
DLS – ein exakter Lokalisierungsalgorithmus

Exakte Lokalisierung

- **Einfachster Ansatz:** Lokalisierung mittels klassischer Trilateration (3 Beacons in 2D)
- **Problem:** Distanzmessverfahren sind immer zufällig fehlerbehaftet:
 - Signalempfangsstärke (RSS) durch Mehrwegausbreitung
- **Folge:** Ungenaue – unbrauchbare Positionen



- **Ansatz:**
 - Geosensornetzwerke besitzen eine hohe Knotenmenge
 - Nutzung aller verfügbarer Beacons



Beitrag meiner Arbeit:

1. Verringerung der Ressourcenanforderungen an die Sensorknoten
2. Verlängerung der Lebenszeit des Geosensornetzwerkes
3. Beibehaltung der hohen Genauigkeit statistischer Verfahren

Distanz [cm]

*[Reichenbach et al. 2006]

DLS: Mathematischer Ansatz

- Aufstellung von q Euklidischen Distanzgleichungen (2D):

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = r_i^2 \quad (\text{mit } i = 1, 2, \dots, q)$$

- Überführung der nichtlinearen Gleichungen in ein lineares System durch Termerweiterung:

- B_1 dient als Linearisierungshilfe:

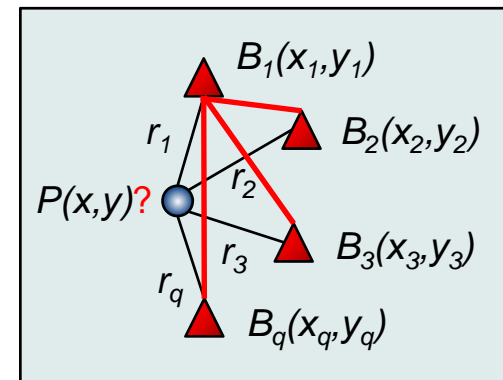
$$(x \boxed{-x_1 + x_1} - x_i)^2 + (y \boxed{-y_1 + y_1} - y_i)^2 = r_i^2$$

- Umstellen und Kürzen führt zu:

$$(x - x_1)(x_i - x_1) + (y - y_1)(y_i - y_1) = b_{i1} \quad (\text{mit } i = 2, \dots, m = q)$$

- Rechte Seite-Vektor: $b_{i1} = \frac{1}{2} (r_1^2 - r_i^2 + \boxed{d_{i1}^2})$

- Distanz zwischen B_1 und $B_i \rightarrow d_{i1}^2$



DLS: Lineare Ausgleichsaufgabe

- Lineares Gleichungssystem (LGS) in kompakter Matrixform:

$$A = \begin{pmatrix} (x_2 - x_1) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_1) & (y_3 - y_1) \\ \vdots & \vdots \\ (x_m - x_1) & (y_m - y_1) \end{pmatrix}, \quad \vec{x} = \begin{pmatrix} x - x_1 \\ y - y_1 \end{pmatrix}, \quad \vec{b} = \begin{pmatrix} b_{21} \\ b_{31} \\ \vdots \\ b_{m1} \end{pmatrix}$$

- Gegeben:** Überbestimmtes LGS $A\vec{x} = \vec{b}$ (mit $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $\vec{b} \in \mathbb{R}^m$, $\vec{x} \in \mathbb{R}^n$)
- Gesucht:** Vektor \vec{x} , der die obige Vektorgleichung erfüllt
- Problem:** Da $m \gg n$ und \vec{b} defekt, existiert im allgemeinen kein eindeutiges \vec{x}
- Ausweg:** Lösung durch Ersatzaufgabe mit eindeutiger Lösung
- Gesucht:** Vektor \vec{x} , der die Gleichungen „möglichst gut“ erfüllt
- Ansatz:** Minimierung des Residuenvektors: $\vec{r} = \vec{b} - A\vec{x}$
- Lösung:** „Methode der kleinsten Fehlerquadrate“ \rightarrow Minimierung der Summe der Quadrate der Residuen: $\|\vec{r}\|_2^2 = \sum_{i=1}^m r_i^2$ bzw. Minimiere $|\vec{b} - A\vec{x}|$
 $\vec{x} \in \mathbb{R}^n$

DLS: Lösungsverfahren für die Ersatzaufgabe

1. Normalgleichung: $A^T A \vec{x} = A^T \vec{b} + (x_1 \ y_1)^T$

$$\vec{x} = (A^T A)^{-1} A^T \vec{b} + (x_1 \ y_1)^T$$

- **Relativ einfacher Ansatz**
- **Kann zu numerischen Instabilitäten führen**
- **Nicht für nachträgliche Aktualisierungen geeignet**

2. Orthogonalisierungsmethoden:

• QR-Faktorisierung: $R_1 \vec{x} = Q_1^T \vec{b} + (x_1 \ y_1)^T$

• Singulärwertzerlegung: $\vec{x} = V y + (x_1 \ y_1)^T$ mit $S_1 y = U_1^T \vec{b}$

- **Numerisch stabil**
- **Aktualisierungen möglich**
- **Komplexe Gesamtberechnung**

DLS: Kernidee

- **Problem:** Ressourcenintensive *Gesamtberechnung* auf den Sensorknoten
- **Ansatz:** Reduziere Berechnungsaufwand von: $\vec{x} = (A^T A)^{-1} A^T \vec{b} + (x_1 \ y_1)^T$
- Spezieller Vorteil der Linearisierung durch Termerweiterung:
 - Matrix A besteht nur aus Beaconpositionen

$$\begin{pmatrix} (x_2 - x_1) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_1) & (y_3 - y_1) \\ \vdots & \vdots \\ (x_m - x_1) & (y_m - y_1) \end{pmatrix}$$

DLS: Kernidee

- **Problem:** Ressourcenintensive **Gesamtberechnung** auf den Sensorknoten
- **Ansatz:** Reduziere Berechnungsaufwand von:
- Spezieller Vorteil der Linearisierung durch Termerweiterung:
 - Matrix A besteht nur aus Beaconpositionen
- Trennung der **Gesamtberechnung** in: **Vorbereitung** und **Nachberechnung**
- Analoger Ablauf für QR-Faktorisierung und Singulärwertzerlegung
- Auslagerung der komplexen **Vorbereitung** auf leistungsstarken Knoten
- Ausführung der **Nachberechnung** auf den limitierten Sensorknoten

Vorbereitung $\vec{x} = (A^T A)^{-1} A^T \vec{b} + (x_1 \ y_1)$ **Nachberechnung**

$$\begin{pmatrix} (x_2 - x_1) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_1) & (y_3 - y_1) \\ \vdots & \vdots \\ (x_m - x_1) & (y_m - y_1) \end{pmatrix}$$



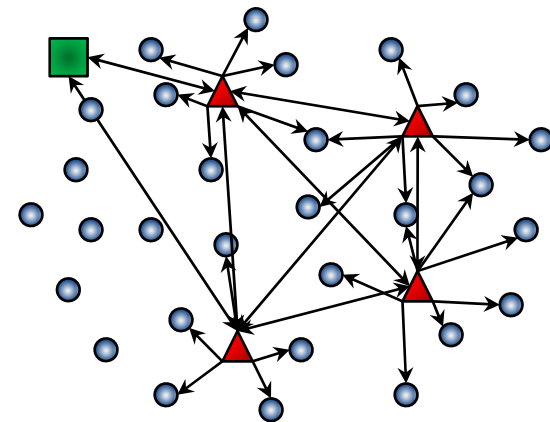
Senke



Sensorknoten

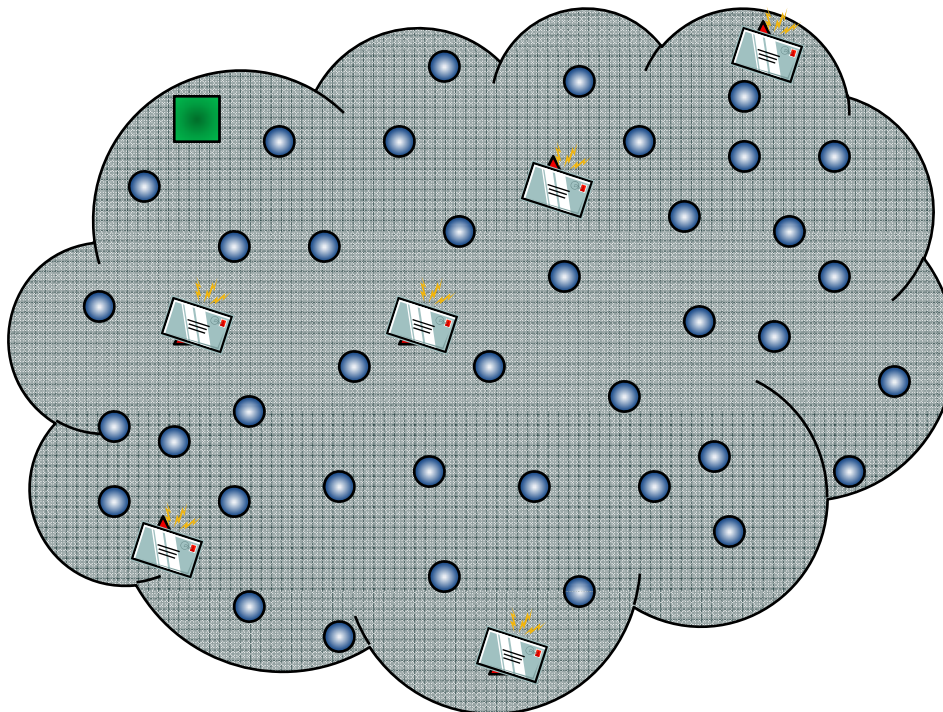
DLS: Voraussetzungen

- Vorteile hinsichtlich der zeitlichen Komplexität:
 - *Vorbereitung* läuft nun ohne Sensorknoten ab
 - Übrig bleibt einfache *Nachbereitung* auf Sensorknoten
- Voraussetzungen für eine elementare Algorithmusbeschreibung:
 - Jeder Sensorknoten kann zu jedem Beacon eine Distanz bestimmen
 - Sensorknoten empfangen Pakete von Nachbarbeacons
 - Sensorknoten unterstützen Energiesparmodi: *Aktiv- und Schlafzustand*
- Zwei Kommunikationsebenen:
 - (unkritisch) Beacon \leftrightarrow Beacon, Beacon \leftrightarrow Senke
 - (kritisch) Beacon \rightarrow Sensorknoten



DLS: Phase 1 (Initialisierung)

- Sensorknoten befinden sich im energiesparenden Schlafzustand
- Beacons bestimmen ihre Position durch Lokalisierungssystem
- Beacons versenden Positions-Paket (über Nachbarbeacons)



Legende:

Sensorknoten: 

Beacon: 

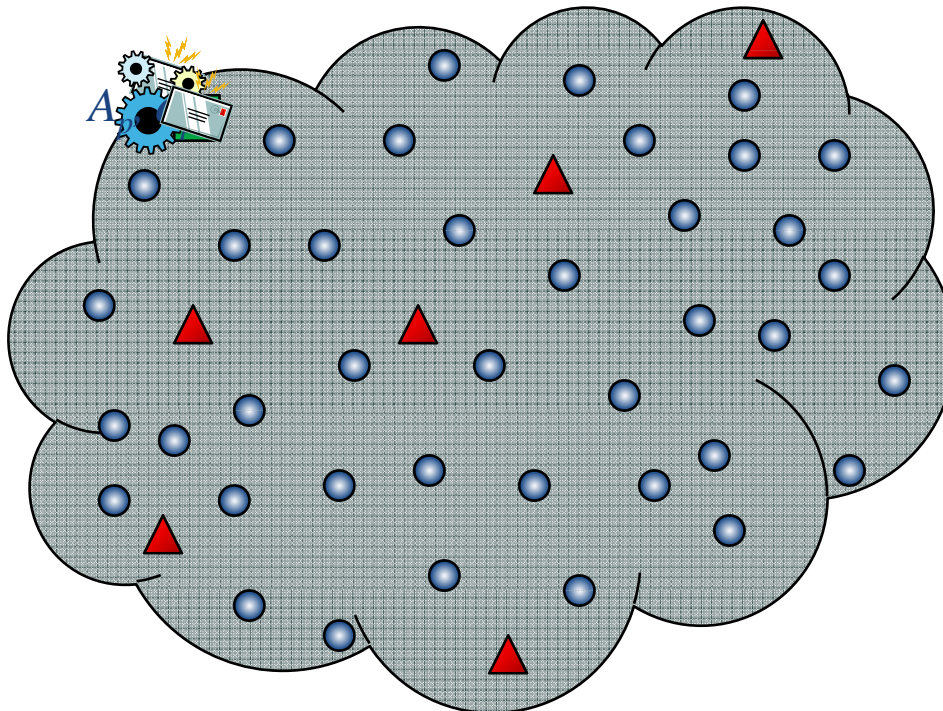
Senke: 

Rechnen: 

Kommunikation: 

DLS: Phase 2 (*Vorberechnung*)

- Senke sammelt alle ankommenden Positions-Pakete
- Senke führt *Vorberechnung* aus: $A_p = (A^T A)^{-1} A^T$, $d_p = d^2$
- Senke versendet Ergebnisse der *Vorberechnung* in einem DLS-Paket über Beaconnachbarn an alle Sensorknoten



Legende:

Sensorknoten: 

Beacon: 

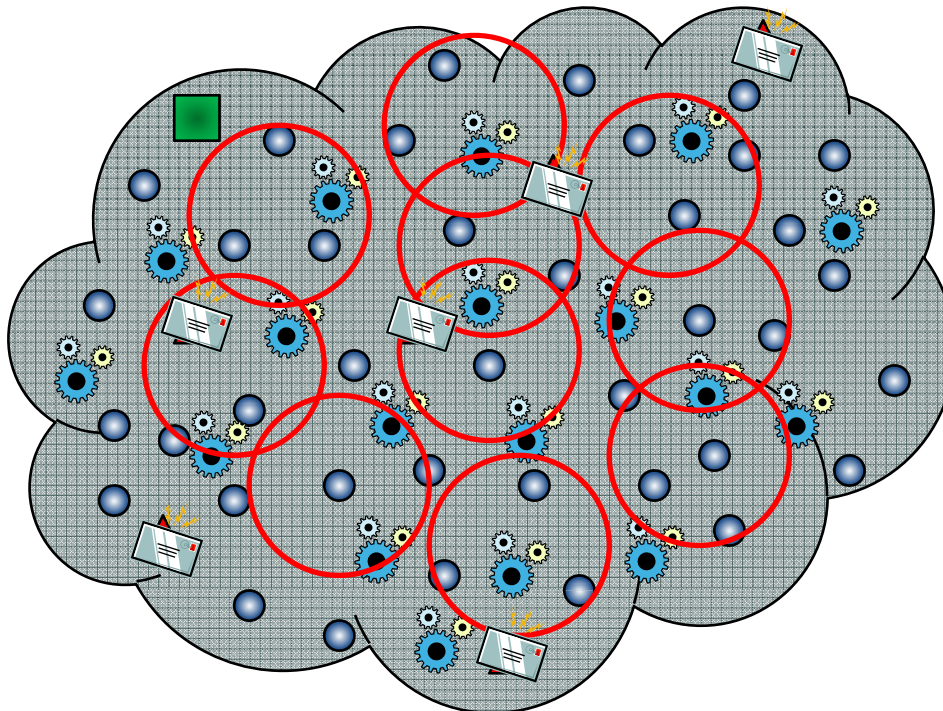
Senke: 

Rechnen: 

Kommunikation: 

DLS: Phase 3 (*Nachberechnung*)

- Sensorknoten wechseln in den aktiven Empfangszustand
- Sensorknoten bestimmen Distanzen zu allen Beacons (z.B. RSS)
- Empfang des DLS-Paketes auf den Sensorknoten
- Verteilte *Nachberechnung* auf jedem Sensorknoten: $\mathbf{x} = A_p \cdot \mathbf{b} + (x_1, y_1)^T$
- Sensorknoten wechseln wieder in den energiesparenden Schlafzustand
- Jeder Sensorknoten hat seine Initialposition $P(x,y)$ selbstständig ermittelt!



Legende:

Sensorknoten: 

Beacon: 

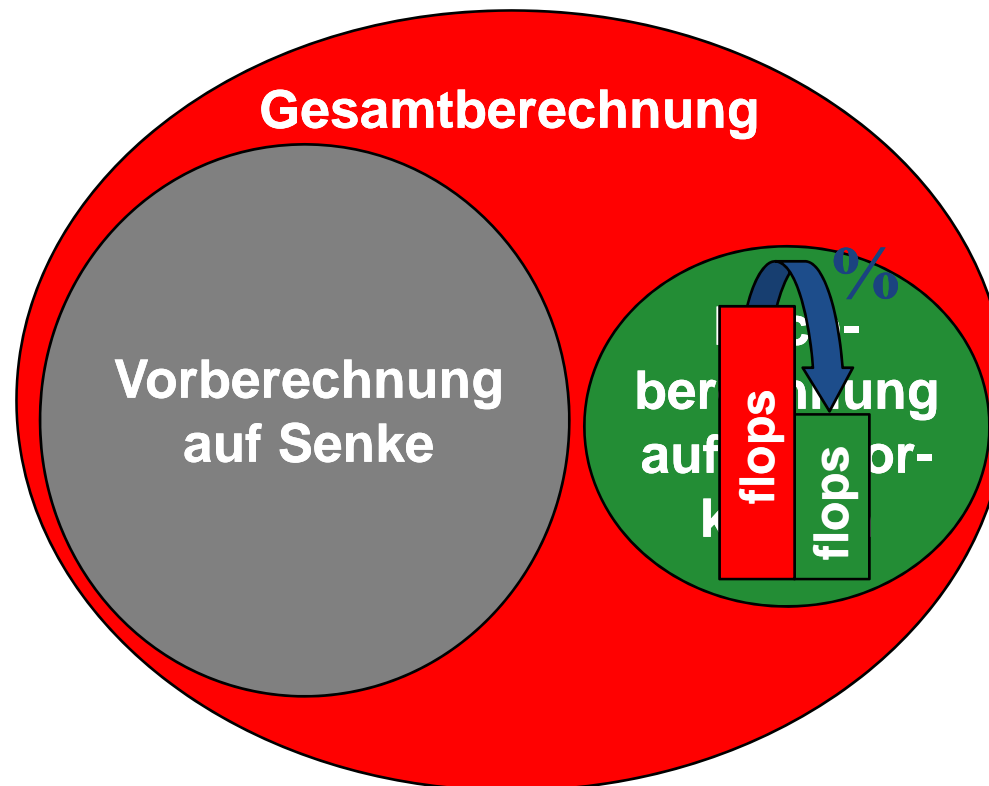
Senke: 

Rechnen: 

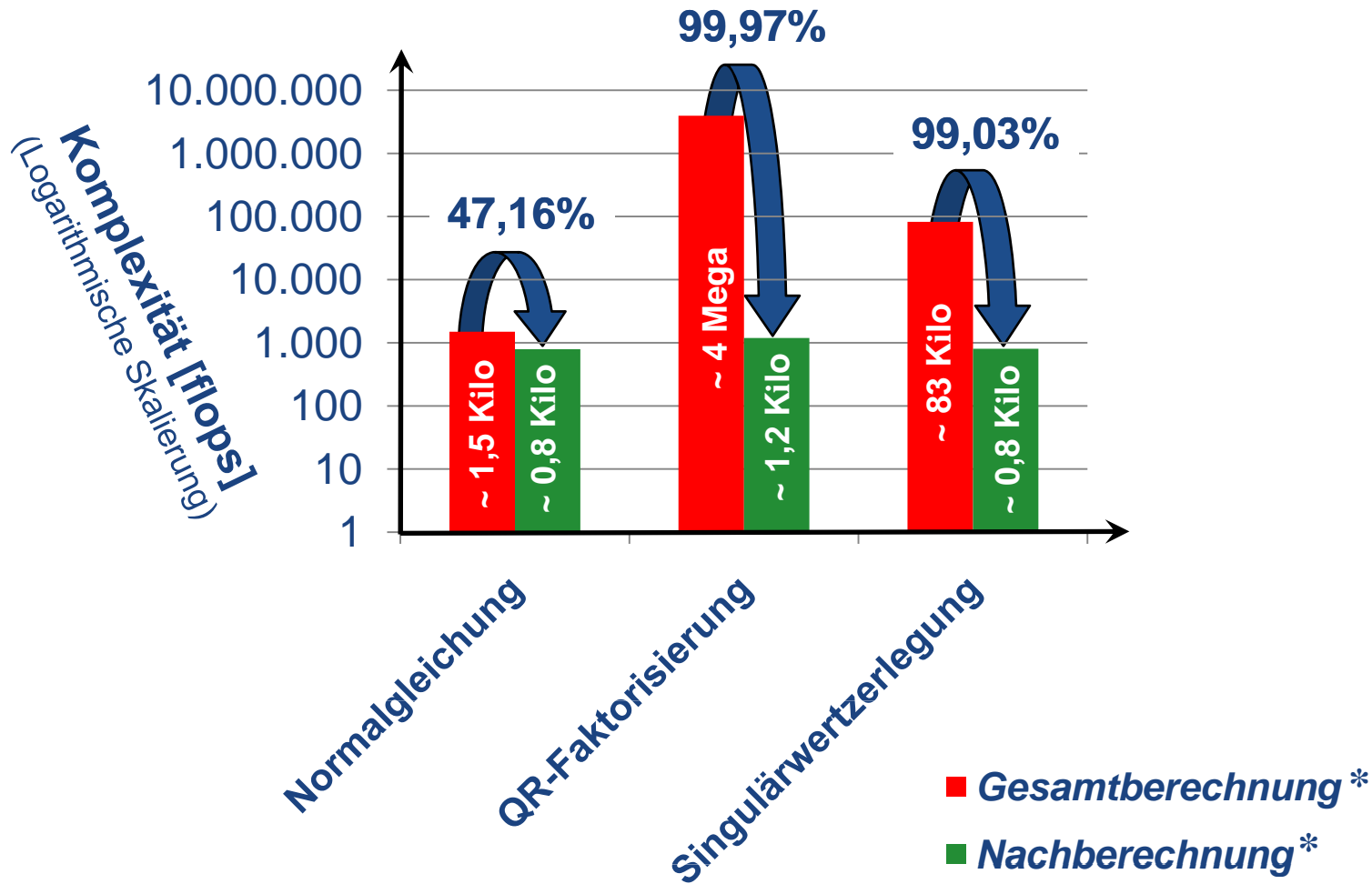
Kommunikation: 

DLS: Vergleich der Komplexitäten

- Was sind die Recheneinsparungen auf jedem einzelnen Sensorknoten?
- **Methode:** Zählung der einzelnen Gleitkommaoperationen (flops)



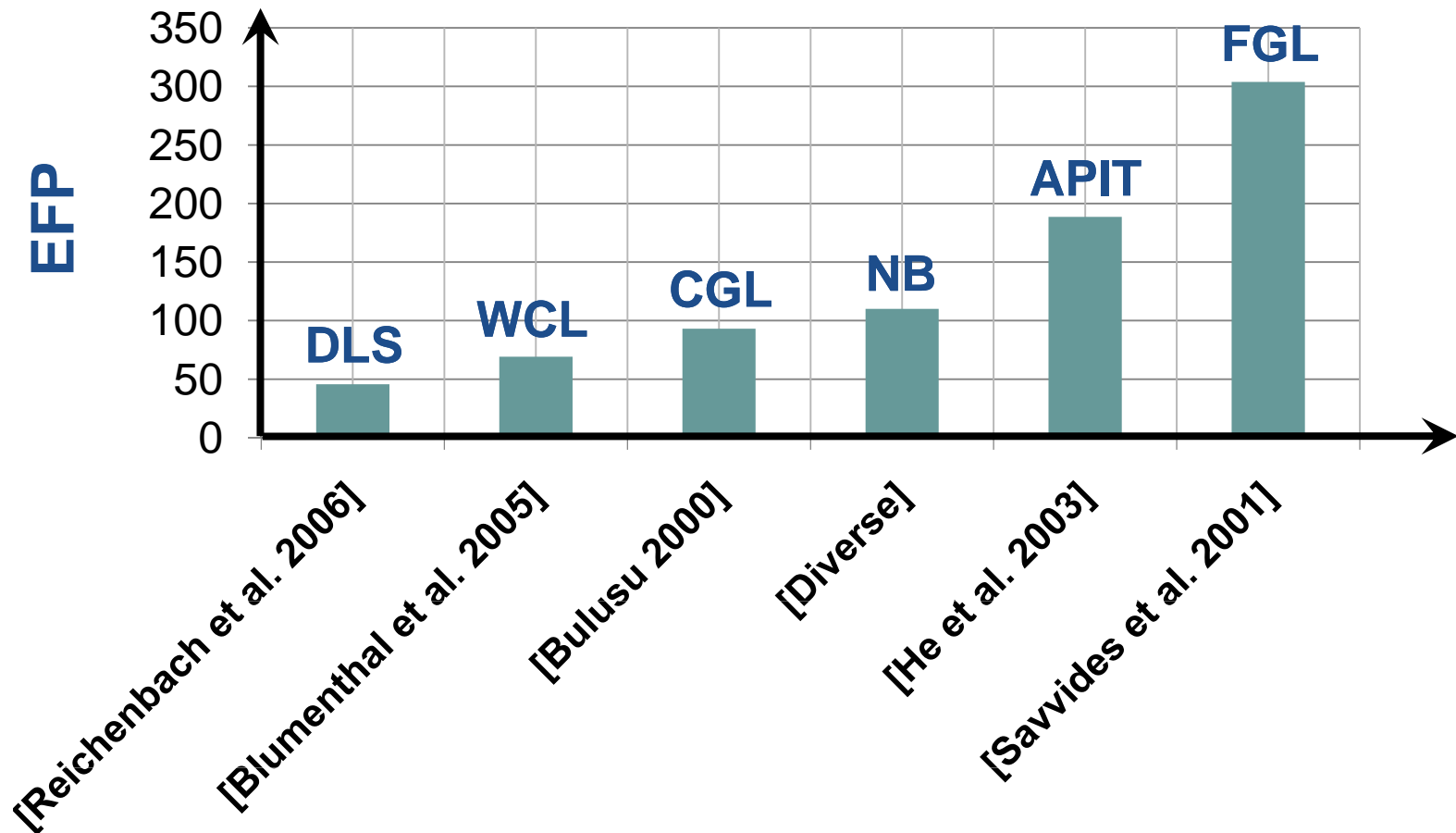
DLS: Vergleich der Komplexitäten



*bei 100 Beacons

DLS: Einordnung in den Stand der Technik

- Definition des Energie-Fehler-Produktes $\rightarrow EFP = E \cdot F$
- Maß für die Qualität von Lokalisierungsalgorithmen





Agenda

- Einführung Geosensornetzwerke
- Herausforderungen bei der Entwicklung von GSNs
- Anwendungen für GSNs
- Lokalisierungsansätze und Techniken zur Distanzbestimmung
- Spezielle Lokalisierungsalgorithmen für GSNs
- **Zusammenfassung und Ausblick**

- **„Distributed Least Squares“ Algorithmus:**
 - **Netzwerkweiter Energieverbrauch:**
 - ~ 86% Reduzierung gegenüber der „Fine Grained Localization“
 - **Einordnung in den Stand der Technik:**
 - **Geringstes EFP (~ 46)** gegenüber etablierten Algorithmen
 - **Praktikabilität:**
 - Lauffähigkeit auf aktueller Plattform gezeigt
- **Ausblick:**
 - **Bessere Distanzmesstechniken zu erwarten (z.B. UWB)**
 - **Erprobung von Algorithmen mit weitaus mehr Sensorknoten nötig**
 - **Messung des tatsächlich aufkommenden Energieverbrauchs wichtig**
 - **Mobilität mit einbeziehen → mehr Informationen, aber auch Probleme**
 - **Dynamisch anpassbare Lokalisierung hinsichtlich Leistung oder Präzision**

- Geosensornetzwerke befinden sich noch im Forschungsstadium
- Erste Geosensornetzwerke mit über 100 Knoten testweise im Einsatz
- Viele Effekte noch gar nicht genau bekannt z.B. Multihopping-Zuverlässigkeit

- Wichtigste Ungelöste Probleme
 - Ökologische Verträglichkeit!
 - Größe und Laufzeit (Energiequelle)
 - Selbstorganisation, -heilung
 - Der Mensch muss sich auf GSNs einlassen können (Negativ-Bsp: Funk zu Hause)

- Meine Meinung:
 - Softwareebene: Algorithmen nehmen an Qualität schon merklich zu
 - Aber auf Hardwareebene:
 - Völlig neue Technologien und Lösungsansätze sind erforderlich
 - Batterien und Schaltkreise die verrotten können → „Smart Dust“
 - Neuronale Netze aus lebenden Zellen → Menschliches Gehirn
 - Kommunikation über biologische Membrane (Schall)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

reichenbachfrank@gmx.de





Publikationen (Auszug)

- Reichenbach, Frank; Timmermann, Dirk: *On Improving the Precision of Localization with Minimum Resource Allocation*. In: **16th International Conference on Computer Communications and Networks, International Workshop on Wireless Mesh and Ad Hoc Networks**, 2007. –Honolulu, Hawaii, USA.
- Reichenbach, Frank; Born, Alexander; Salzmann, Jakob; Timmermann, Dirk; Bill, Ralf: *DLS: A Resource-Aware Localization Algorithm with High Precision in Large Wireless Sensor Networks*. In: **4th Workshop on Positioning, Navigation and Communication**, 2007. – Hannover, Deutschland.
- Reichenbach, Frank; Timmermann, Dirk: *Indoor Localization with Low Complexity in Wireless Sensor Networks*. In: **4th International IEEE Conference on Industrial Informatics**, 2006. – Singapur
- Reichenbach, Frank; Born, Alexander; Timmermann, Dirk; Bill, Ralf: *Splitting the Linear Least Squares Problem for Precise Localization in Geosensor Networks*. In: **GIScience**, 2006. – Münster, Deutschland.
- Reichenbach, Frank; Born, Alexander; Timmermann, Dirk; Bill, Ralf: *A Distributed Linear Least Squares Method for Precise Localization with Low Complexity in Wireless Sensor Networks*. In: **2nd IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems**, Springer Verlag, Juni 2006. – San Francisco, USA.



Referenzierte Publikationen

- [Tröster et al. 2006]: Tröster; Kirstein: *Power and Energy*. **Wearable Systems 2 Vorlesung SS 2006**, ETH Zürich.
- [Reichenbach et al. 2006]: Reichenbach, Frank; Timmermann, Dirk: *Indoor Localization with Low Complexity in Wireless Sensor Networks*. **4th International IEEE Conference on Industrial Informatics**, 2006. – Singapur
- [Tyan et al. 2002]: Tyan, Hung-Ying: *Design, Realization, and Evaluation of a Component-Based Compositional Software Architecture For Network Simulation*. **PhD thesis**, Ohio State University, 2002
- [Press et al. 1992]: Press, W.H. ; Teukolsky, S.A. ; Vetterling, W.T. ; Flannery, B.P.: *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*. **Cambridge University Press**, 1992, ISBN 0521437148
- [Reichenbach et al. 2006]: Frank Reichenbach, Alexander Born, Dirk Timmermann, Ralf Bill: *A Distributed Linear Least Squares Method for Precise Localization with Low Complexity in Wireless Sensor Networks*. **2nd IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems**, LNCS 4026, pp. 514 - 528, ISBN: 978-3-540-35227-3, San Francisco, USA, 2006
- [Blumenthal et al. 2005]: Jan Blumenthal, Frank Reichenbach, Dirk Timmermann: *Precise Positioning with a Low Complexity Algorithm in Ad hoc Wireless Sensor Networks*. **PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation**, Vol.28 (2005), Journal-Edition No. 2, S.80-85, ISBN: 3-598-01252-7, Saur Verlag, Deutschland, 2005
- [Bulusu 2000]: Bulusu, N.: *GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices*. **IEEE Personal Communications Magazine**, 7 (2000), S. 28–34
- [He et al. 2003]: He, T. ; Huang, C. ; Blum, B.M. ; Stankovic, J.A. ; Abdelzaher, T.: *Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks*. **9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking** 2003. – San Diego, CA, USA, S. 81–95
- [Savvides et al. 2001]: Savvides, A. ; Han, C.-C. ; Srivasta, M.B.: *Dynamic fine grained localization in ad-hoc networks of sensors*. **7th ACM MobiCom**, 2001. – Rom, Italien, S. 166–179