

Seminar Sensornetze

Lokation

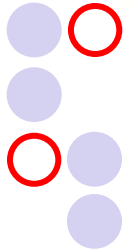
Andreas Diener

Betreuerin Svetlana Domnitcheva

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Motivation

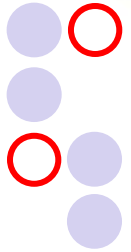


Das Auto ist bei mir.
Aber wo bin ich?

- Überwachungs-Anwendungen
- kontextsensitive Anwendungen
- Dienstleistungs-Protokoll

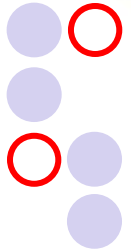
Ziel: Sensorknoten mit einer gewissen Genauigkeit zu orten

Ziel



- Voraussetzungen
- Erreichbare Genauigkeit
- Existierende Methoden
- Probleme

GPS ?

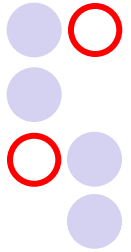


Wieso nicht einfach jeden Knoten mit GPS ausrüsten?

- Kommunikation mit Satelliten
- hoher Energieverbrauch
- teuer

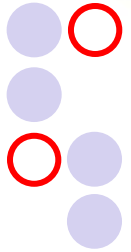


Techniken/Werkzeuge



- Radio Frequenz Signal
 - Signalstärke
- akustische Signale
 - Signalstärke
 - Signallaufzeit
- optische Signale
 - Laser
 - Kamera

Überblick



Lokation in Sensornetzen

grob

Nachbarschaft

2 Knoten können
kommunizieren

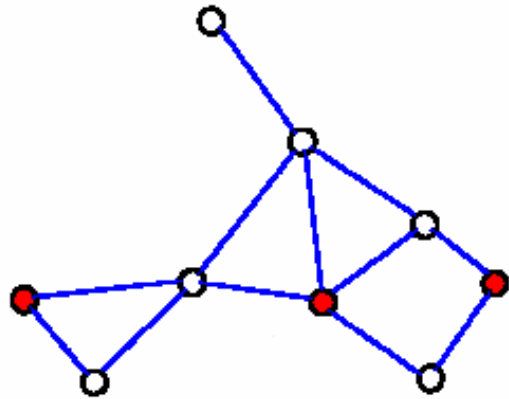
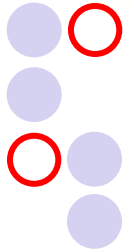
fein

Distanz

Richtung

zentraler und verteilter Ansatz möglich

Grobe Positionierung: zentrale Berechnung



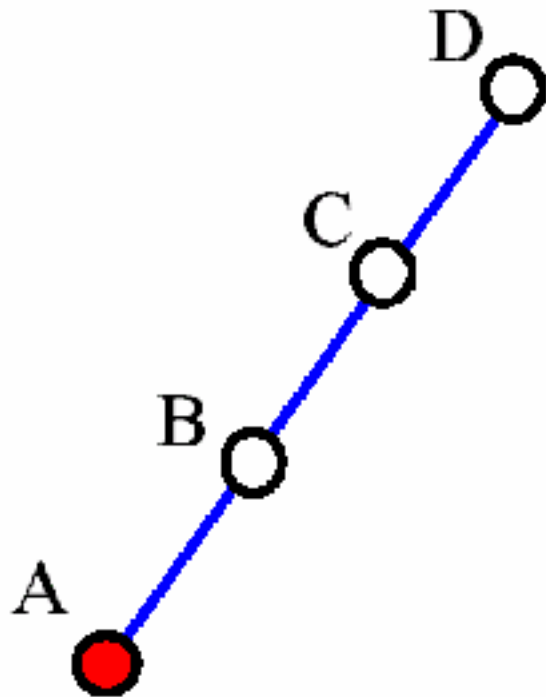
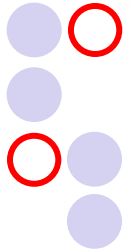
- bekannte Positionen
- unbekannte Positionen
- Nachbarschaftsbeziehung bekannt

- zentrale Berechnung
- globale Sicht
- Nebenbedingungen durch Nachbarschaft



"Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks"
Doherty, Pister, Ghaoui

Problem



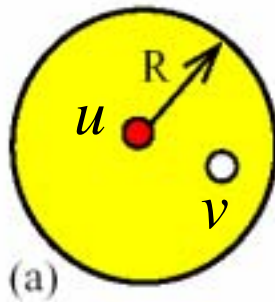
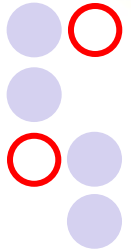
Positionen

- bekannte Positionen
- unbekannte Positionen
- Nachbarschaftsbeziehung bekannt



mögliche Lösung

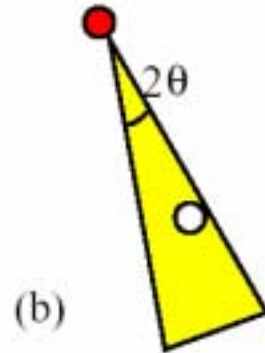
Kommunikations-Geometrie



(a)

$$\|u - v\| \leq R$$

(a) Radial



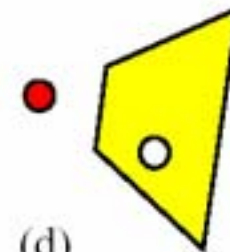
(b)

(b) Winkel



(c)

(c) Quadrant

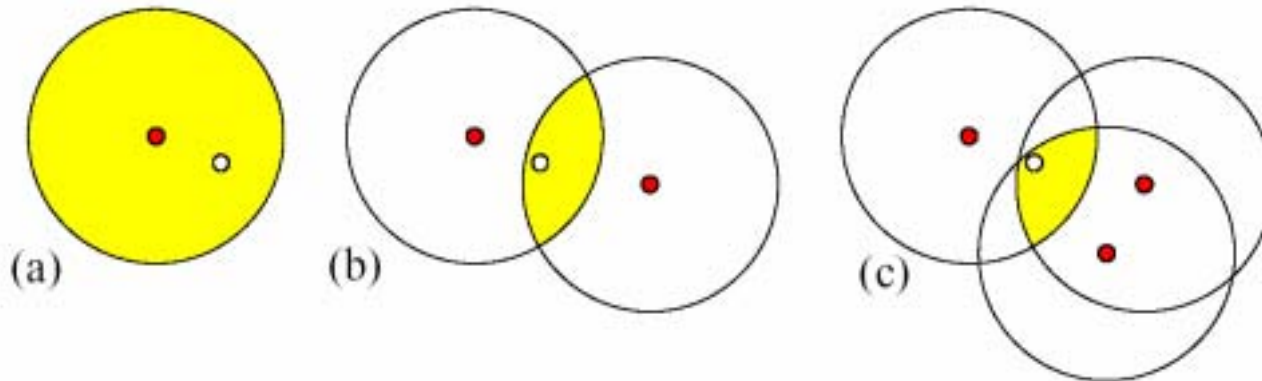
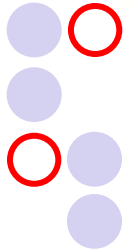


(d)

(d) Trapezoid

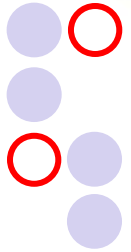
Annahme: konvexe Nebenbedingungen

Mehrere Nebenbedingungen

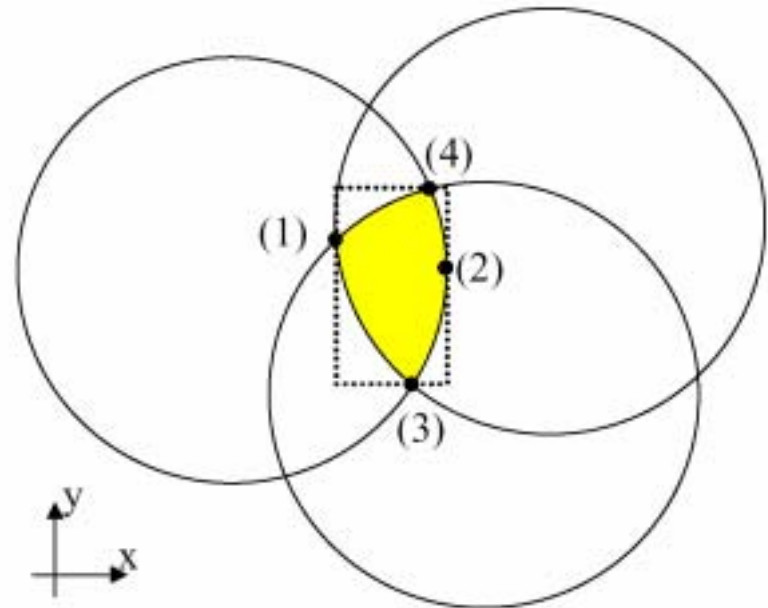


Zusätzliche Nebenbedingungen schränken die mögliche Resultatmenge nach und nach ein.

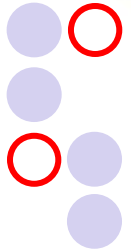
Verbesserung der Positionsabschätzung



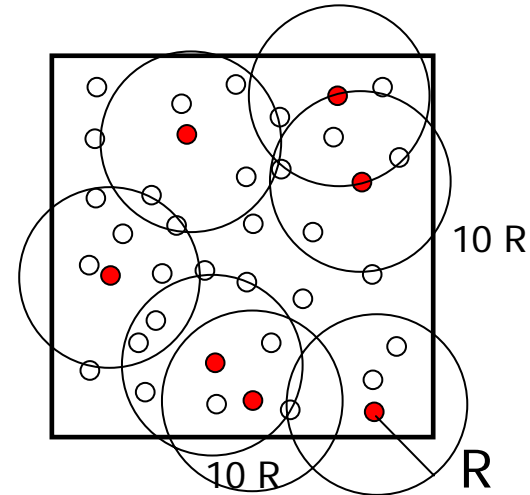
- Mittelpunkt des möglichen Vierecks
- Zeit ungefähr * 4



Simulationen



- Testnetzwerk:
 - 10R Seitenlänge
 - 200 Knoten
 - zufällige Platzierung
 - Definition des Fehlers:

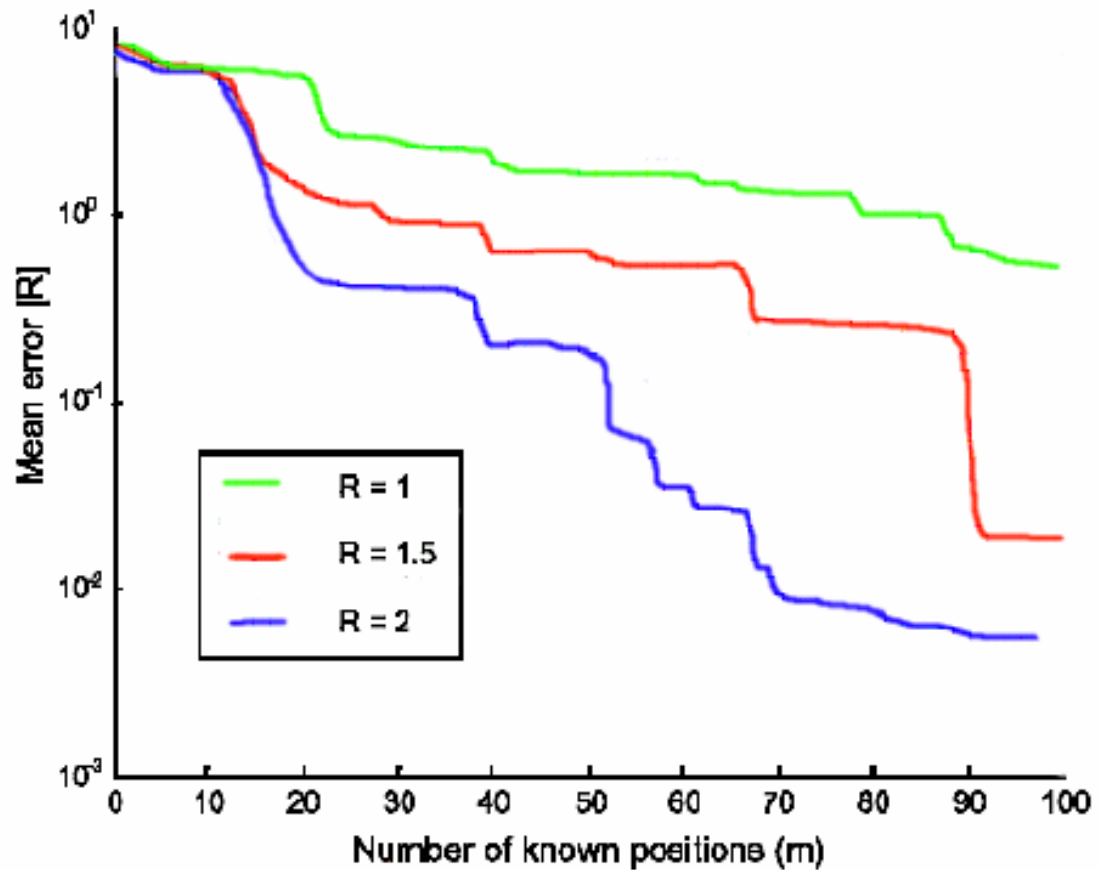
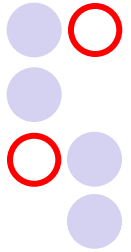


$$e = \frac{1}{n - m} \sum_{i=m+1}^n \| x_{est}^i - x_{real}^i \|_2$$

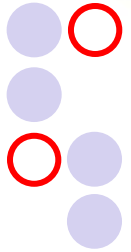
n .. Anzahl Knoten

m .. Anzahl Knoten bekannter Position

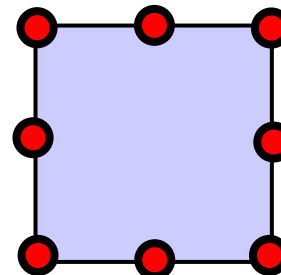
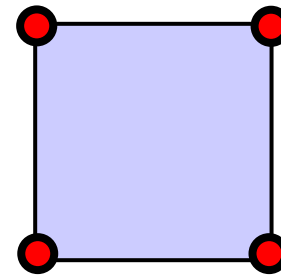
Fehler vs. Knotendichte



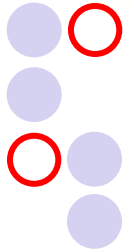
Intelligente Auswahl der Knoten mit bekannter Position



- Referenzknoten am Rande des Netzes wählen:
 - 4 Knoten in den Ecken:
mittlerer Fehler
 $2.4R \rightarrow 1.2R$
 - zusätzlich auch Mittelpunkte der Ränder:
mittlerer Fehler
 $1.7R \rightarrow 0.72R$

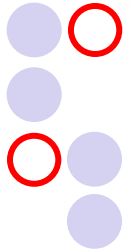


Ergebnisse



- zentrale Berechnung
- abstrakte Methode
- Nachrichtenverkehr nicht in Betracht gezogen
- Energie-Aspekte nicht berücksichtigt
- skalierbar (100 – 1000 Knoten)
- Qualität der Lösung:
 - Position der Referenzknoten ist wichtig!
 - Knotendichte bringt signifikante Verbesserung

Grobe Positionierung: verteilte Berechnung



- Referenzknoten übermitteln periodisch ein Beacon-Signal
- Knoten bestimmen Ihre Position im Schwerpunkt der bekannten Nachbarschaft
- Berechnung der Position:

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_{i_1} + \dots + X_{i_k}}{k}, \frac{Y_{i_1} + \dots + Y_{i_k}}{k} \right)$$

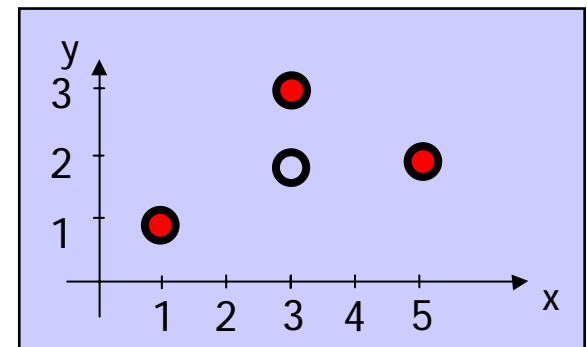
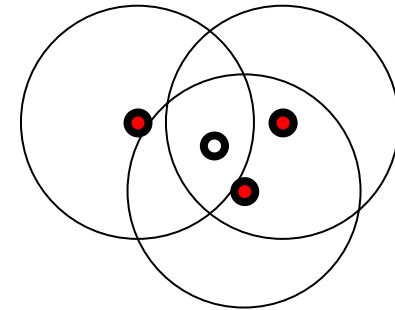
- Fehler:

$$E = \sqrt{(X_{est} - X_a)^2 + (Y_{est} - Y_a)^2}$$

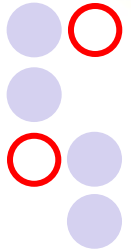
(X_{est}, Y_{est}) ... berechnete Position

(X_a, Y_a) ... Position

k ... Anzahl Knoten



Eigenschaften

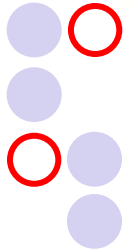


- RF-basierend (idealisiertes Modell)
- Empfänger berechnet seine Position
 - > skaliert gut
 - > braucht wenig Energie
- Ad-hoc, keine Infrastruktur

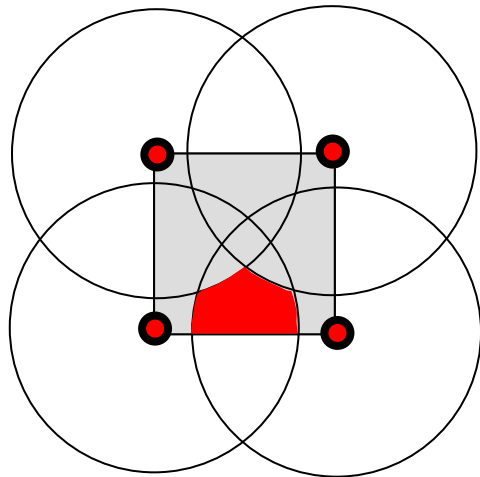


"GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices"
Bulusu, Heidemann, Estrin

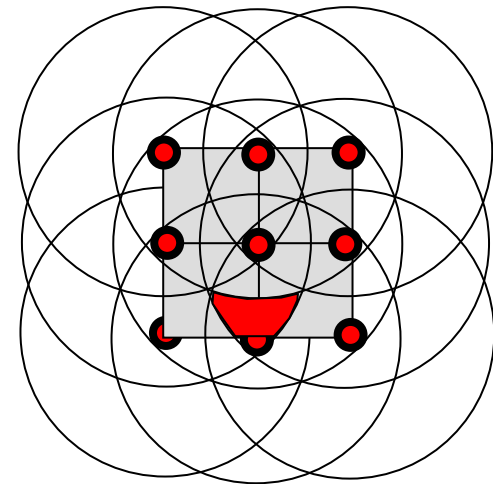
Genauigkeit



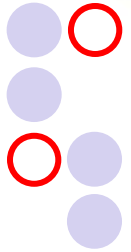
- Abstand zweier Referenzpunkte
- Reichweite des Signals



Knotendichte
erhöhen

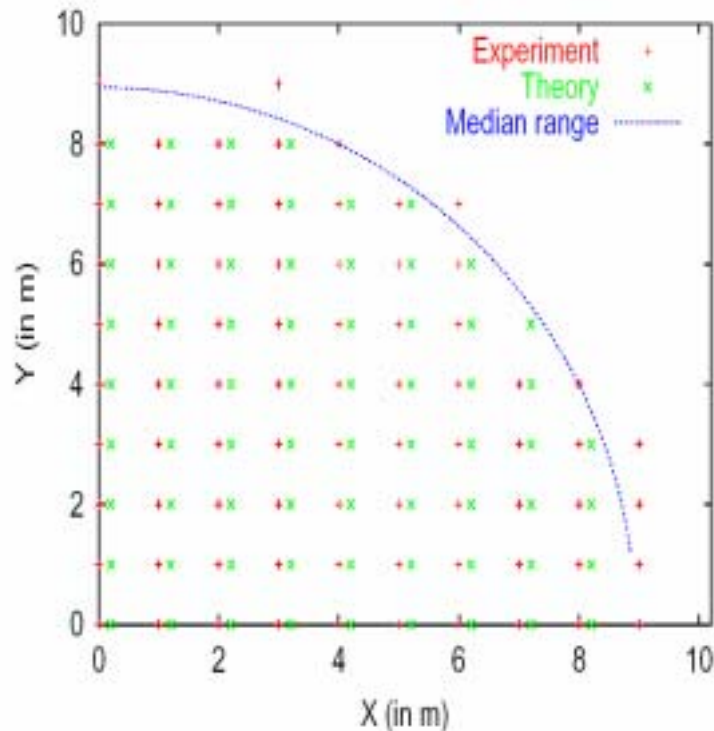
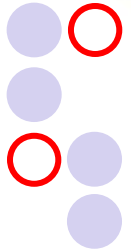


Testbedingungen



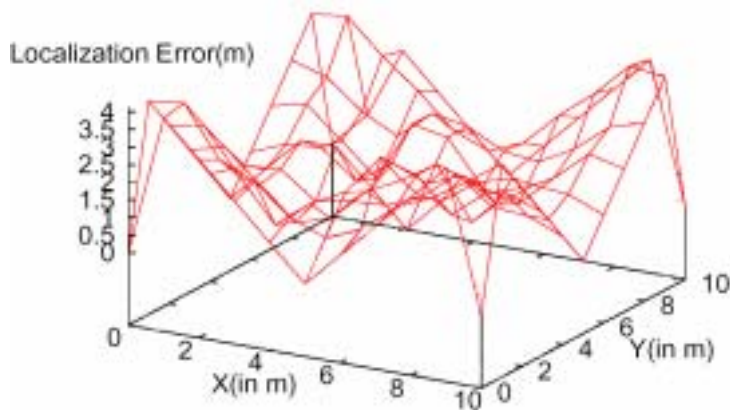
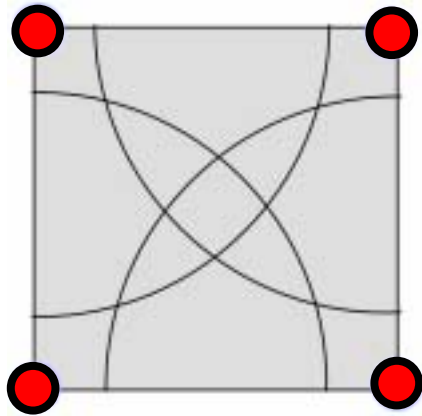
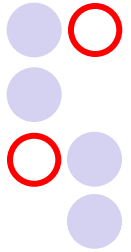
- im Gebäude:
 - Reflektion und Absorption
 - unbrauchbar
- im Freien:
 - Sender in Ecken eines leeren Parkplatzes
 - 10 x 10 m Quadrat, unterteilt in 100 1 x 1 m Quadrate

Testresultate



- 68 Punkte richtig (87%)
- 10 Fehler, alle am Rande
- Fehler nie grösser als 2m
- keine 'Löcher'

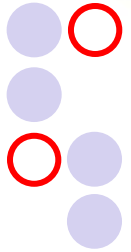
Testresultate



- Lokalisations-Fehler
- im Schwerpunkt gering
- steigt bei den Ecken an

- avg: 1.84 m
- min: 0 m
- max: 4.12 m

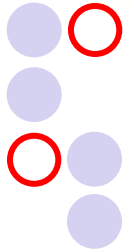
Offene Fragen



- Kollisionen
- Energie
- nicht uniformverteilte Referenzpunkte
- Fehlertoleranz
- Anpassung an störendes Rauschen
- Konfiguration der Referenzpunkte

Zusammenfassung

Grobe Positionierung



zentral

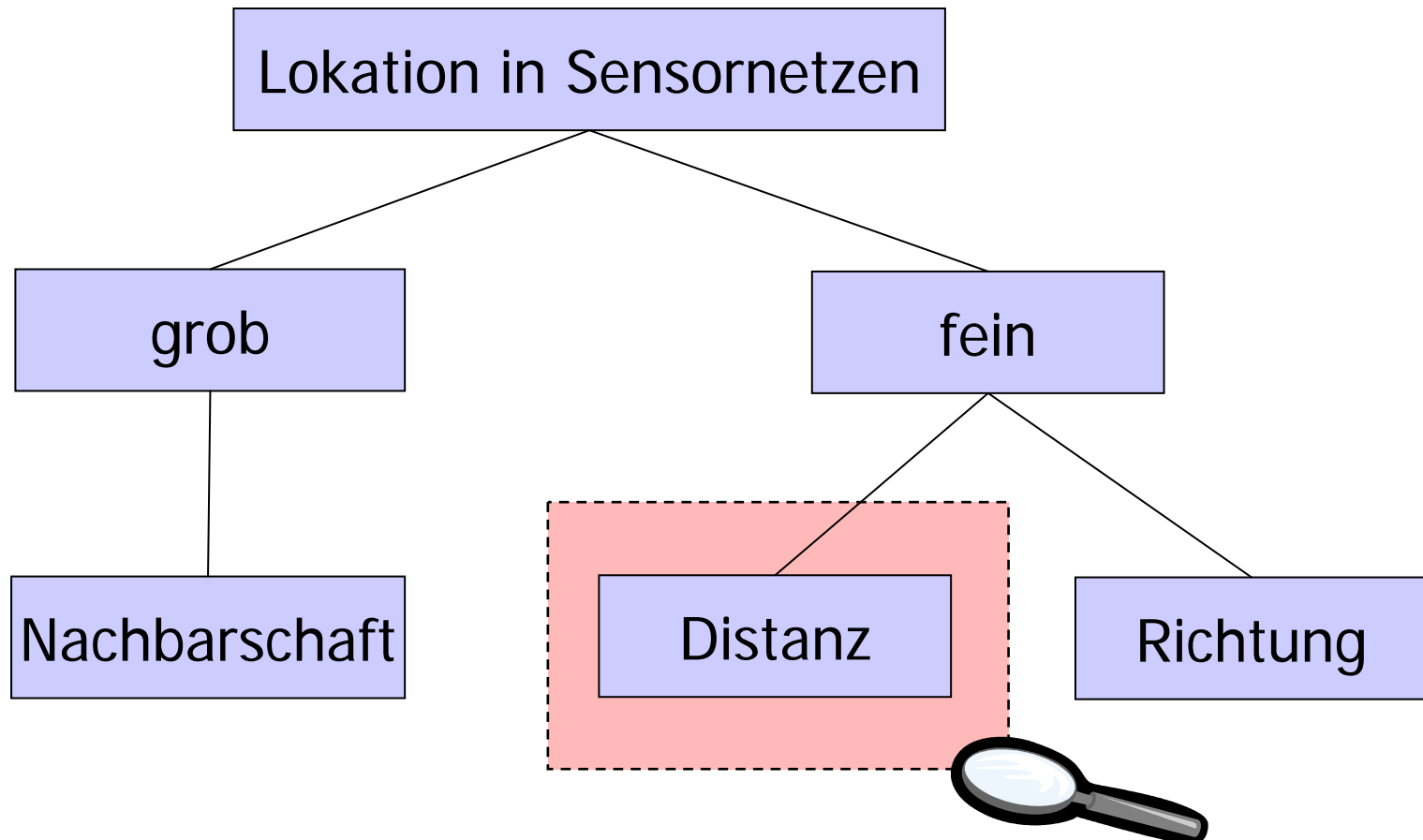
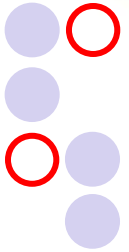
- zentrale Instanz notwendig
- drinnen und draussen

verteilt

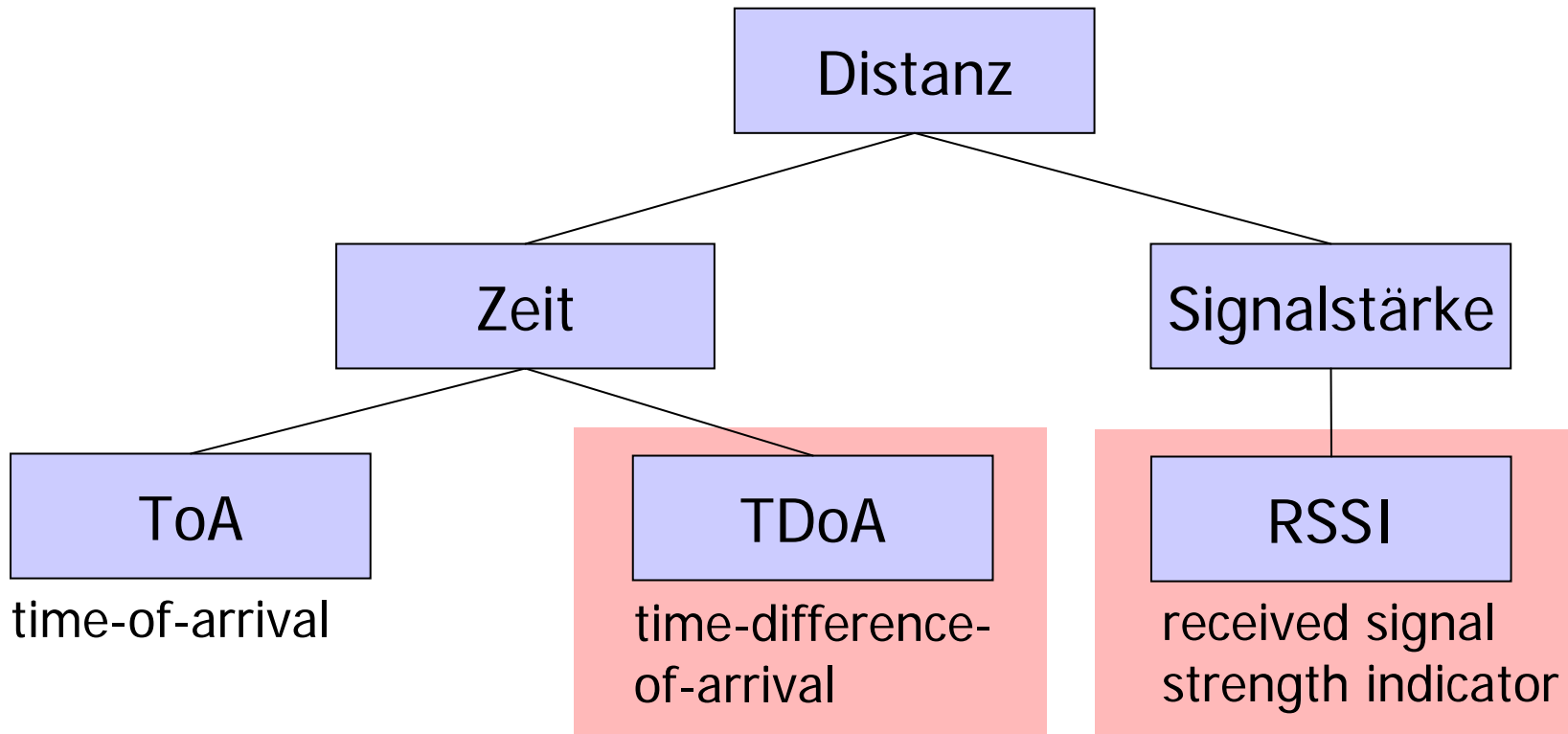
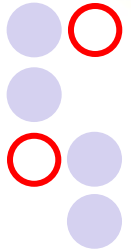
- keine Koordination und Konfiguration notwendig
- draussen
- RF-basierend
- kleine, billige Knoten

- einfache Prinzipien
- skalierbar

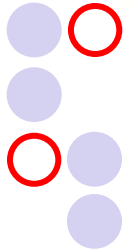
Überblick



Überblick



Feine Positionierung: verteilte & zentrale Berechnung

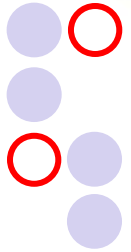


- AHLoS Methode (**A**d-**H**oc **L**ocalization **S**ystem)
- feine Lokalisation (Distanz, ToA)
- Genauigkeit von wenigen cm
- funktioniert ähnlich wie GPS
- RF and Ultraschall
- keine Infrastruktur
- verteilt

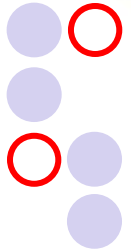


"Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors"
Savvides, Han, Strivastava

AHLoS - Methode



- Referenzknoten mit bekannter Position
- Protokoll:
 - Phase 1: Distanzmessung
 - Distanz zu Referenzpunkten wird ermittelt
 - Phase 2: Kombination
 - Aus Position der Referenzpunkte und Distanzen wird eigene Position berechnet
 - Phase 3: Referenzknoten
 - Der Knoten wird Referenzknoten



Distanzmessung

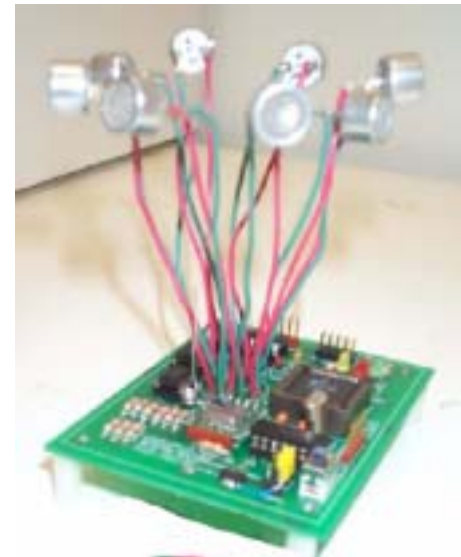
- 2 Methoden wurden getestet:

1) RF-Radio



WINS Sensor Knoten

2) Ultraschall



MEDUSA Knoten

Phase 1: Distanzmessung

Distanzmessung

- 2 Methoden wurden getestet:

1) RF-Radio

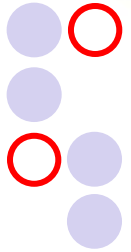


WINS Sensor Knoten

Griechische Mythologie



MEDUSA Monster



Distanzmessung

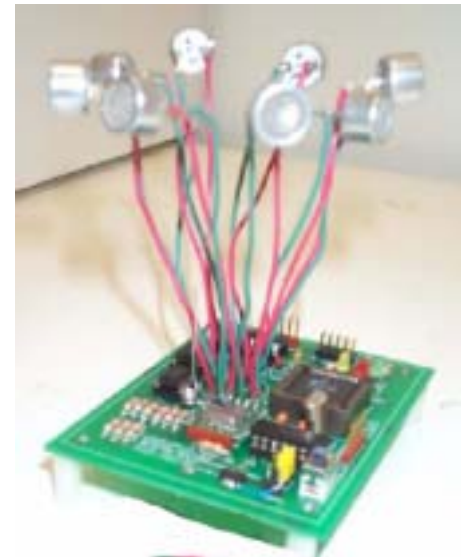
- 2 Methoden wurden getestet:

1) RF-Radio

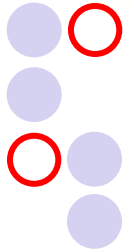


WINS Sensor Knoten

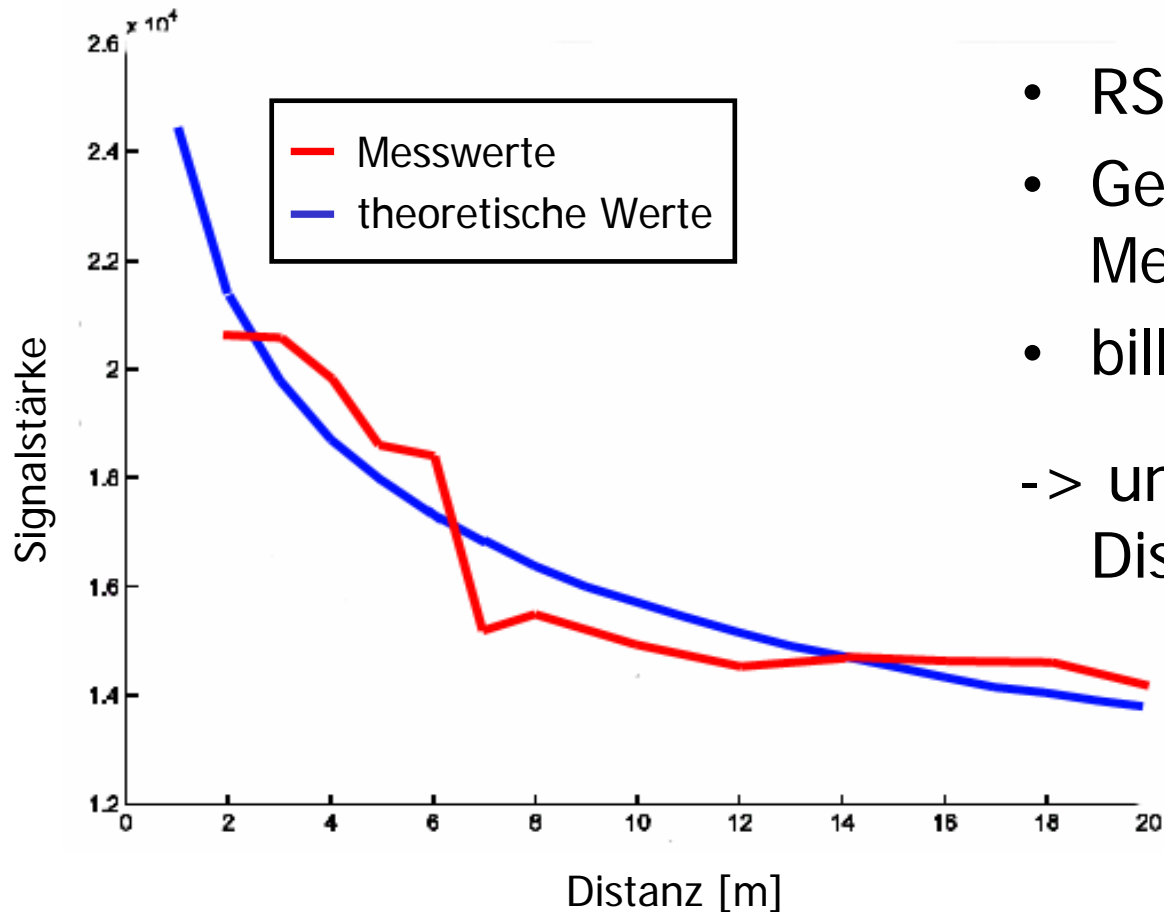
2) Ultraschall



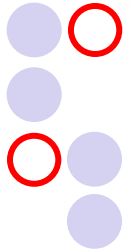
MEDUSA Knoten



RF - Signalstärke

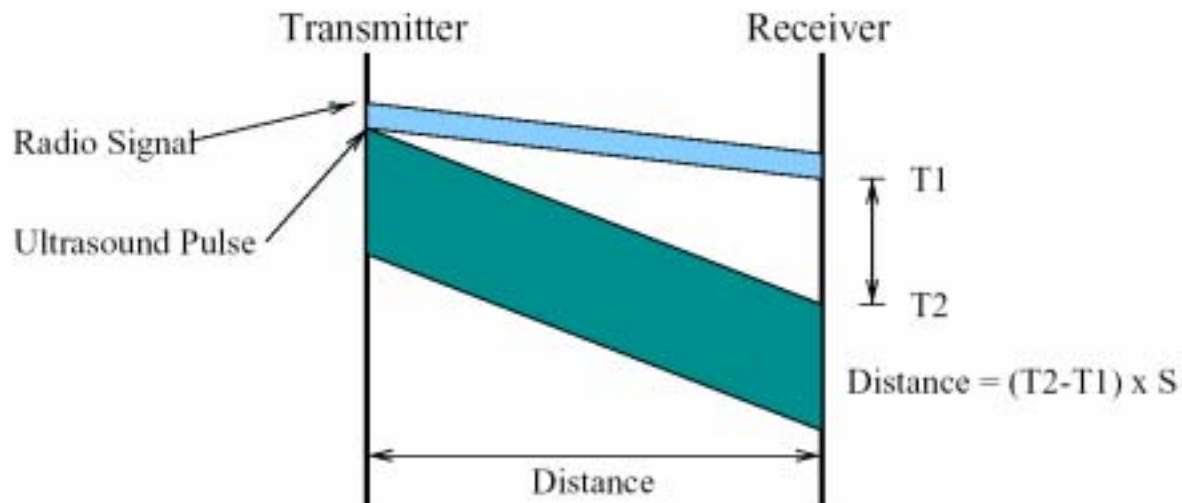


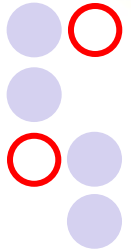
- RSSI - Dämpfung
 - Genauigkeit von einigen Metern
 - billige RF Radios
- > ungenügend für Distanzmessung



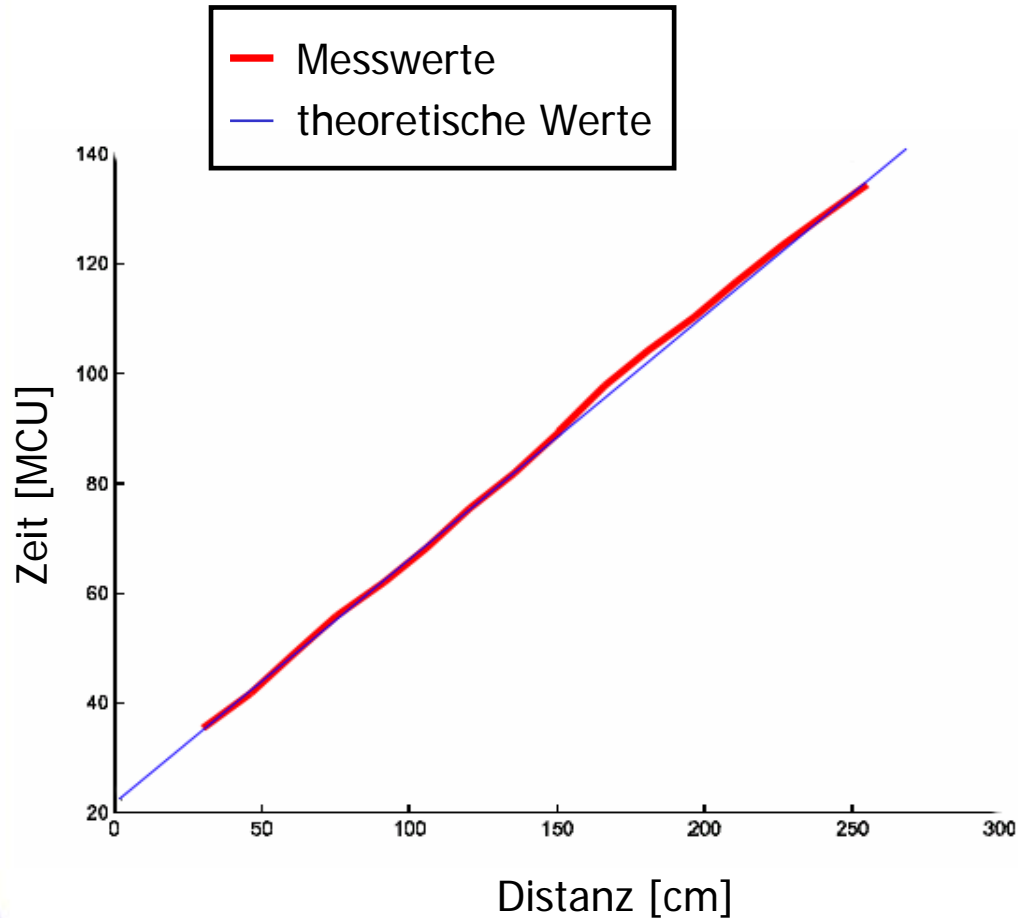
Ultraschall

- TDoA: Zeitdifferenz zwischen RF und Ultraschall - Signal
- Medusa Knoten
- Reichweite 3 m





Ultraschall



+ Genauigkeit von 2cm

- Hindernisse

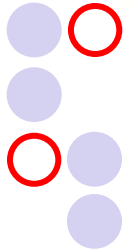
- Reflektionen

-> Medusa ist der Gewinner!!

- zuverlässiger

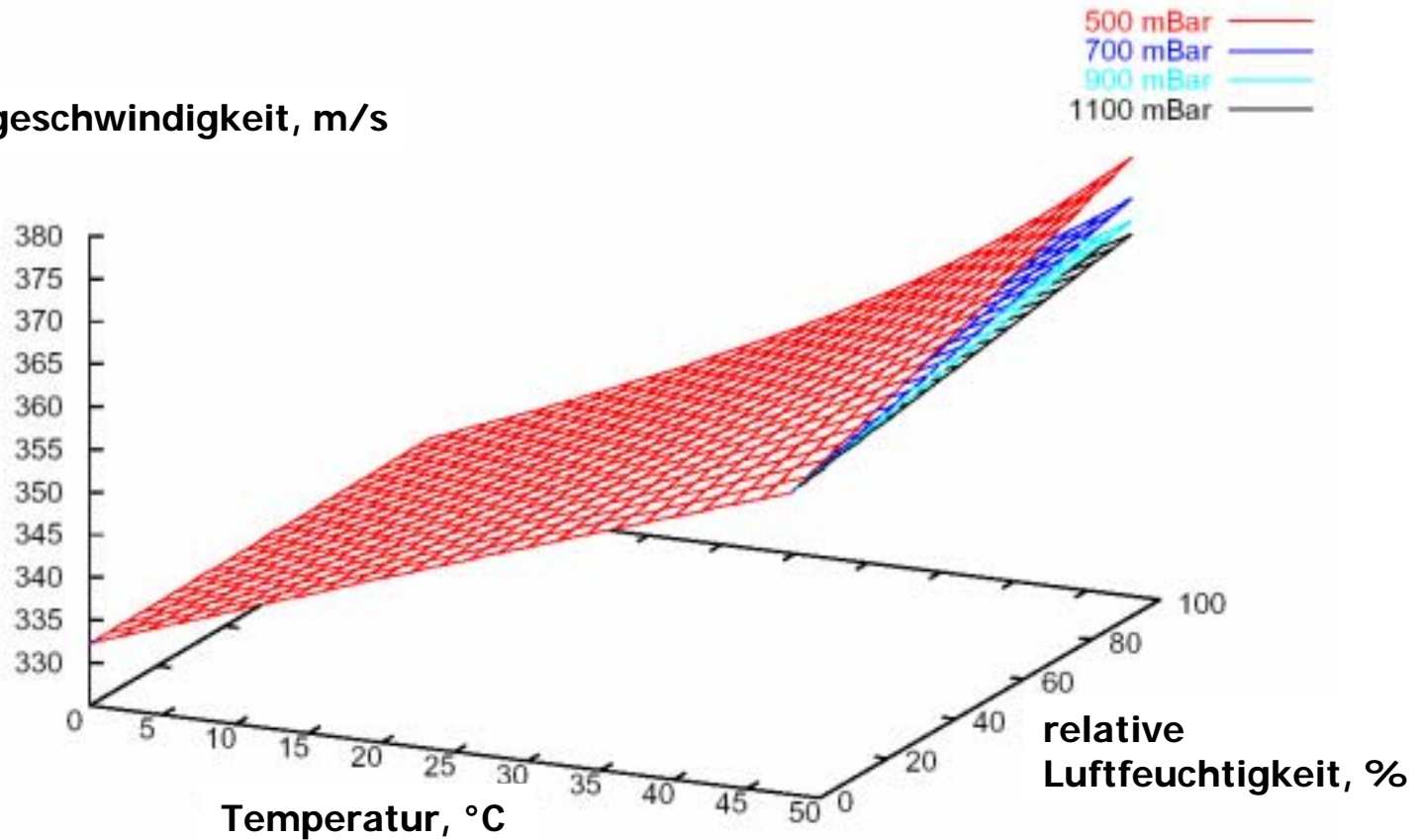
- genauer

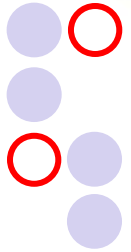
- robuster



Schallgeschwindigkeit

Schallgeschwindigkeit, m/s



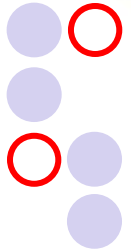


Atomare Multilateration

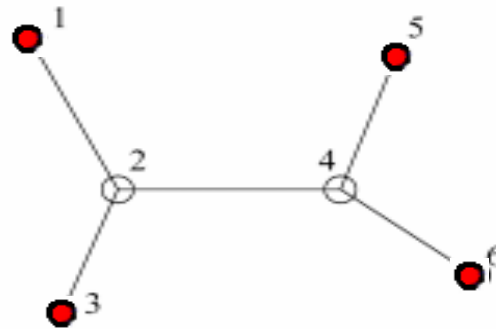


- Gleichungssystem aufstellen
- mit Maximum Likelihood Methode Position bestimmen
-> minimaler Fehler

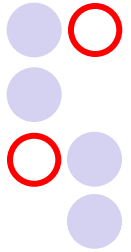
Für die atomare Multilateration muss der Knoten in der Nachbarschaft von min. 3 Referenzknoten sein.



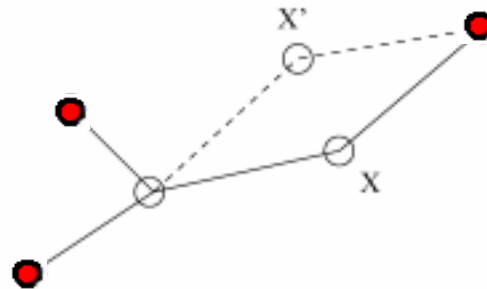
Kollaborative Multilateration



- Gleichungssystem aufstellen:
 - eine Gleichung für jede Kante -> 5 Gleichungen
- lösen mit einer Optimierungsmethode wie simulated annealing

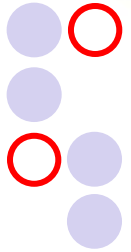


Problem



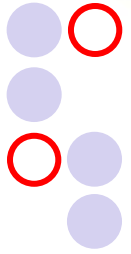
- in diesem Fall gibt es mehrere möglich Lösungen

Ein Knoten kann an einer kollaborativen Multilateration teilnehmen, wenn er Referenzknoten ist oder wenn er mindestens drei Nachbarn hat, die entweder Referenzknoten sind oder mindestens drei teilnehmende Nachbarn haben.



Iterative Multilateration

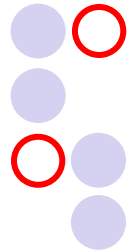
- Bausteine:
 - Atomare Multilateration (prioritär)
 - Kollaborative Multilateration
- Berechnung:
 - völlig verteilt
 - teilweise verteilt (Cluster)
 - zentral



Iterative Multilateration

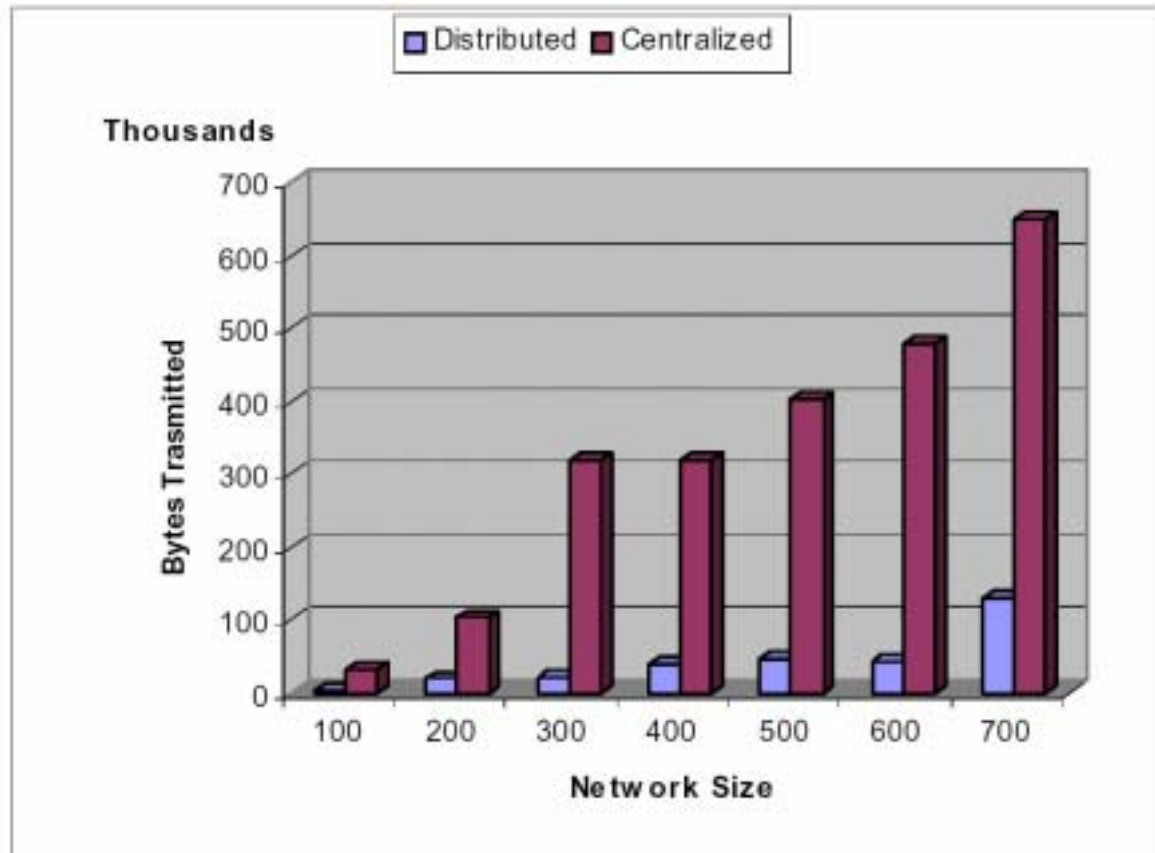
zentrale vs. verteilte Berechnung

- + Algorithmus recht aufwendig
- Routing zu zentralem Knoten
- Änderungen werden nicht sofort beachtet
- erhöhter Energieverbrauch um das Zentrum
- anfällig

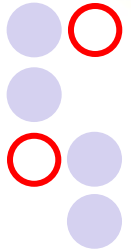


Iterative Multilateration

zentrale vs. verteilte Berechnung

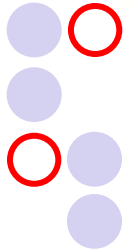


Zusammenfassung AHLoS - Methode

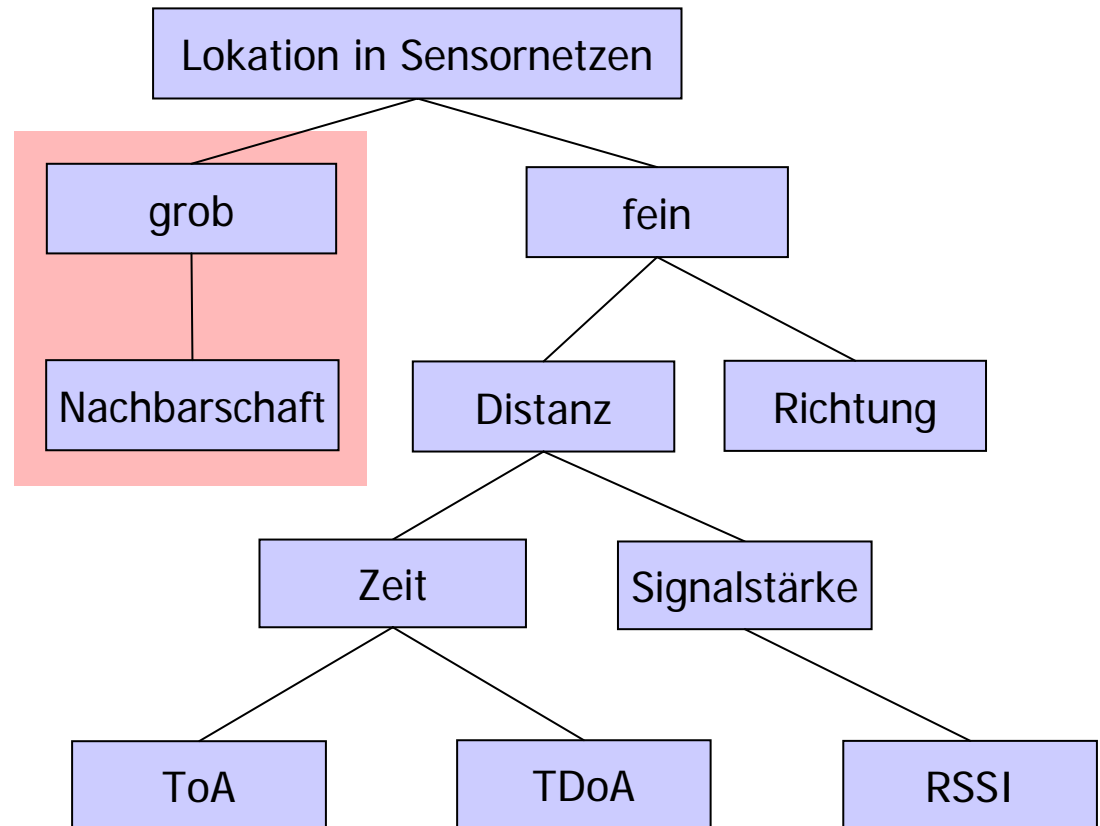


- wenige Zentimeter Genauigkeit
- Ultraschall besser als RF
- verteilte Berechnung besser als zentrale Berechnung
- Berechnung aufwendig
- Positionsschätzungen sind fehlerhaft
 - > Fehler dürfen sich nicht durchs Netz propagieren

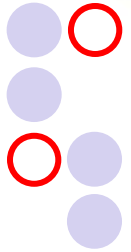
Rückblick



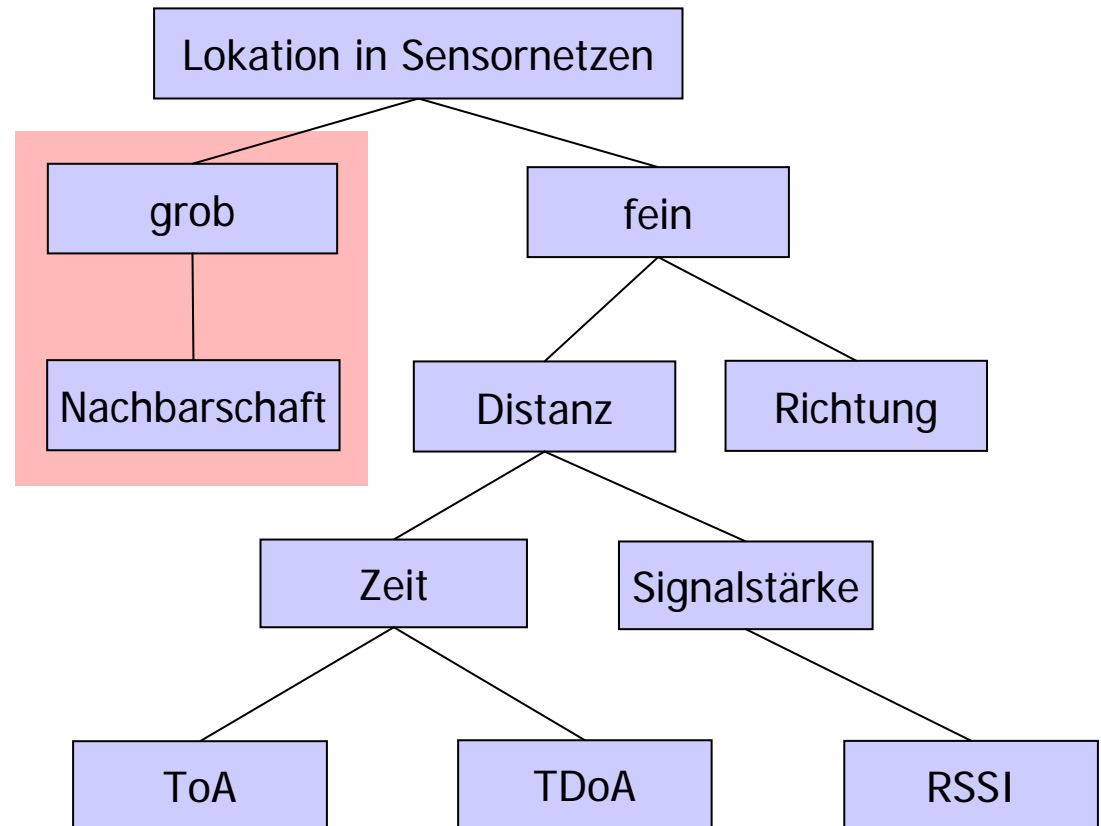
1) grob, zentral



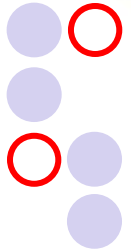
Rückblick



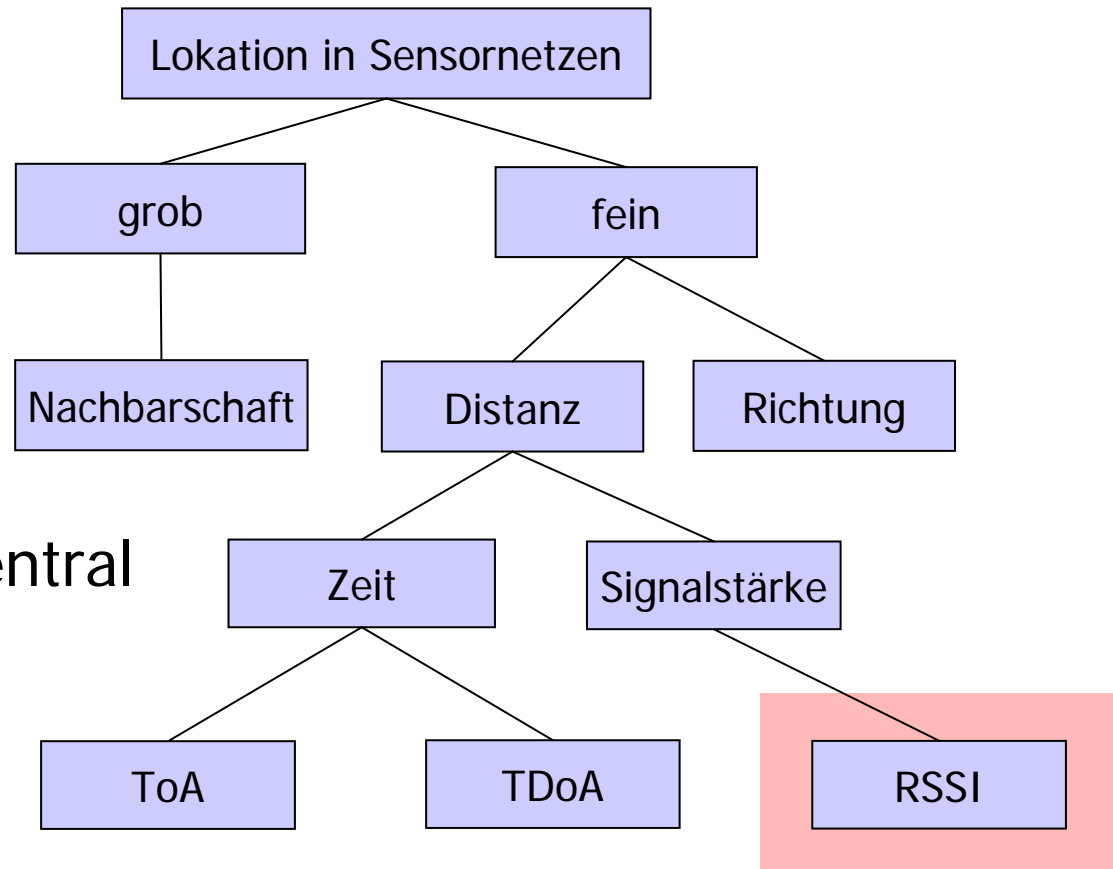
- 1) grob, zentral
- 2) grob, verteilt



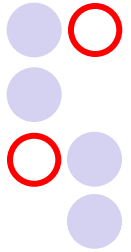
Rückblick



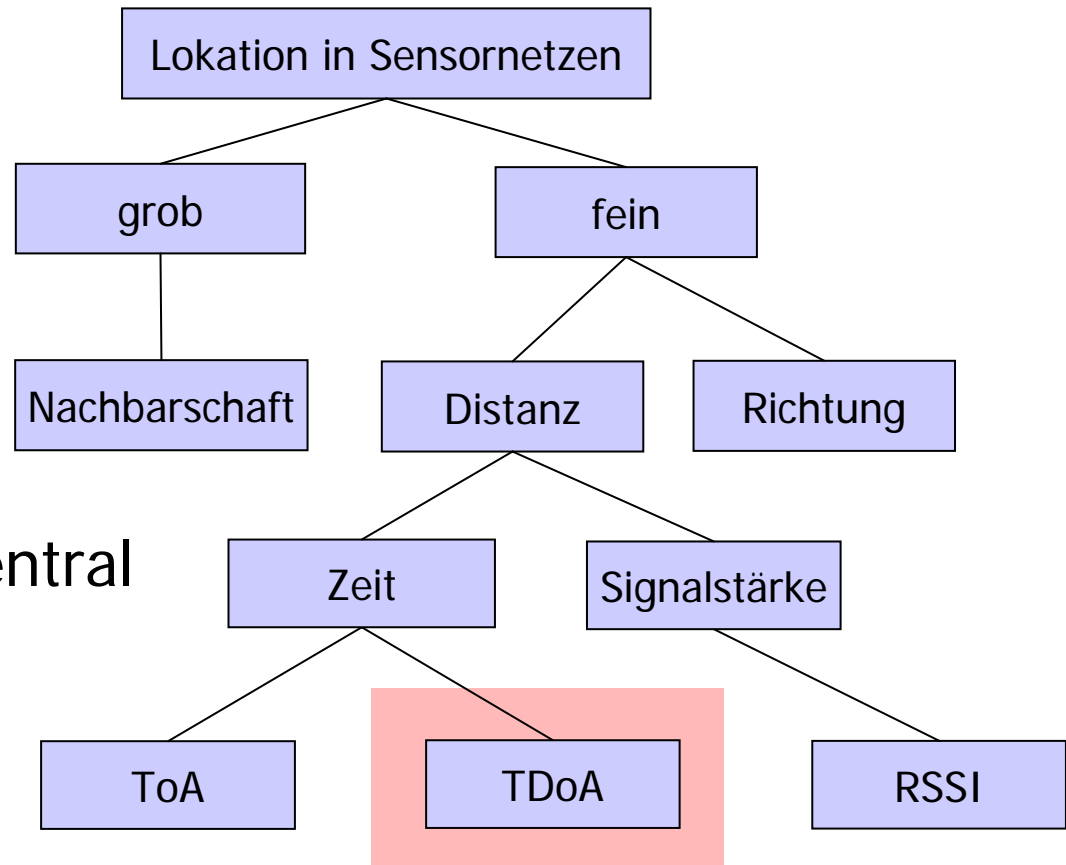
- 1) grob, zentral
 - 2) grob, verteilt
 - 3) fein, verteilt und zentral
- AHLoS
- WINS



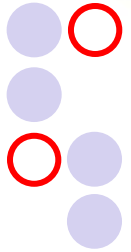
Rückblick



- 1) grob, zentral
 - 2) grob, verteilt
 - 3) fein, verteilt und zentral
- AHLoS
- WINS
 - Medusa

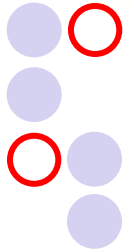


Ziel erreicht ?



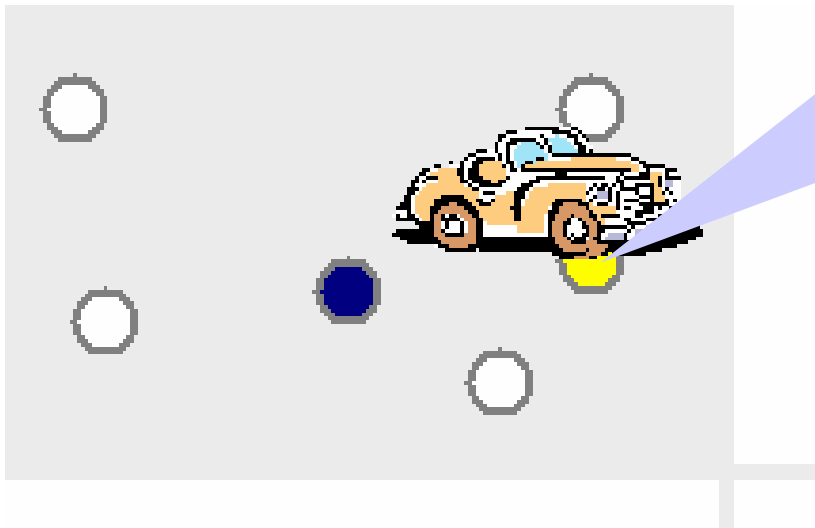
- Voraussetzungen
 - Referenzknoten
 - Kommunikation
 - Berechnung
- Erreichbare Genauigkeit
 - mehrere Meter bis wenige Zentimeter
- Existierende Methoden
 - feine und grobe Positionierungsmethoden
 - Beispiel AHLoS
- Probleme
 - aufwendig
 - Trade-off: Aufwand vs. Genauigkeit

Ziel erreicht !!!

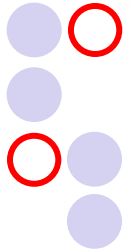


Das Auto ist bei mir.

Position: $x=45.56$
 $y=14.02$



Quellen



- N. Bulusu, J. Heidemann, D. Estrin, *"GPS-less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices"*, Department of Computer Science, University of Southern California, Apr. 2000
- A. Savvides, C. Han, M. B. Strivastava, *"Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors"*, Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, Jan. 2001
- L. Doherty, K. S. J. Pister, L. El Ghaoui, *"Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks"*, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, Apr. 2001
- L. Girod, D. Estrin, *"Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal Sensing"*, Department of Electrical Engineering, University of California, Los Angeles, Mar. 2001