

Parameteroptimierung grobkörniger Positionierungsalgorithmen in Sensornetzwerken

Jan Blumenthal, Frank Reichenbach,
Dirk Timmermann
Universität Rostock

11. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
Rostock, 04. Juni 2004



Gliederung

- Einführung
- Coarse Grained
 - Fehler- und Energiebetrachtungen
 - Optimale Übertragungsbereichweite
 - Power-Error Produkt
- Zusammenfassung

Positionsbestimmung

Warum Positionsbestimmung ?

- Knoten werden zufällig verteilt
- Messergebnis muss dem Ort der Messung zugeordnet werden
- Voraussetzung für lokationsabhängige Dienste



Wo ist das Leck?



Hierarchie in Sensornetzwerken

- Basisstation/Gateway:

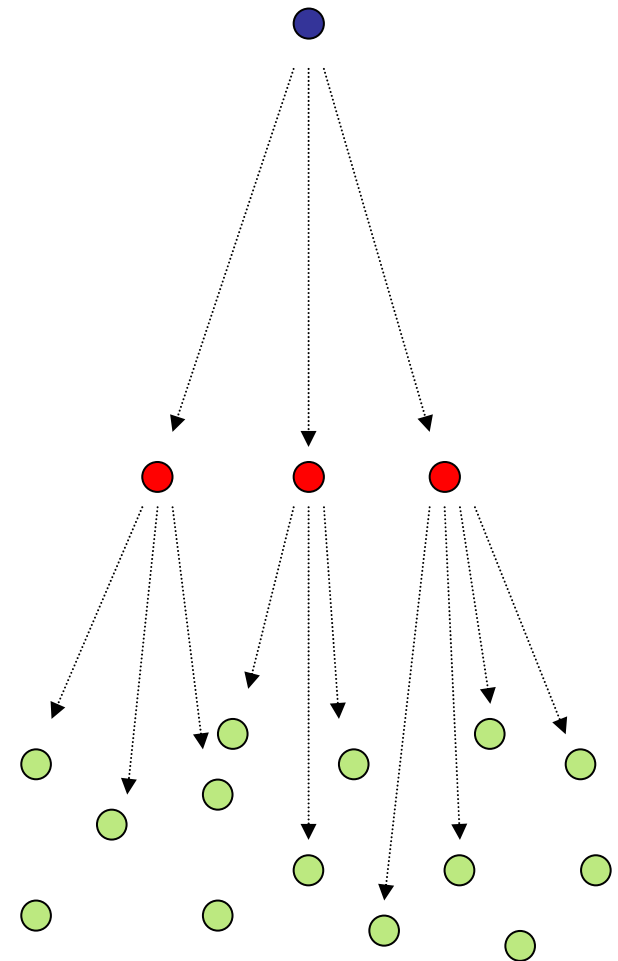
- Feste Station
- Eigene Position bekannt
- Ressourcen unkritisch

- Beacon:

- Drahtlose Knoten im Netzwerk
- **Eigene Position bekannt**
- Knappe Ressourcen













- Einfache Sensorknoten:

- Drahtlose Knoten im Netzwerk
- **Eigene Position nicht bekannt**
- Sehr knappe Ressourcen



● : Basisstation ● : Beacon ● : Einfacher Sensorknoten

Bewertungskriterien

Eigenschaft	Bewertungskriterien	
	Wunsch	Realität
Genauigkeit der Eingangswerte (z.B. RSSI)		
Genauigkeit der ermittelten Positionswerte		 1
Energieverbrauch		 1
Verhalten in Extremsituationen		 1
Skalierung für große Netzwerke		 1
Anzahl von Knoten mit unbestimmbarer Position		 1,2

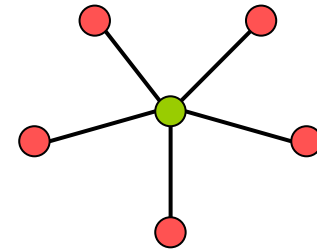
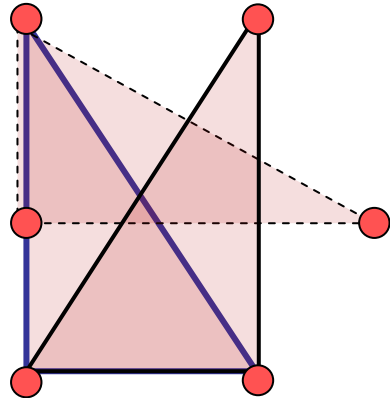
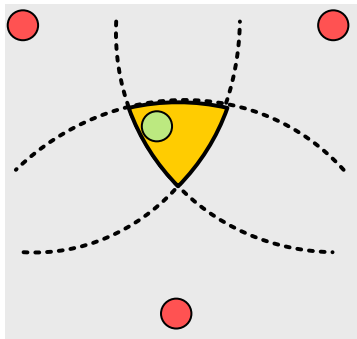
- 1) Abhängig vom verwendeten Positionierungsverfahren
- 2) Abhängig von eingestellten Parametern

Positionierungsalgorithmen

Positionsbestimmung

Grobkörnig, $\Delta > 5\%$

Feinkörnig, $\Delta < 5\%$



$$X_{Est} = \left(\frac{X_{i1} + \dots + X_{ik}}{k} \right)$$

$$\Delta_i(x_0, y_0, d_i) = d_i - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

$$\underline{b} = (\underline{X}^T \underline{X})^{-1} \underline{X}^T \underline{y}$$

Mittelpunktbildung
(Coarse Grained)

Dreiecksbildung
(APIT)

Überbest. Trilateration
(Atomar, iterativ, kollaborativ)


Δ : Fehler in der Berechnung der Position

● : Beacon

● : Einfacher Knoten

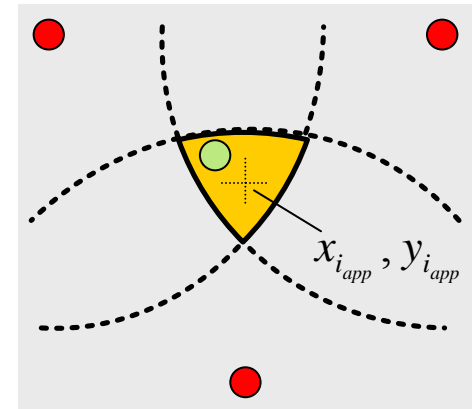
Funktionsweise: Coarse Grained

Positionsbestimmung:

- Knoten empfängt Nachrichten mit Positionen von n verschiedenen Beacons
- Positionsbestimmung durch einfache Mittelpunktbildung
- Sensorknoten kann nur in Bereich  liegen, der von allen Beacons erreicht wird


Vorteile:

- Keine RSSI Werte
- Keine Kommunikation durch einfache Knoten (nur Empfang)
- Einfache Berechnung



$$x_{i_{app}}, y_{i_{app}} = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{B_k}, \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{B_k} \right)$$

 : Beacon  : Einfacher Knoten

 : Zielgebiet, in dem Knoten liegt

 : Übertragungsbereich der Beacons

Positionierungsfehler in CGL

Positionierungsfehler:

- Distanz zwischen bestimmter Position und wahrer Position

$$f_i(x, y) = \sqrt{(x_{i_{app}} - x_{i_a})^2 + (y_{i_{app}} - y_{i_a})^2}$$

$x_{i_{app}}, y_{i_{app}}$ = Bestimmte Koordinaten von Knoten i

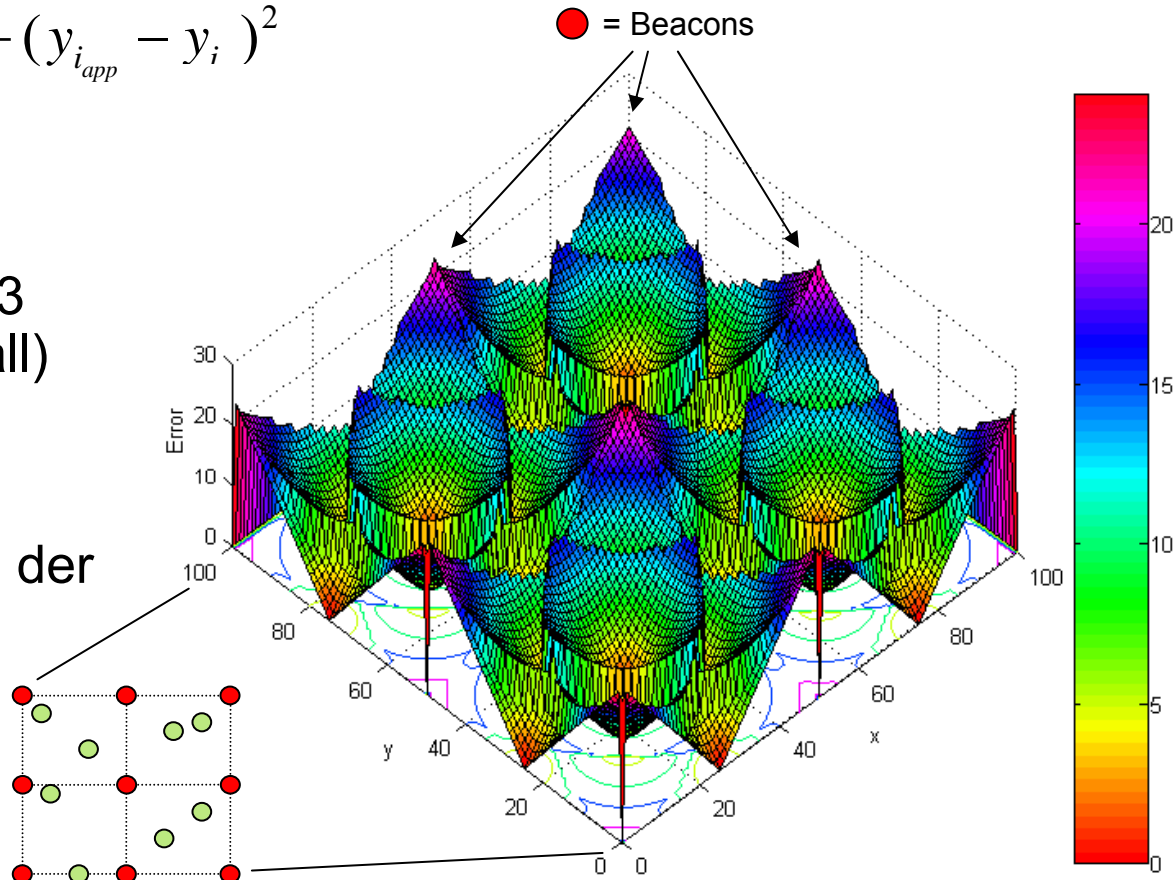
x_{i_a}, y_{i_a} = Exakte Koordinaten von Knoten i

f_i = Positionierungsfehler von Knoten i

● = Beacons

Fehlerverlauf:

- Gitteranordnung von 3x3 Beacons (Infrastrukturfall)
- Feldbreite 100x100
- 101x101 Sensorknoten
- Übertragungreichweite der Beacons $r=50$



Grenzwertbetrachtungen

Positionierungsfehler maximal, wenn Übertragungreichweite r der Beacons:

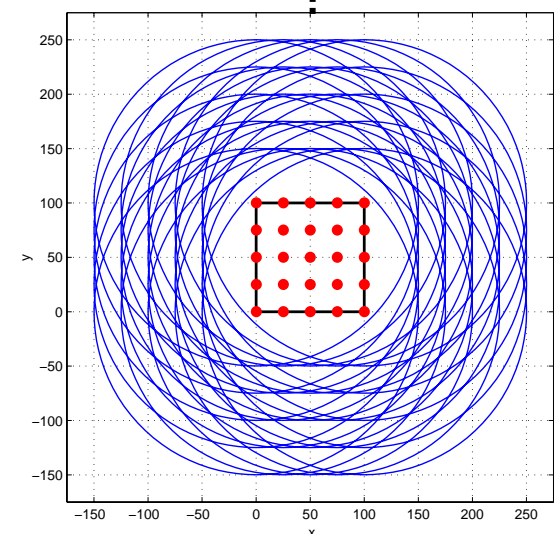
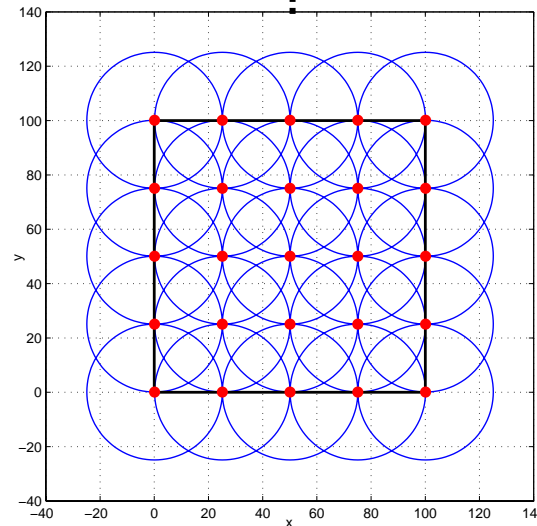
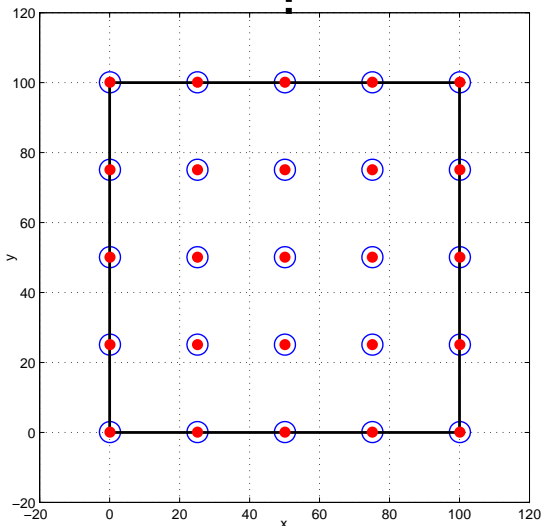
$r \rightarrow 0$

- Sensorknoten empfangen keine Beaconpositionen
- Keine Positionsbestimmung möglich (Unbekannte maximal)

$r \gg$ Felddiagonale

- Alle Sensorknoten empfangen dieselben Beaconpositionen
- Alle Sensorknoten ermitteln gleichen Positionswert (Unbekannte = 0)

Gesucht ist die optimale Übertragungreichweite der Beacons, bei die Anzahl der Unbekannten null und der Positionierungsfehler minimal ist.



○ : Übertragungreichweite

□ : Sensornetzwerk

● : Beacon

Feldbreite: 100x100

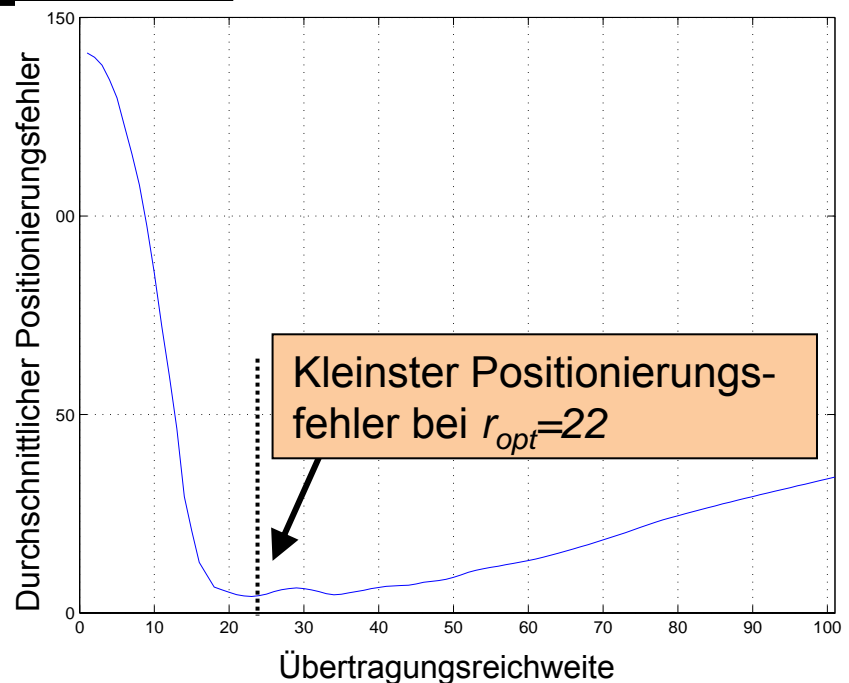
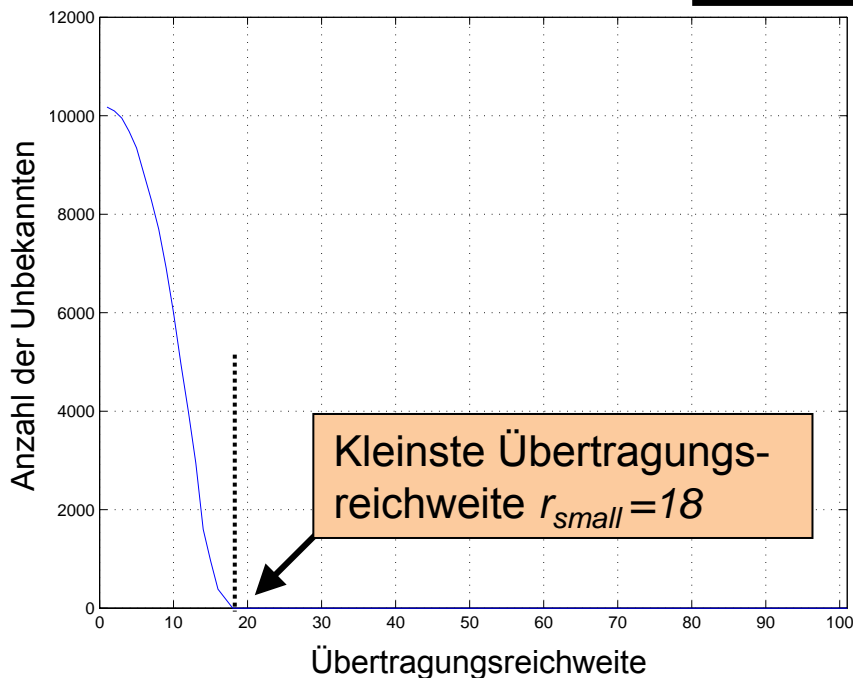
Anzahl der Unbekannten

Erster Ansatz zur Minimierung des Energieverbrauchs:

Ermittlung der kleinsten Übertragungreichweite r_{small} bei der die Anzahl der Unbekannten null ist.

Aber: Positionierungsfehler nicht minimal!

$$r_{\text{small}} < r_{\text{opt}}$$



Power-Error Produkt (PEP)

Energiebetrachtungen (ideal):

$$E_{Send} = E_{Init} + mE_{Dyn}$$

$$E_{Dyn} = E_{Bit} \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2$$

$$E_{Dyn} \Big|_{E_{Bit} \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi}{\lambda} \right)^2 = 1} = r^2$$

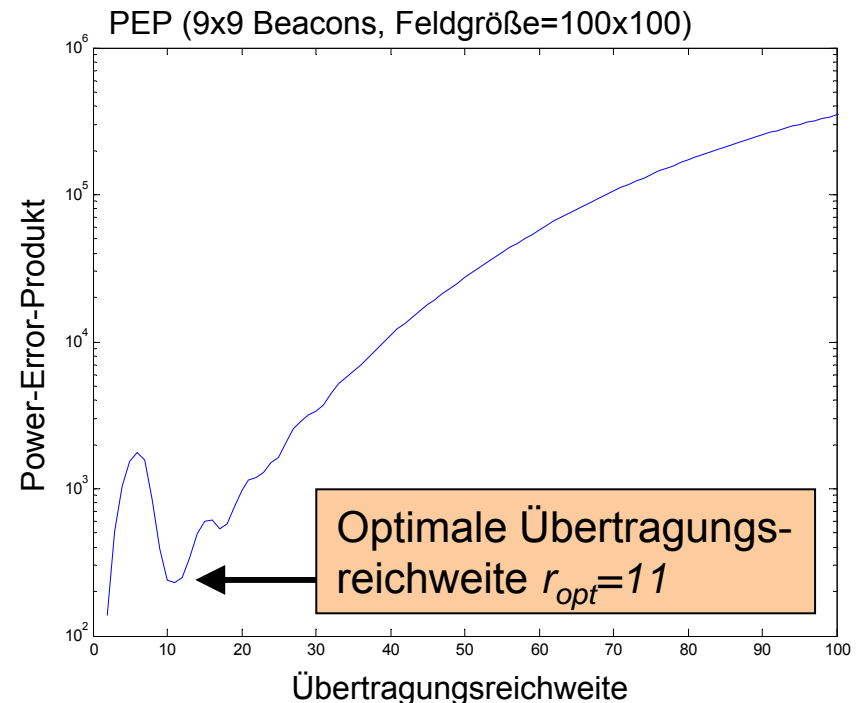
- m = Anzahl der zu übertragenden Bits
- E_{Init} = Initialisierungsenergie des Transmitters
- E_{Dyn} = Übertragungsenergie für ein Bit
- λ = Wellenlänge
- r = Übertragungsreichweite der Beacons
- PEP = Power-Error-Produkt
- L = Anzahl der Sensorknoten im Netzwerk
- r = Distanz
- f_i = Positionierungsfehler in einem Sensorknoten
- $f_{i_{mean}}$ = Durchschnittlicher Positionierungsfehler

Power-Error-Produkt:

$$PEP = E_{Dyn} \cdot f_{i_{mean}}$$

$$= r^2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^L f_i}{L}$$

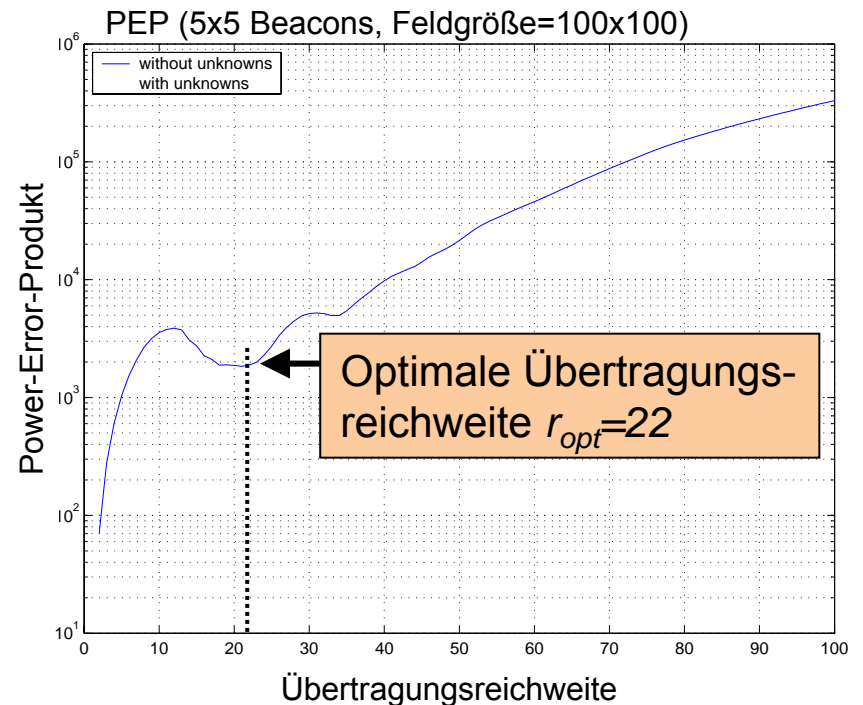
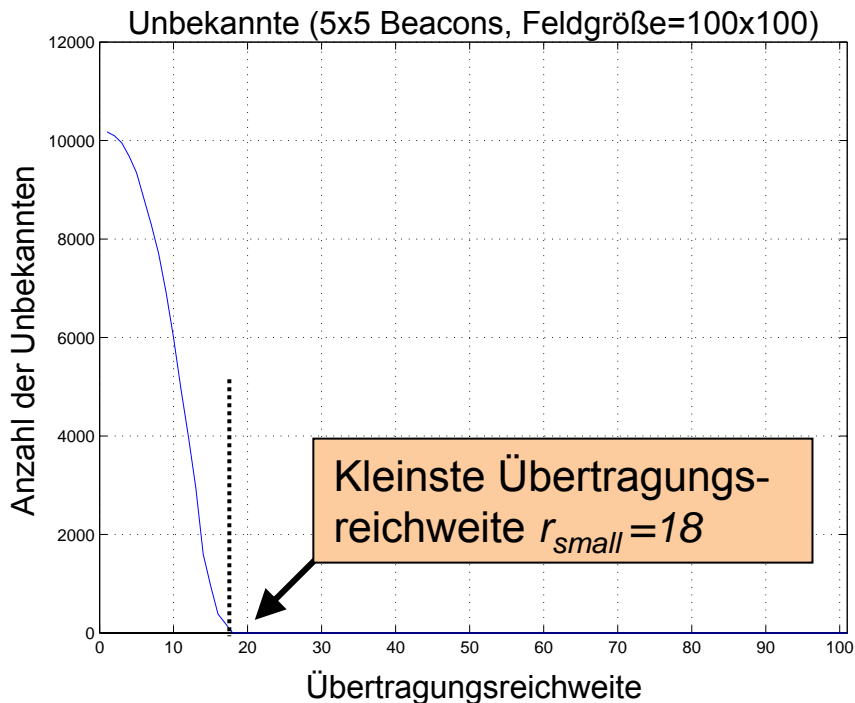
Performance-Indikator für Optimierungsproblem aus Übertragungsreichweite, Unbekannten und Positionierungsfehler



Power-Error-Produkt II

Bestimmung der optimalen Übertragungreichweite:

- Ermittlung von r_{small} für Unbekannte=0
- Lokalisieren des PEP-Minimums für $r_{\text{small}} \leq r_{\text{opt}}$ (hier: $18 \leq 22$)



Weitere Abhängigkeiten

Erkenntnis:

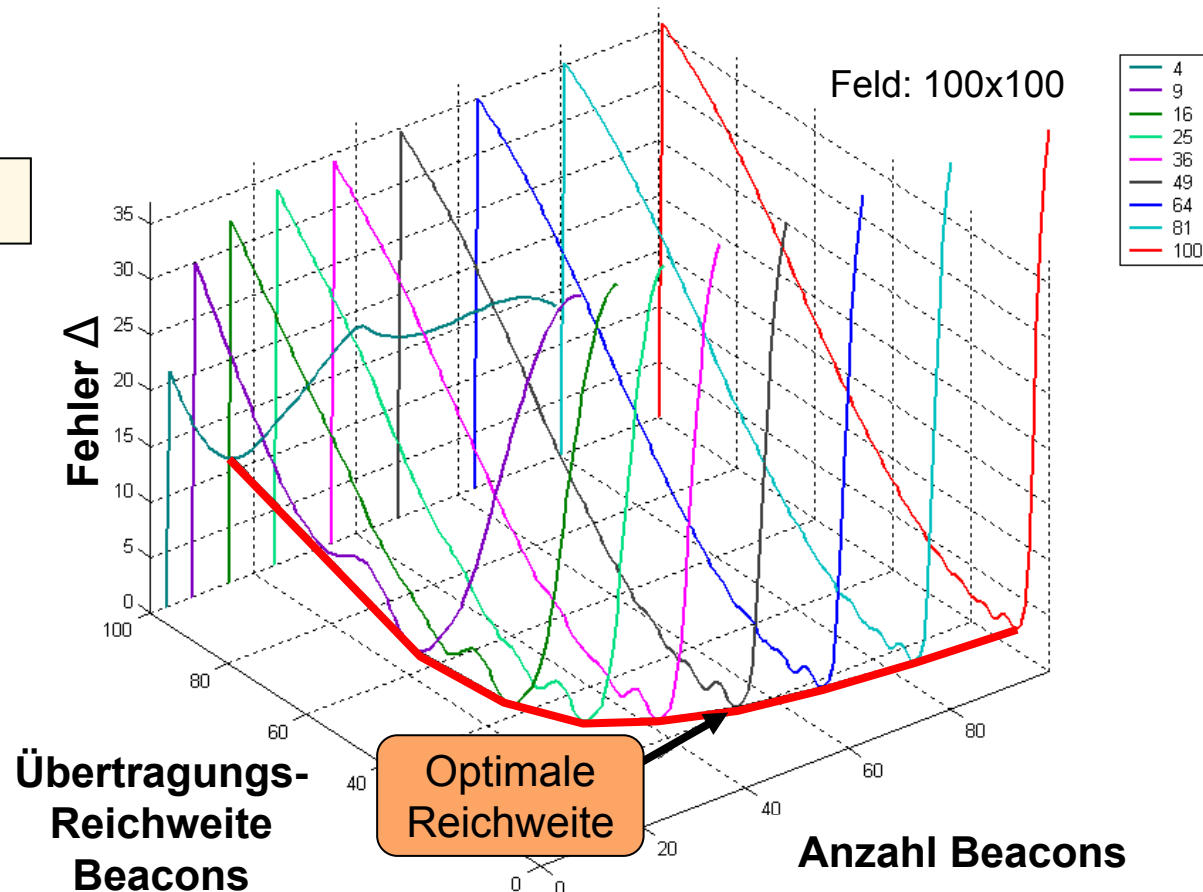
Optimale Übertragungreichweite ist ebenfalls abhängig von der Dichte der Beacons

Optimalkriterium

$$\text{ÜRW}_{\text{Opt}} = f(\Delta, \#\text{Beacons})$$

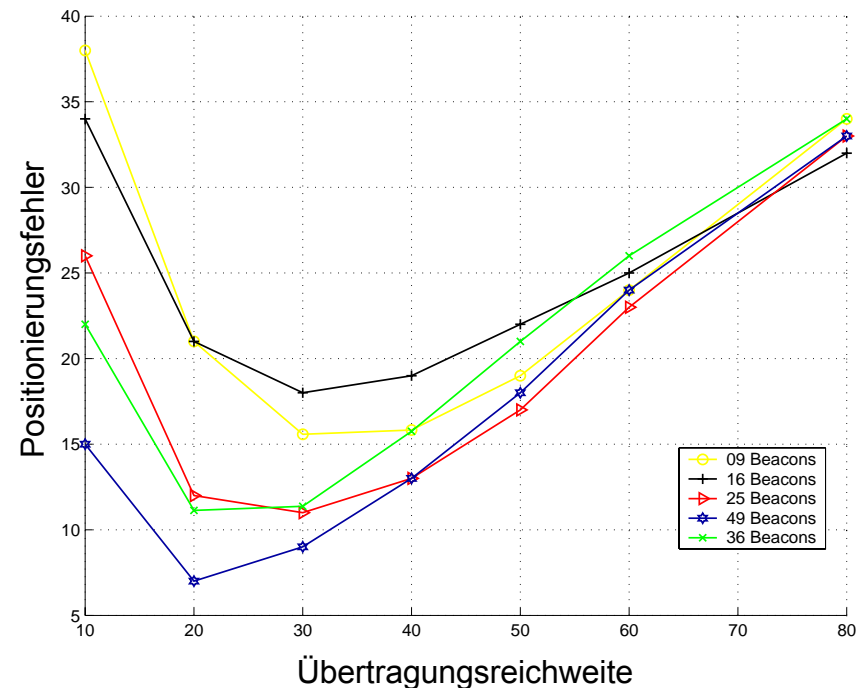
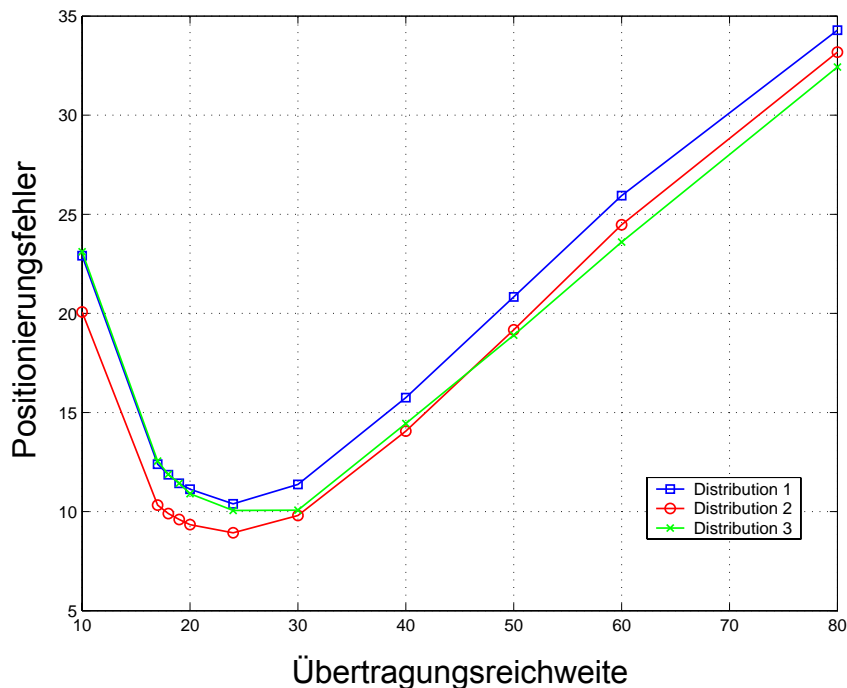
Anwendung

Energieminimierung



Stochastische Beaconverteilung

- Ähnlicher Verlauf der optimalen Übertragungreichweite wie im Infrastrukturfall
- Min. Positionierungsfehler steigt von 3% auf 9% gegenüber Infrastruktur-Fall



Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Positionierungsfehler abhängig von Anzahl der Beacons und Übertragungreichweite
- Energieverbrauch
- Grafische Lösung für Ermittlung der optimalen Übertragungreichweite
- Performance-Kriterium: Power-Error-Produkt

Ausblick

- Analytische Lösung zur Bestimmung von r_{opt}
- Betrachtung stochastischer Verteilungen

Vielen Dank

