

# Ausblick Kooperative Navigation

Hoch zuverlässige Positionsbestimmung durch den Austausch von Navigationsdaten sowie gemessener Schrägentfernungen und Richtungspeilungen zwischen den Teilnehmern in einem Navigationsnetzwerk

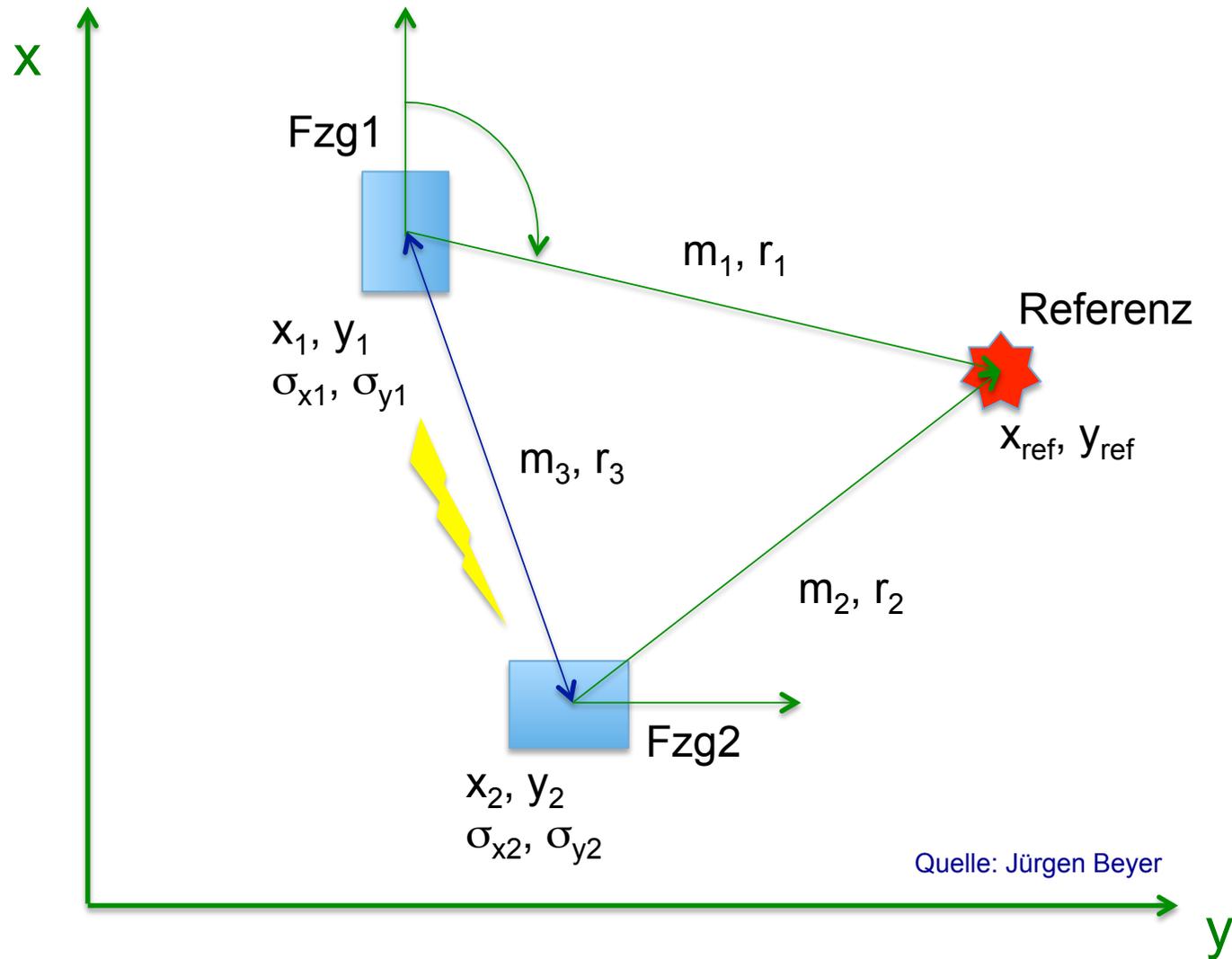
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyer

## **6 Ausblick: Kooperative Navigation**

- Motivation und Überblick**
- Einbindung von Abstands- und Richtungs-Sensorik**
- Konfiguration eines Navigationsnetzwerkes**
- On-board und ausgelagerte Navigation**

- Die häufig schlechte Sichtbarkeit von Satelliten z.B. in Urban Canyons erschwert die Positionsbestimmung
- Einsatz „künstlicher stationärer“ Satelliten (Beacons)
  - Positionen der Beacons sind genau vermessen und bekannt
  - Beacons „leuchten“ die Zonen schlechten Empfangs aus
  - Messung der Schrägentfernung bzw. Peilung
  - Damit Bestimmung der eigenen Position
  - Bei einem Beacon: Positionsstützung
- Verwendung „künstlicher beweglicher“ Satelliten
  - Bestimmung der Position(tk) eines Beacons zum Messzeitpunkt
  - Position kann extern bestimmt werden (durch Ortung) oder wird durch das angepeilte Navigationssystem selbst on-board erfasst und dann an den Anfrager übermittelt (kooperativ)

- Alle Navigationssysteme, die ihre eigene Position bekannt geben und deren Schrägentfernung bzw. Richtung sich bestimmen lässt, können anderen Netzwerk-Teilnehmern als Beacon dienen
- Durch die Verknüpfung mehrerer Navigationssysteme entsteht ein hoch zuverlässiges Navigationsnetzwerk
  - Die kooperative Navigation dient der Selbstlokalisierung, der gegenseitigen Vermessung und dem Datenaustausch
  - Der Verbund steigert die Verfügbarkeit, die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit der Positionsbestimmung
  - Die Teilnahme am Verbund ist ohne Navigations-Equipment möglich. Es wird nur eine Kommunikationseinrichtung benötigt
  - Die Initialisierung des Navigationsnetzwerkes basiert auf mindestens einem navigatorischen „Ankerpunkt“



- **Positionsbestimmung (on-board)**
  - Navigationsrechner zur Informationsverarbeitung
  - Inertialnavigation (IMU), Koppelnavigation (Tacho, Hodo)
    - Positionsbestimmung ist unabhängig von Zeit und Ort
    - Interpolations- und Extrapolations-Potential
  - Stützung durch externe Systeme wie GNSS, LORAN, usw.
- **Messung der Schrägentfernung (Distanz)**
  - DME, Laserentfernungsmesser, Abstandsradar, Stereo-Kamera
  - Differenz aus zwei Positionen (vgl. Rendezvous Ortungssystem)
- **Richtungspeilung**
  - Adcock-Peiler, ADF, VOR, Sichtpeilung (Kamera)
  - Richtungsinformation aus Positionsdifferenzen

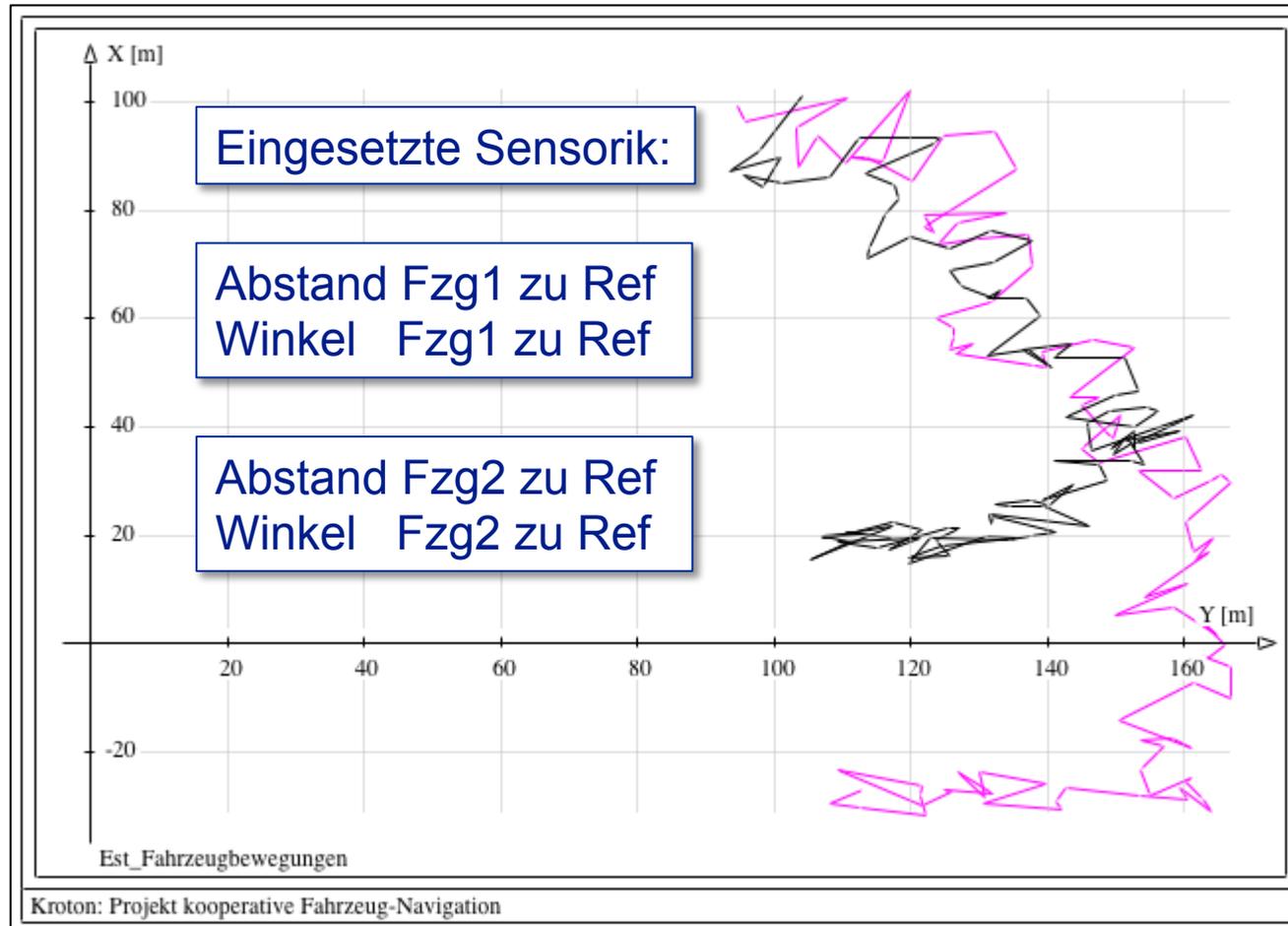
- Es wird eine Abstands- bzw. eine Richtungsmessung für ein Fahrzeug vorgenommen
- Durch Kommunikation von Positionen kann eine „fiktive“ Abstands- bzw. Richtungsmessung erzeugt werden
- Das entstehende Messresiduum wird gewichtet und als Korrektur bei der Positionsschätzung verwendet
- Durch Minimieren der Fehlerkovarianz wird eine optimale Korrektur der Fahrzeugposition erzeugt
- Benötigt werden die Kovarianz der Messung (R-Matrix) sowie die Kovarianz der Positionsschätzung (P-Matrix)
- Die Kovarianz der fiktiven Messung bestimmt sich aus den Kovarianzen der beiden Positionsschätzungen

- Es besteht zudem die Möglichkeit, für einen zuvor vereinbarten Verband an Fahrzeugen die jeweiligen Positionen und Kovarianzen sowie die Abstands- und Richtungsinformationen alle an eine zentrale Stelle zu übertragen
- In einem Zentralrechner werden alle Informationen in einem gemeinsamen Filter ausgewertet. Hierdurch entsteht eine konsolidierte Lösung für den Verband
- Die korrigierten Positionen werden an die Mitglieder des Verbandes zurück übertragen
- Im Extremfall können alle Fahrzeuge des Netzwerkes auf diese Weise behandelt werden

- Kann eine Landkarte der „Navigationsgenauigkeiten“ für eine definierte Zone erzeugt werden ?
- Wo müssen die Referenzstationen stehen ? Wie viele Referenzstationen werden benötigt ?
- Wie verbreitet sich die Genauigkeit einer Referenz über den Austausch zwischen den mobilen Teilnehmern in der Fläche aus ? Einfluss der Teilnehmer-Anzahl ?
- Lässt sich die Positionsgenauigkeit durch wiederholten gegenseitigen Austausch der Positionsschätzungen beliebig steigern ? Wo liegen die Grenzen ?
- Kann ein Stabilitätsnachweis für eine Einzellösung und für das gesamte Navigationsnetzwerk geführt werden ?

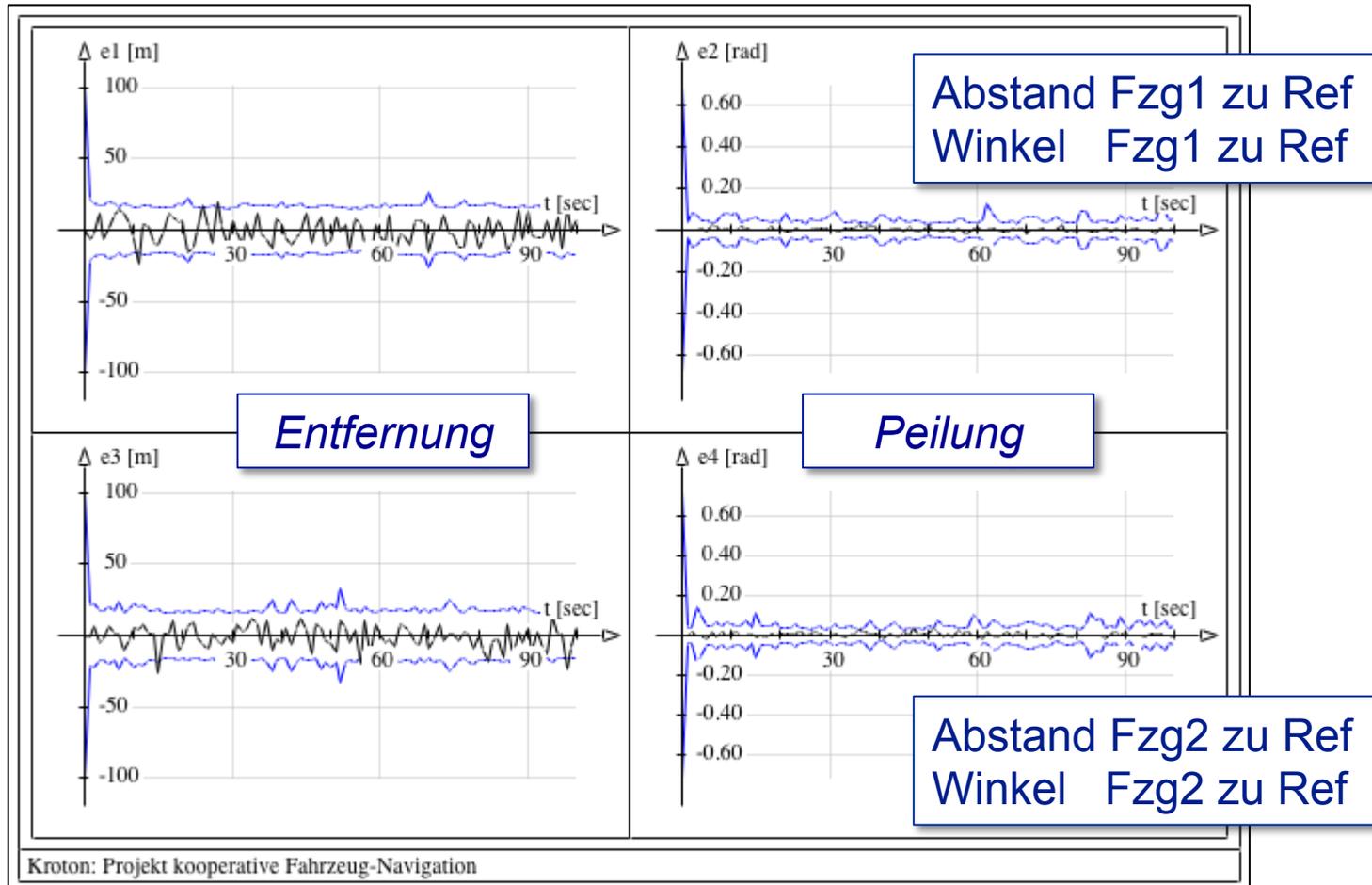


## Geschätzte Fahrzeugbewegungen



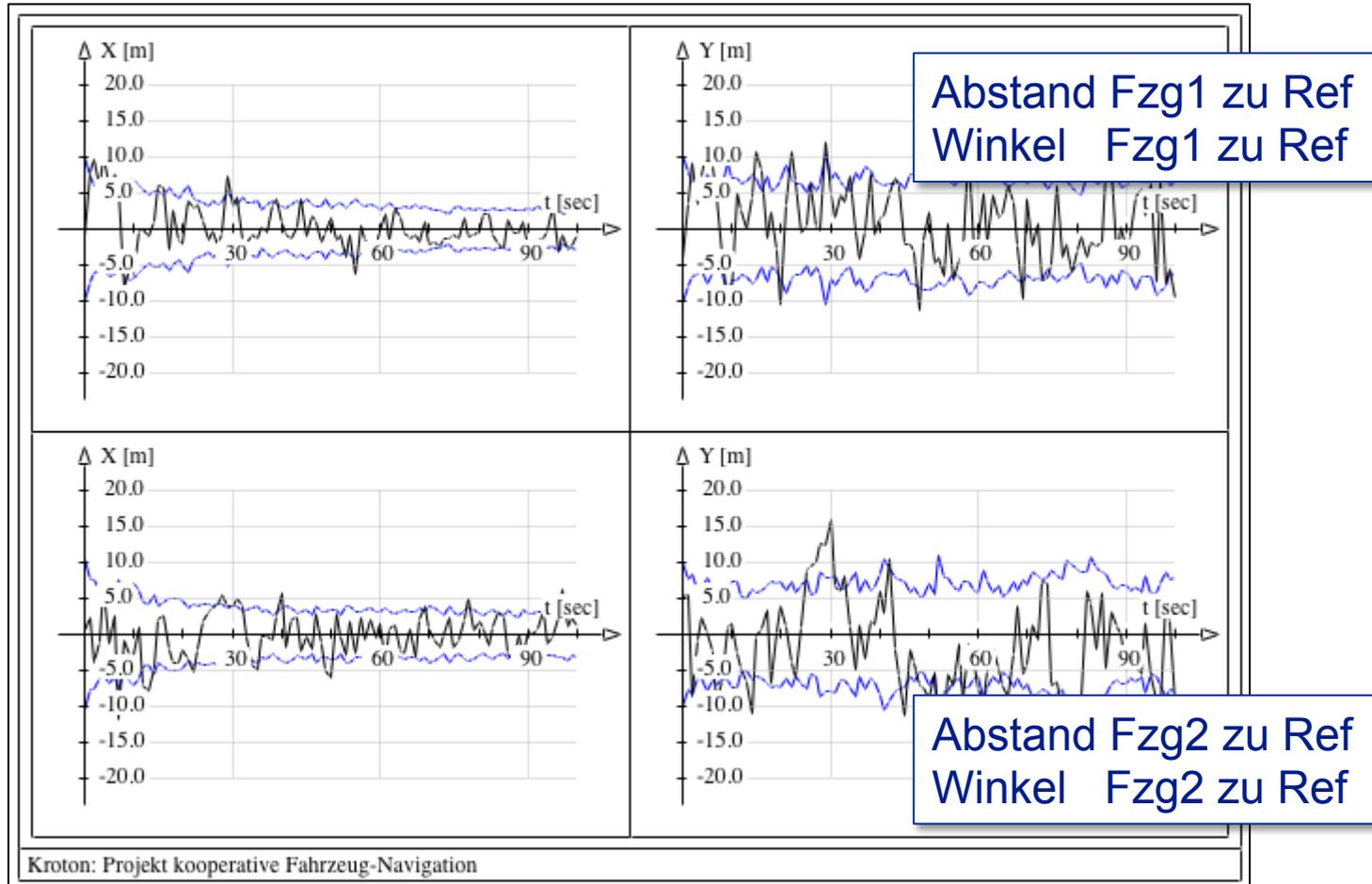
Quelle: Jürgen Beyer

## Messresiduen (Entfernung und Peilung)



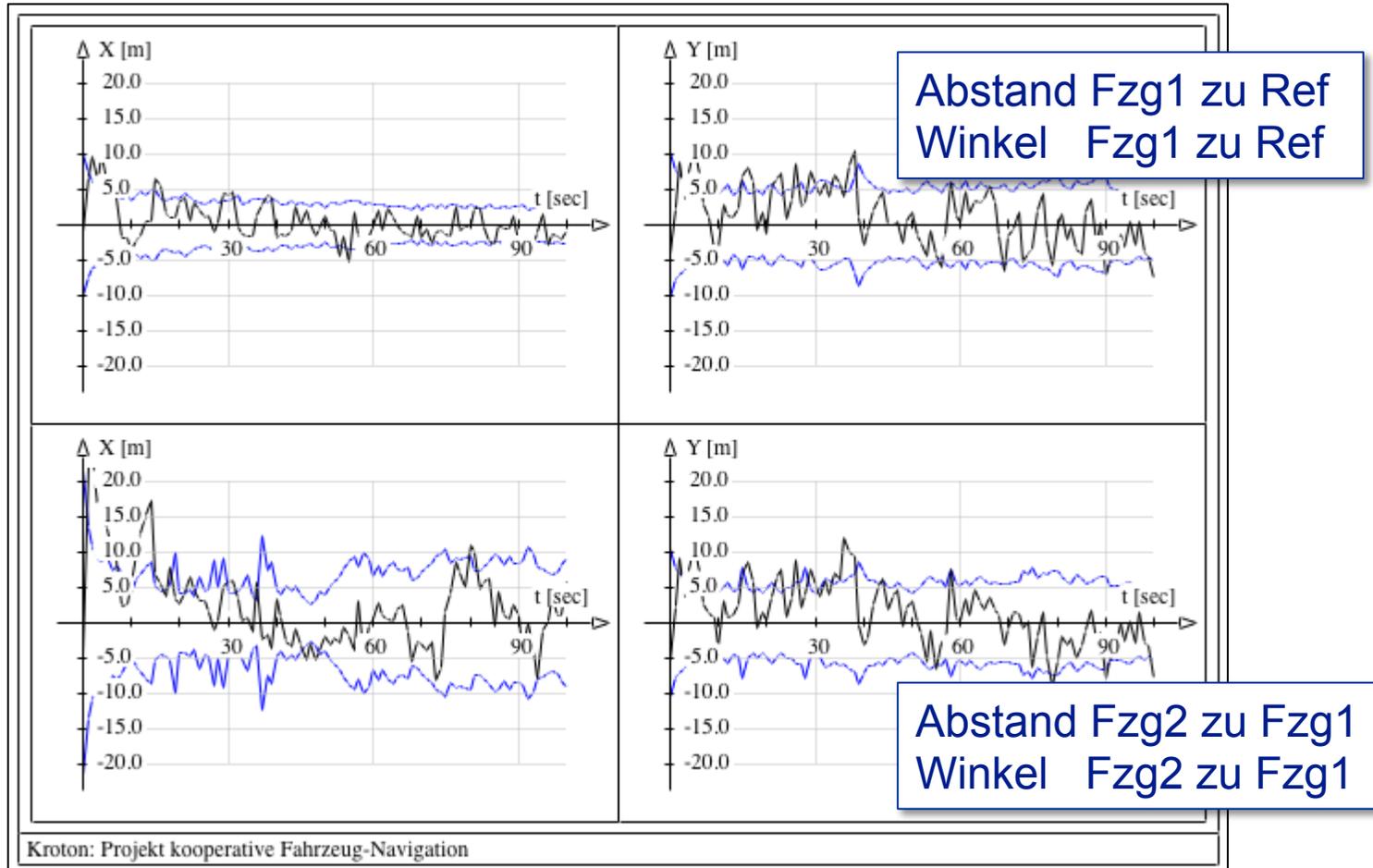
Quelle: Jürgen Beyer

## Geschätzte Positionsfehler (Musterläufe und Kovarianzen)



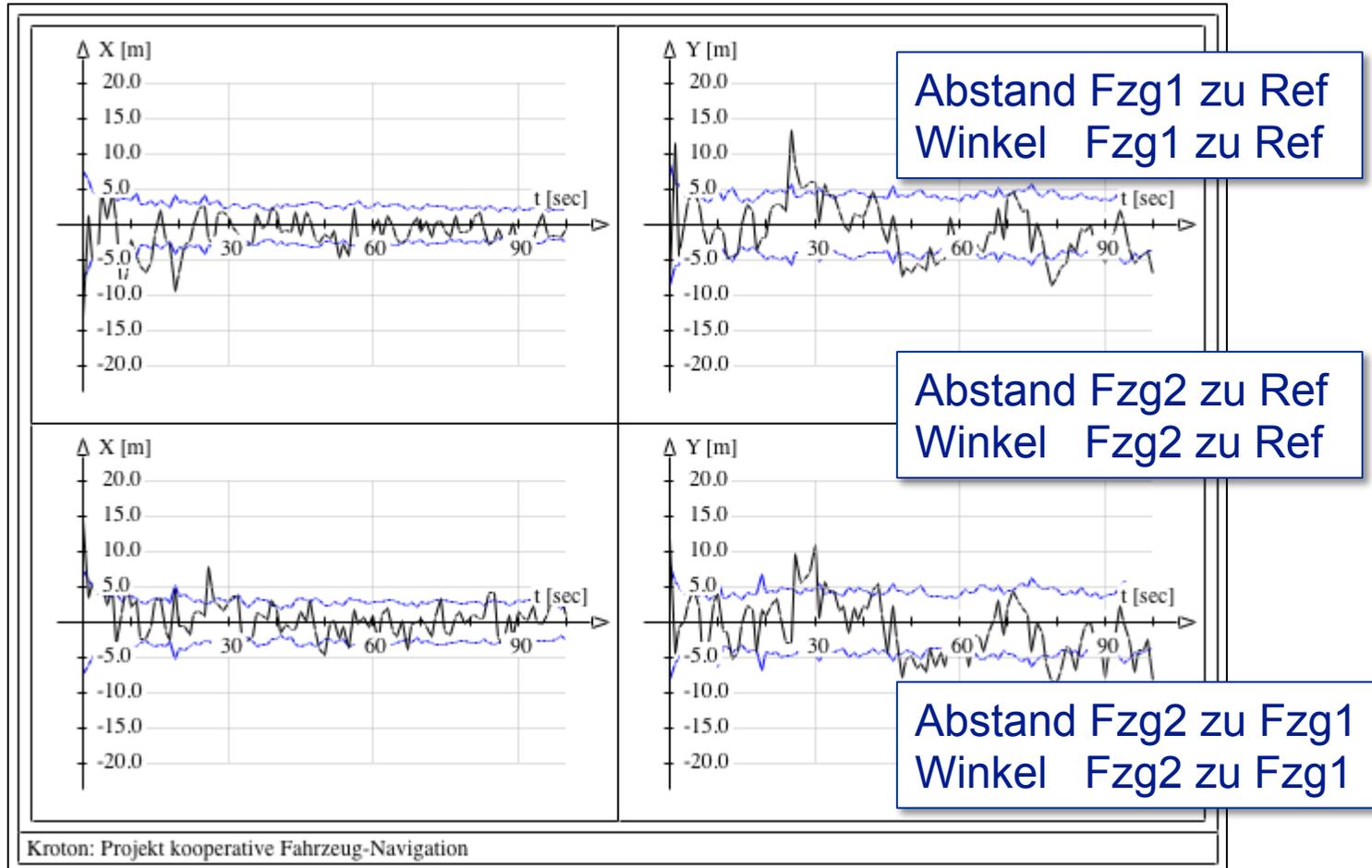
Quelle: Jürgen Beyer

## Geschätzte Positionsfehler (Musterläufe und Kovarianzen)



Quelle: Jürgen Beyer

## Geschätzte Positionsfehler (Musterläufe und Kovarianzen)



Quelle: Jürgen Beyer

- Unterscheidung in navigatorisch aktive (mit Equipment) und passive (nur Kommunikation) Teilnehmer
  - Sowohl on-Board Navigation wie Abstands-/Richtungssensorik
    - Austausch der Positionsinformationen (Zustand und Kovarianzen)
    - Verbesserung der Position kann intern und/oder extern erfolgen
  - Nur on-Board Navigation
    - Austausch der Positionsinformationen (Zustand und Kovarianzen)
    - Empfang extern gemessener Abstands-/Richtungsinformationen
    - Verbesserung der Position kann intern und/oder extern erfolgen
  - Nur Abstands-/Richtungssensorik
    - Versenden der gemessenen Abstands-/Richtungsinformationen
    - Externe Berechnung der eigenen Position (Empfang der Lösung)
  - Kein eigenes Navigations-Equipment
    - Ortung erfolgt durch externen Teilnehmer (Empfang der Lösung)

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Beyer  
Navigationssysteme für den  
Straßen- und Schienenverkehr  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
ITE - Systemoptimierung  
Fritz-Haber-Weg 1 / 30.33  
76131 Karlsruhe

Mobil: +49 178-633 4891  
[juergen.beyer@kit.edu](mailto:juergen.beyer@kit.edu)