

## Lokalisierung

### Ziele

- Der Nutzer eines mobilen, vernetzten Gerätes (z. B. Laptop, PDA, Mobiltelefon) erhält standortspezifische Daten.  
Anwendung in öffentlichen Gebäuden, Messen, Bahnhöfen, Ausstellungen, Hörsälen, ...  
„Location Based Services“
- Der Nutzer kann über das Gerät seine aktuelle Position ermitteln.  
Anwendung in Transport und Logistik (Verkehr, Lager)

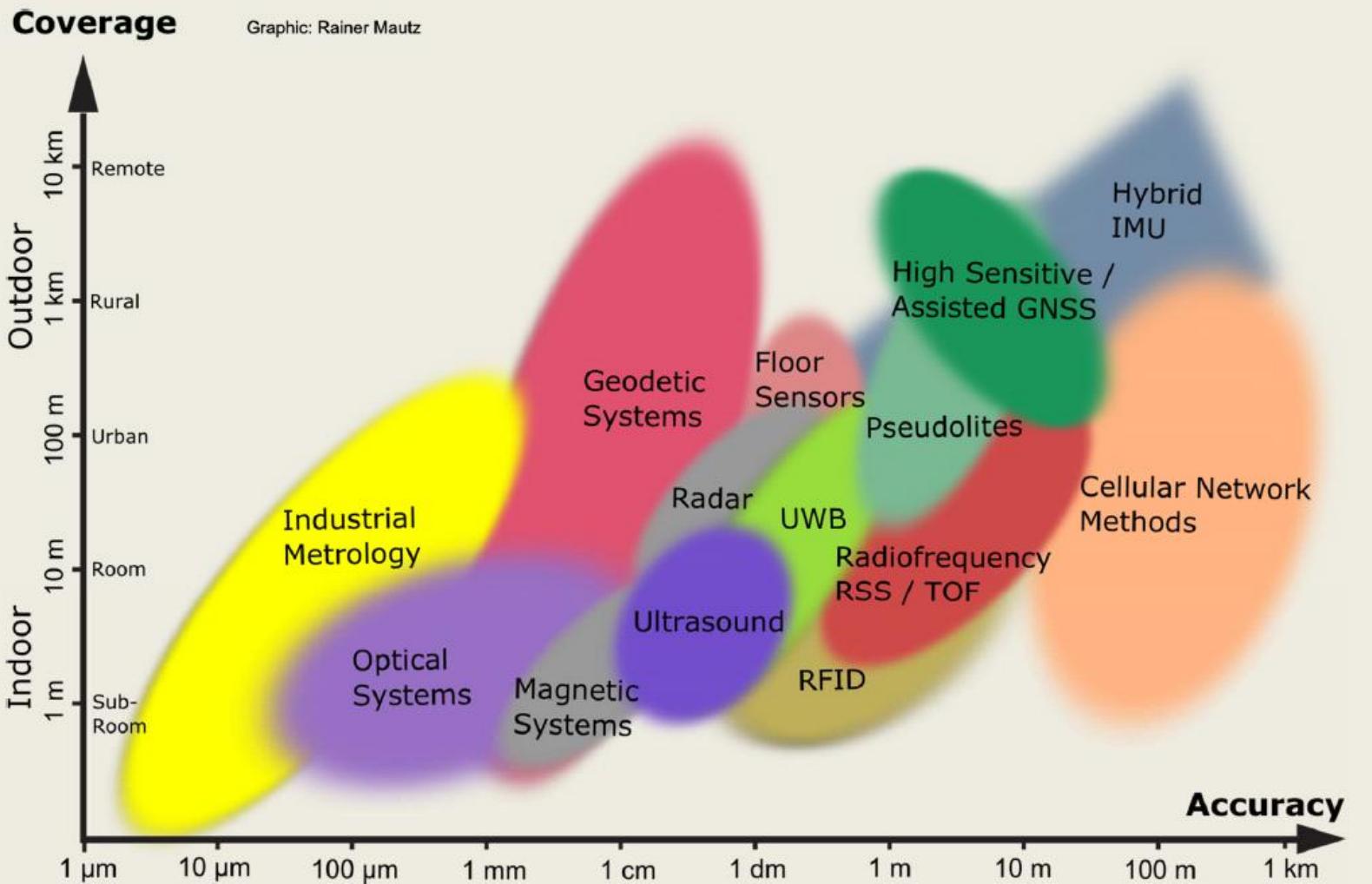
### Voraussetzung

Absolute (globale) Positionsbestimmung eines mobilen Gerätes oder relative Position zwischen mobilen Geräten (Lokalisierung)

### HU-Kooperationen:

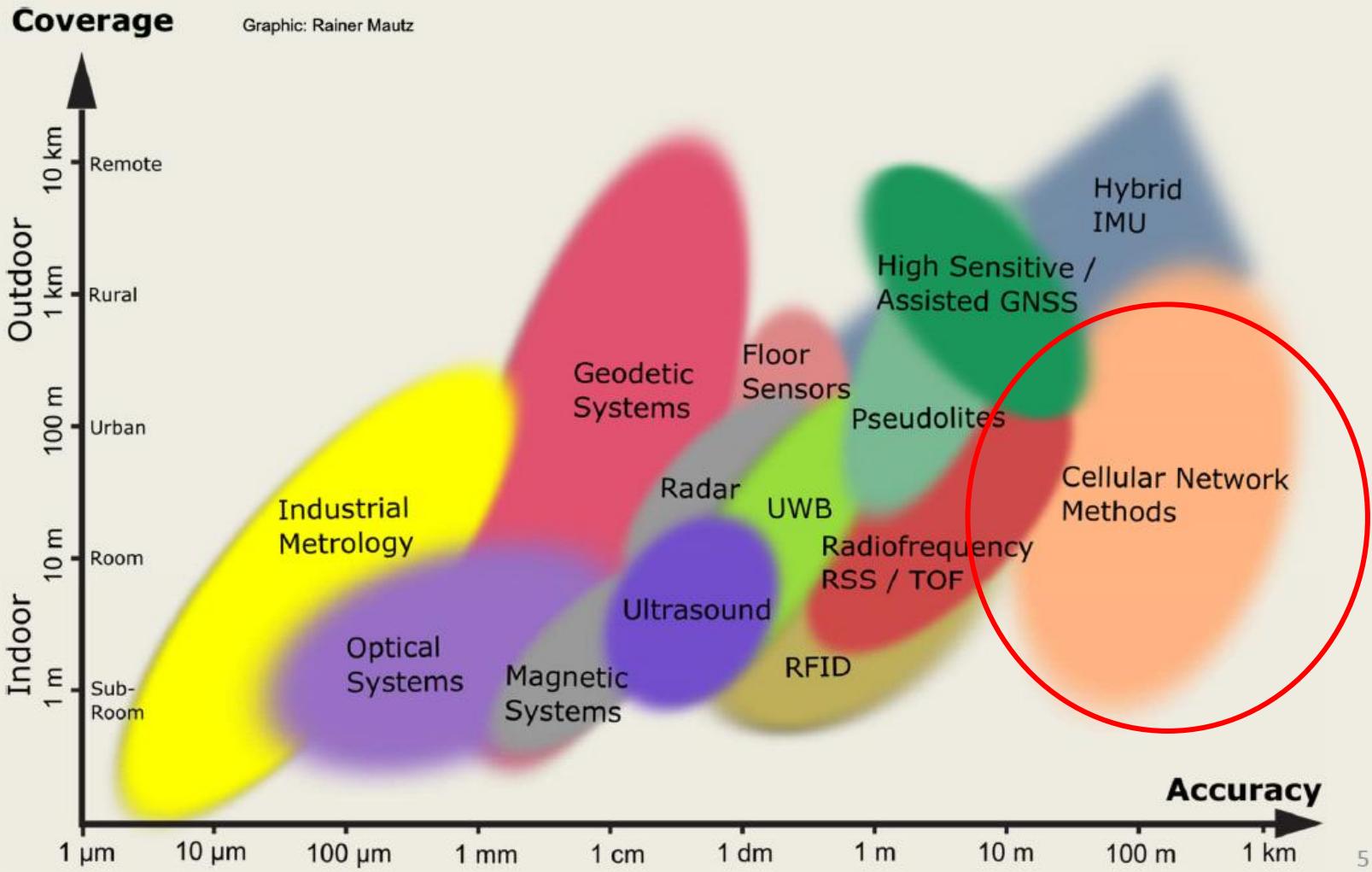
IHP Microelectronics Frankfurt/Oder  
InnoSenT GmbH

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

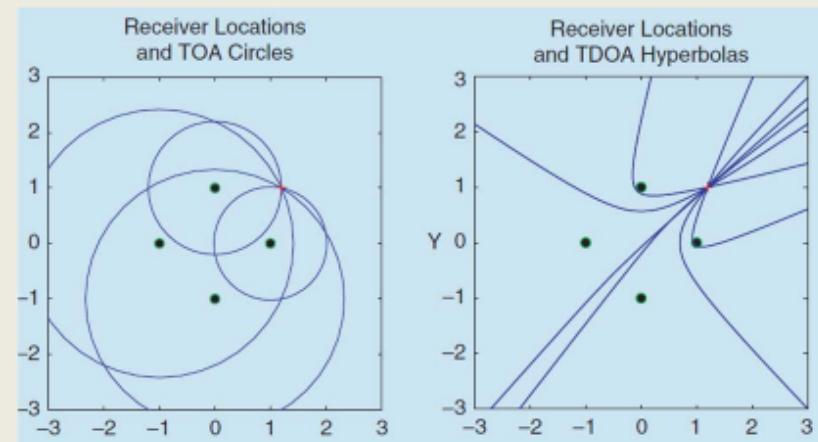
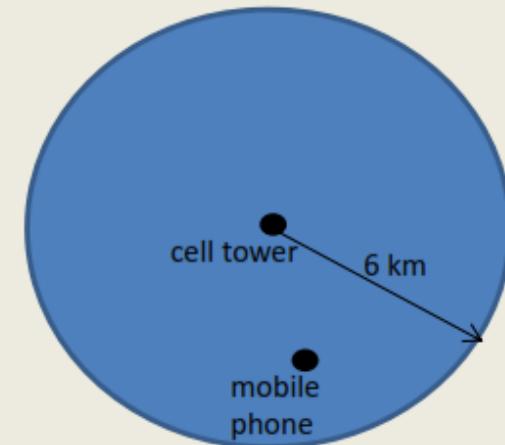
# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung

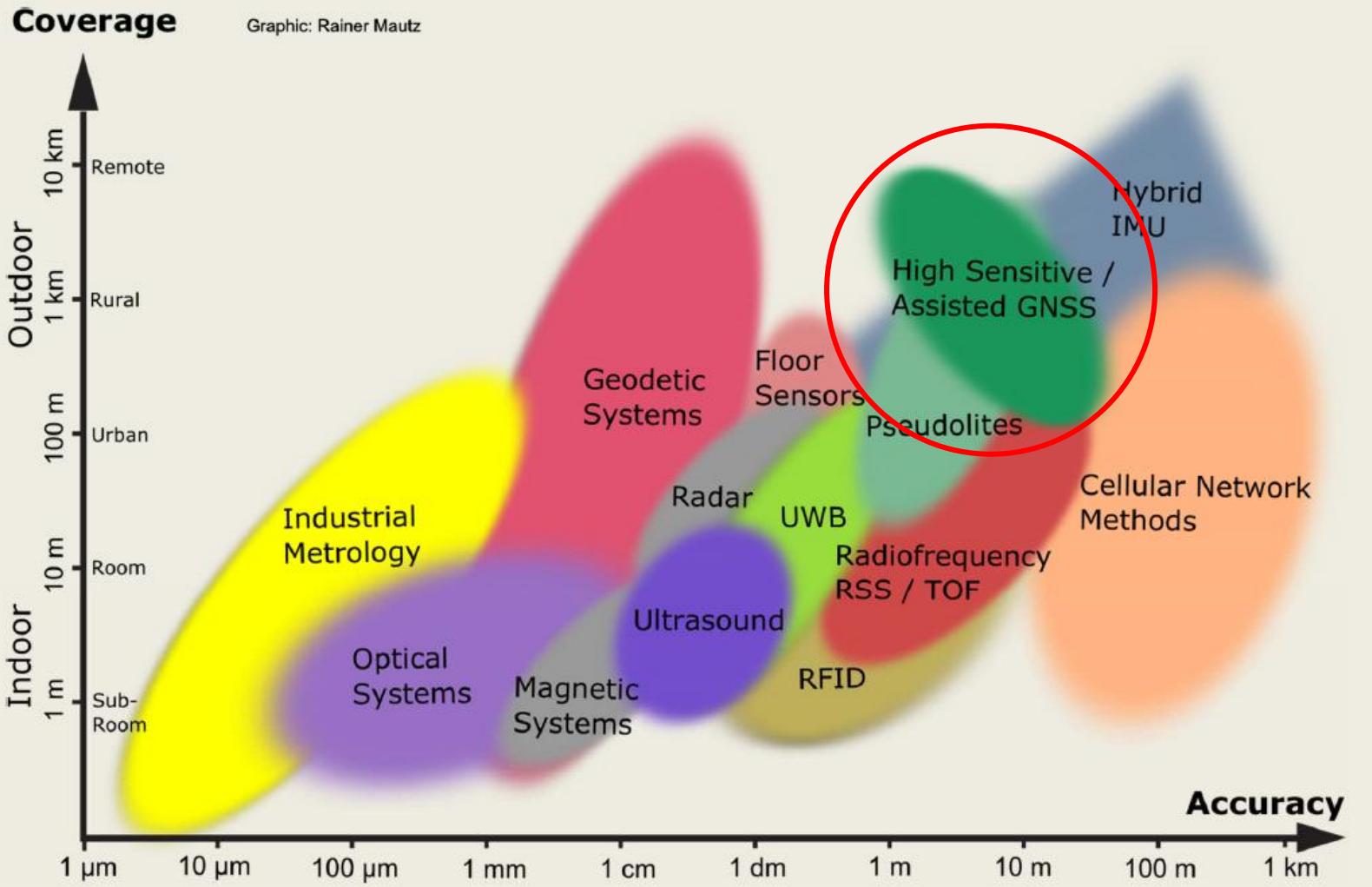
Measuring Principle	Cell ID, ToA, TDoA, RSSI, AoA
Accuracy	20 m – 1000 m
Coverage	> km - scalable
Required Infrastructure	base stations
Application	navigation, LBS
Strengths	coverage, standard devices
Drawbacks	low accuracy



Gustafsson and Gunnarsson (2005)

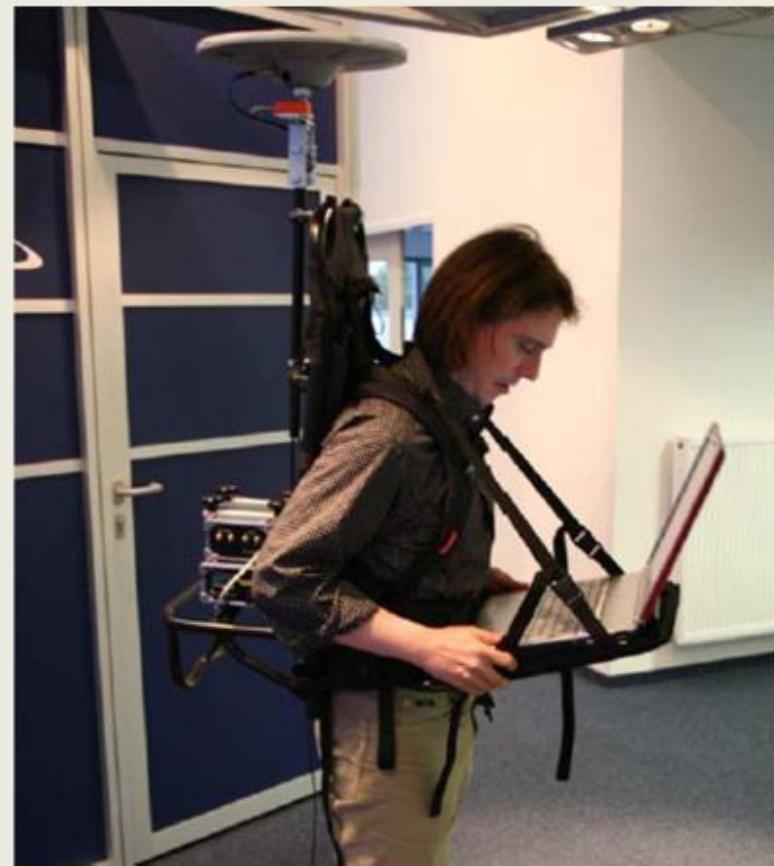
7

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



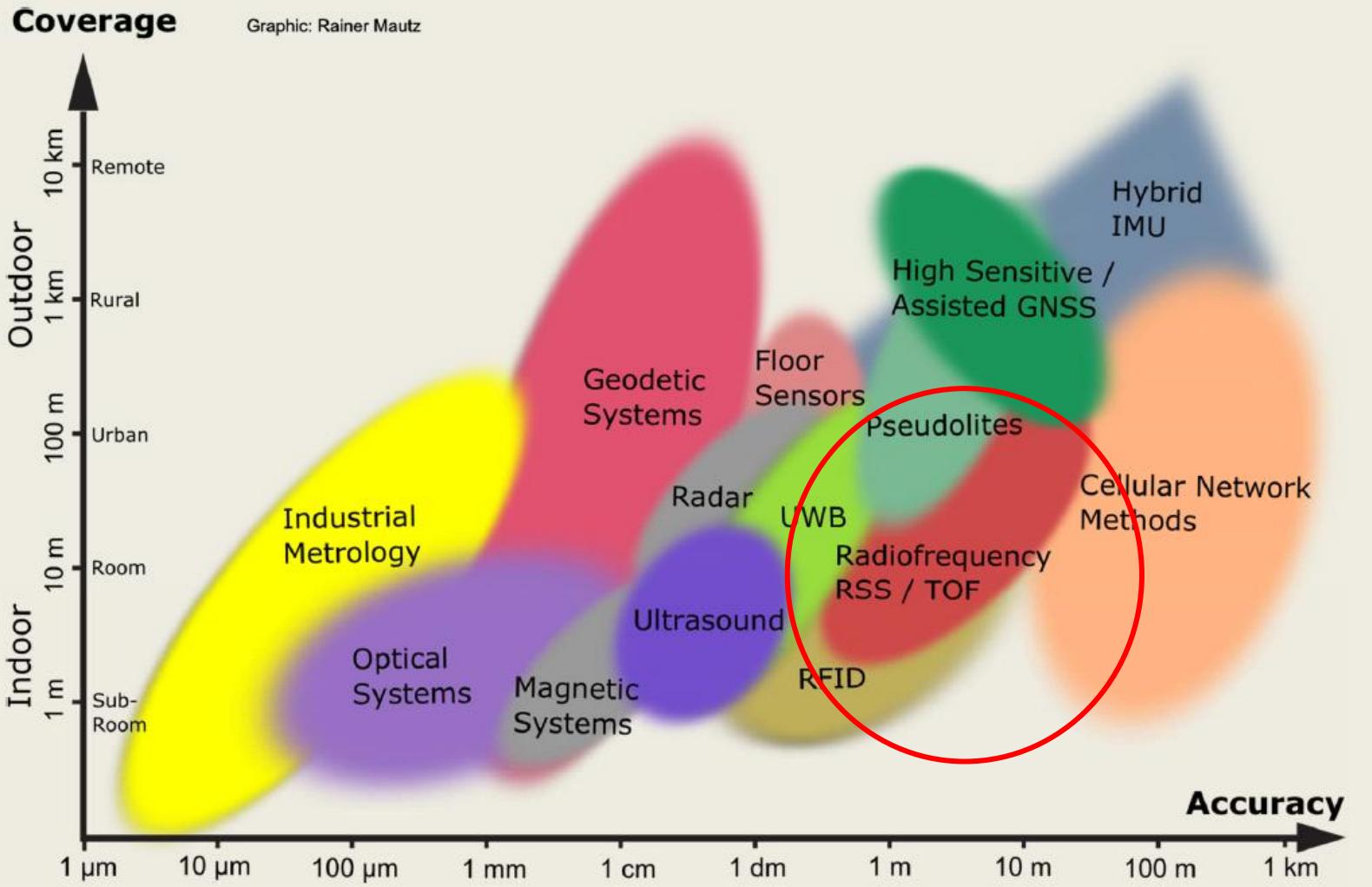
Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

Measuring Principle	lateration, parallel correlation
Accuracy	10 m – 70 m
Coverage	global
Required Infrastructure	none
Application	seamless positioning
Strengths	global position without infrastructure
Drawbacks	low accuracy & reliability, multipath, computation time



Niedermeier et al. (2010)

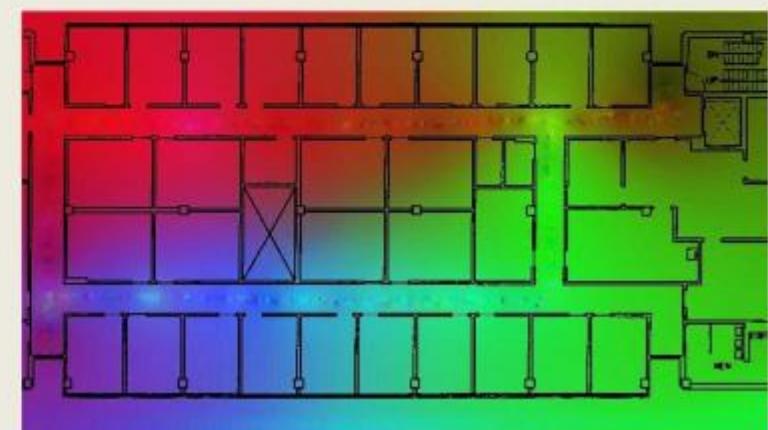
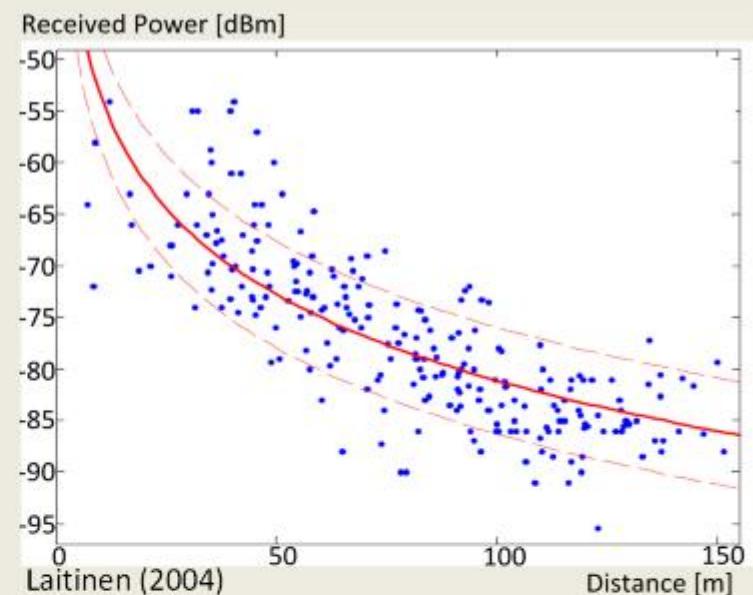
# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

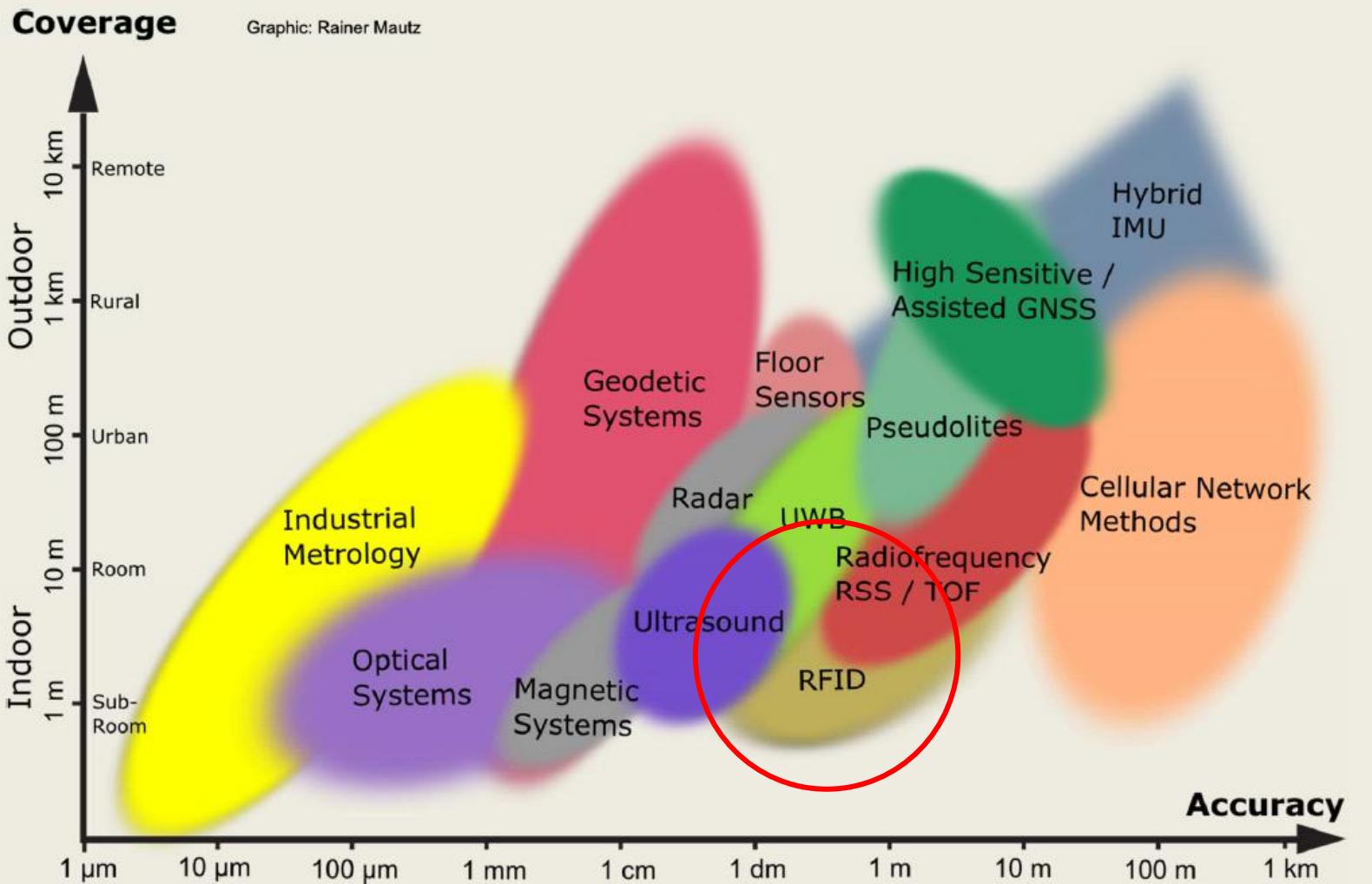
# Breitbandkommunikation - Lokalisierung

Measuring Principle	fingerprinting, lateration, TDoA, AoA
Accuracy	2 m – 20 m
Coverage	1000 m <sup>2</sup> - scalable
Required Infrastructure	fixed transmitters
Application	mobile positioning, LBS
Strengths	unmodified phones, PDAs
Drawbacks	low reliability, pre-calibration



15

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

Measuring Principle	Cell of Origin, RSSI, fingerprinting
Accuracy	10 cm – 2 m
Coverage	1 m – 10 m, scalable
Required Infrastructure	deployed nodes
Application	pedestrian navigation, smart paving stones
Strengths	penetration, unobtrusive
Drawbacks	short range, elaborate deployment

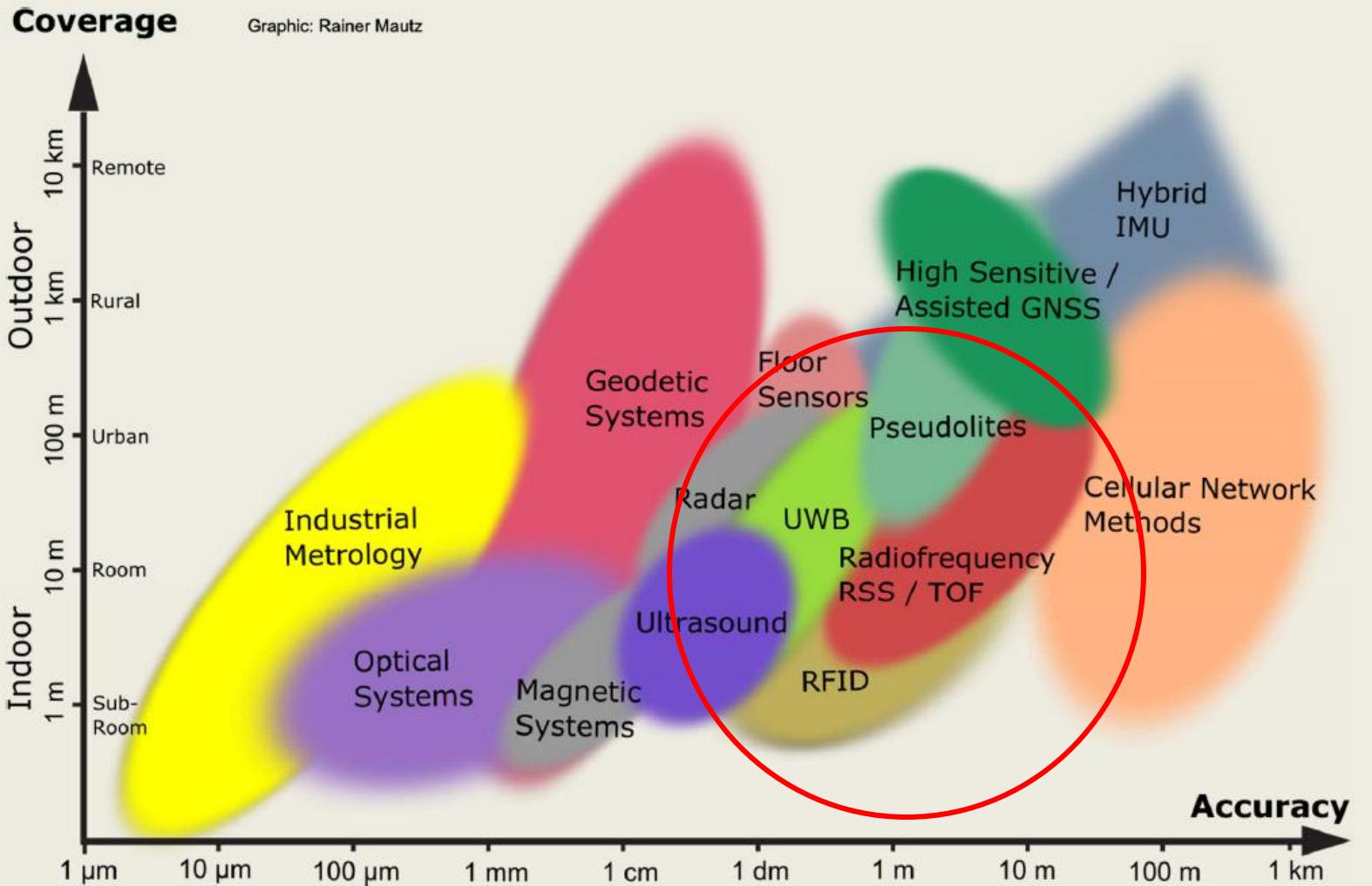


Active RFID Tag and Reader, Seco et al. (2010)



Passive RFID Tag, Bates (2007)

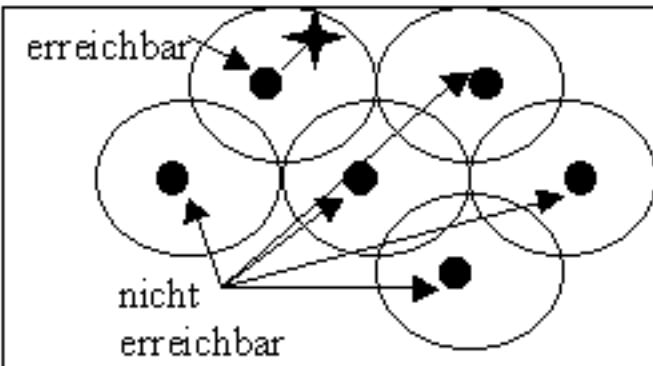
# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



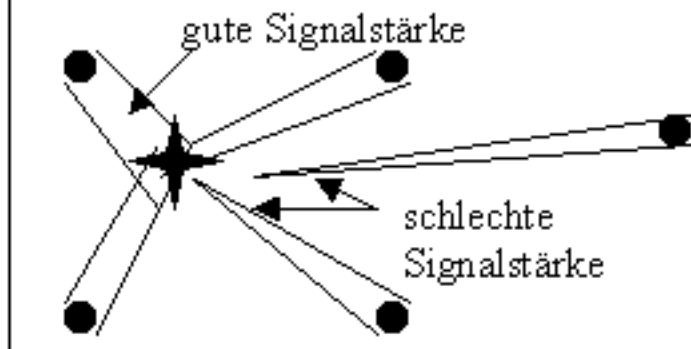
Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

## Funkbasierte Basistechniken

Cell  
Of Origin  
(CoO)

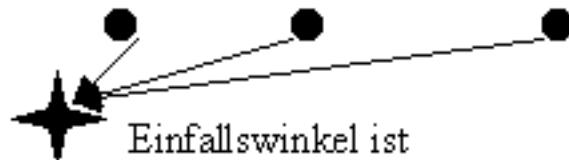


a) ● Sender ✪ Empfänger



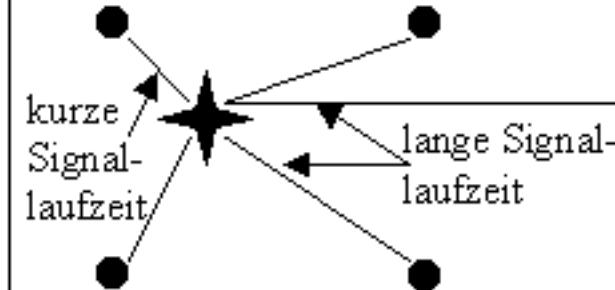
b) ● Sender ✪ Empfänger

Angle  
Of  
Arrival  
(AoA)



Einfallswinkel ist umso steiler, je näher der Sender am Empfänger ist

c) ● Sender ✪ Empfänger



d) ● Sender ✪ Empfänger

Receive  
Signal  
Strength  
(RSS)

Time  
Of  
Arrival  
(ToA)

Quelle: Diplomarbeit E. Fischer

## Laufzeitbasierte Verfahren

Zusammenhang von Weg **s** und Zeit **t** über die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen:

$$\mathbf{s}_i = \mathbf{c} * \mathbf{t}_i \quad \text{mit } c = 299792 \text{ km/s} \quad (3 \text{ m Weglänge} = 10 \text{ ns})$$

TOA (Time of Arrival)

- alle Uhren (Takte) laufen synchron
- aus der Zeitmessung folgt unmittelbar die Entfernung

TDOA (Time Difference of Arrival)

- die Uhren (Takte) der Basistationen laufen synchron,
- die Uhr des Mobilteils muss kurzzeitstabil sein

DTDOA (Differential TDOA)

- alle Uhren müssen relativ zueinander kurzzeitstabil sein

RToF (Round-Trip Time of Flight)

- alle Uhren müssen kurzzeitstabil sein

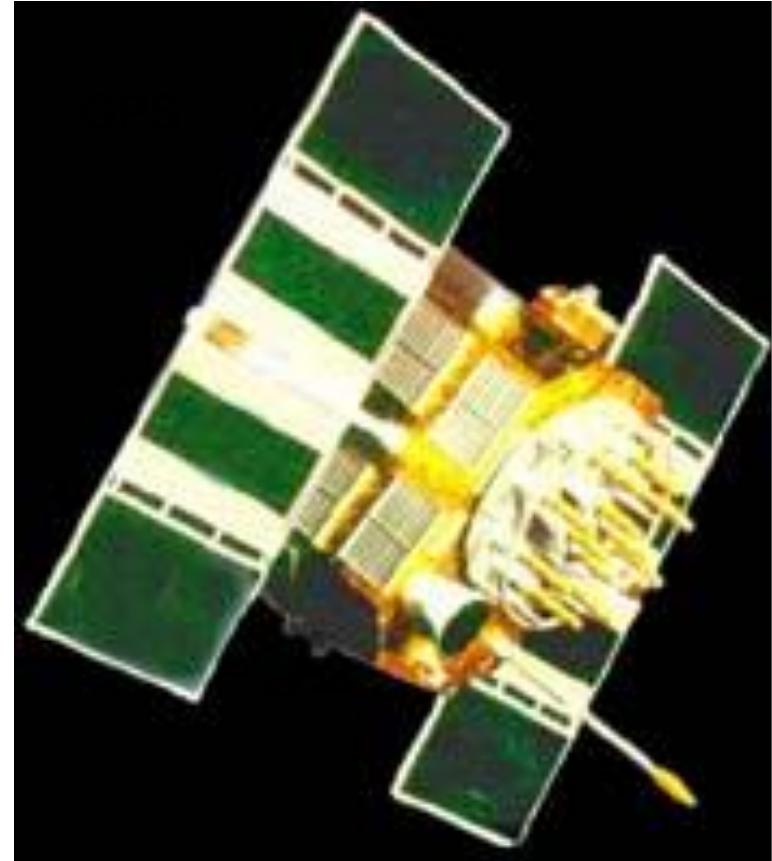
## Cramer-Rao-Schranke

$$\sigma_{\text{CRLB}}^2 \approx \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot 2T \cdot \frac{P}{N_0} \int_{-\frac{B}{2}}^{+\frac{B}{2}} f^2 S(f) df}$$

- Mit zunehmendem Signalgeräuschverhältnis P/N nimmt die Schranke ab, d.h. die Laufzeitschätzung verbessert sich.
- Mit zunehmender Mittelungszeit T nimmt die Schranke ab, d.h. die Laufzeitschätzung verbessert sich.
- Durch eine Bandbegrenzung B wird die Cramer-Rao-Schranke angehoben, d.h. die Laufzeitschätzung verschlechtert sich.
- Die Signalleistung sollte in den Band-Ecken konzentriert werden, da dann durch die Gewichtung mit  $f$  die Schranke am niedrigsten ausfällt!

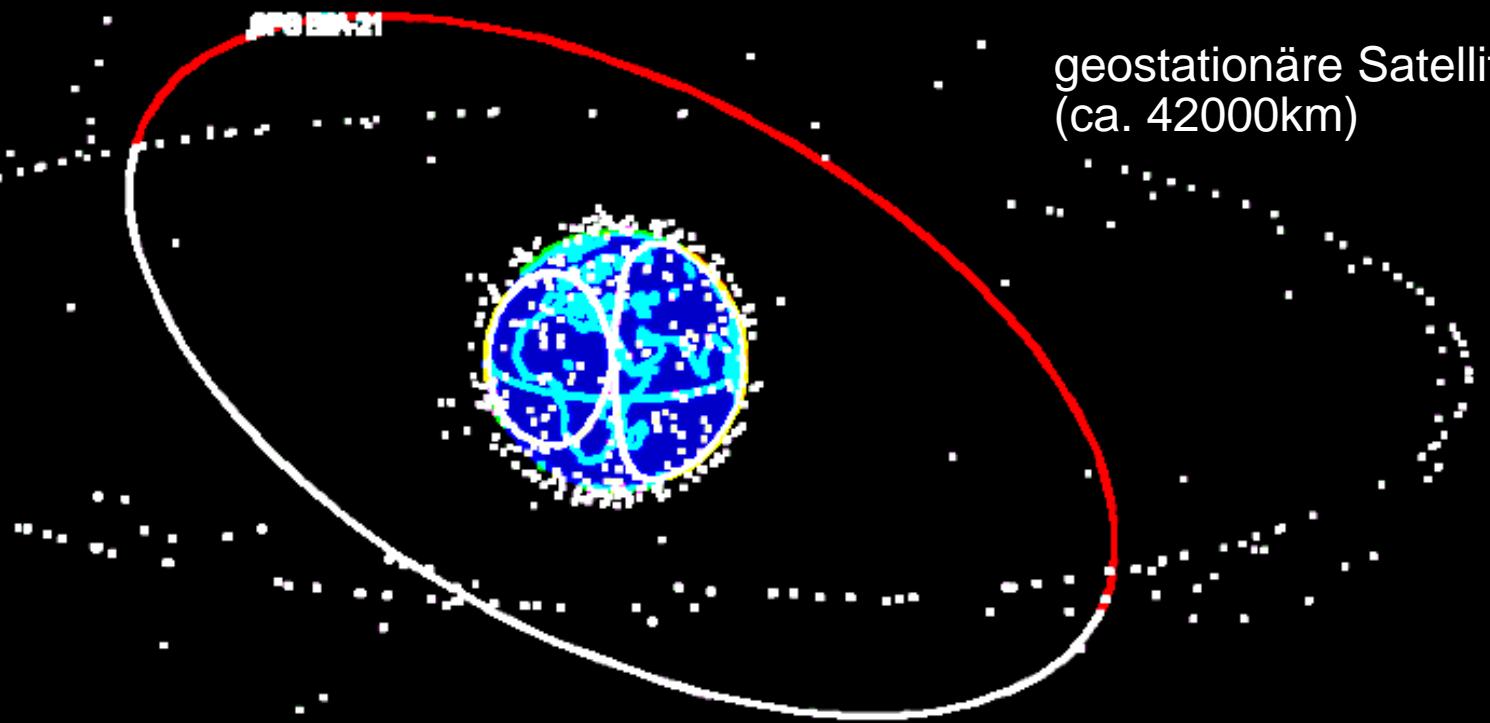
## Absolute Positionsbestimmung

- Satellitengestützt  
**GNSS:** Global Navigation Satellite System, speziell:  
**GPS:** Global Positioning System (USA),  
**Galileo** (EU),  
**GLONASS** (GUS)
- Funkzellen (lokal)  
**GSM:** Global System for Mobile Communications  
**WLAN:** Wireless Local Area Network
- andere lokale Verfahren  
Infrarot, Radar, optische Verfahren  
Laserscanner,



GPS Satellit (ca. 20000km)

geostationäre Satelliten  
(ca. 42000km)



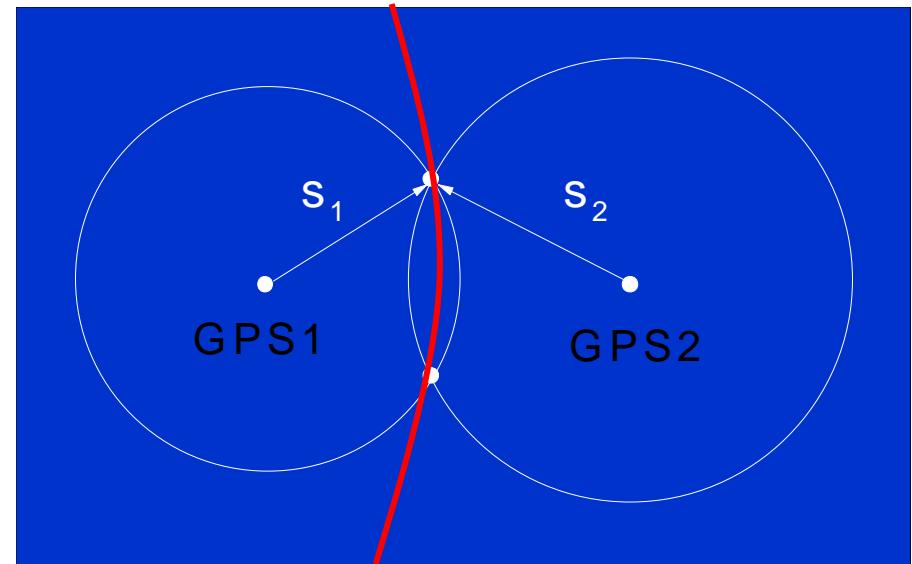
<http://science.nasa.gov/Realtime/JTRACK/3d/JTrack3D.html>

## Absolute Positionsbestimmung

- 2 Satelliten: Messung der zwei Abstände  $s_1$  und  $s_2$

$$s_i = c * t_i$$

- wird  $s_1$  und  $s_2$  indirekt über die Laufzeiten der Signale  $t_1$  und  $t_2$  gemessen, müssen alle Uhren exakt gleich sein.
- sonst ergeben sich mehrere Schnittpunkte, alle liegen auf einer Hyperbel, im Sonderfall  $s_1 = s_2$  auf einer Geraden.



## Absolute Positionsbestimmung

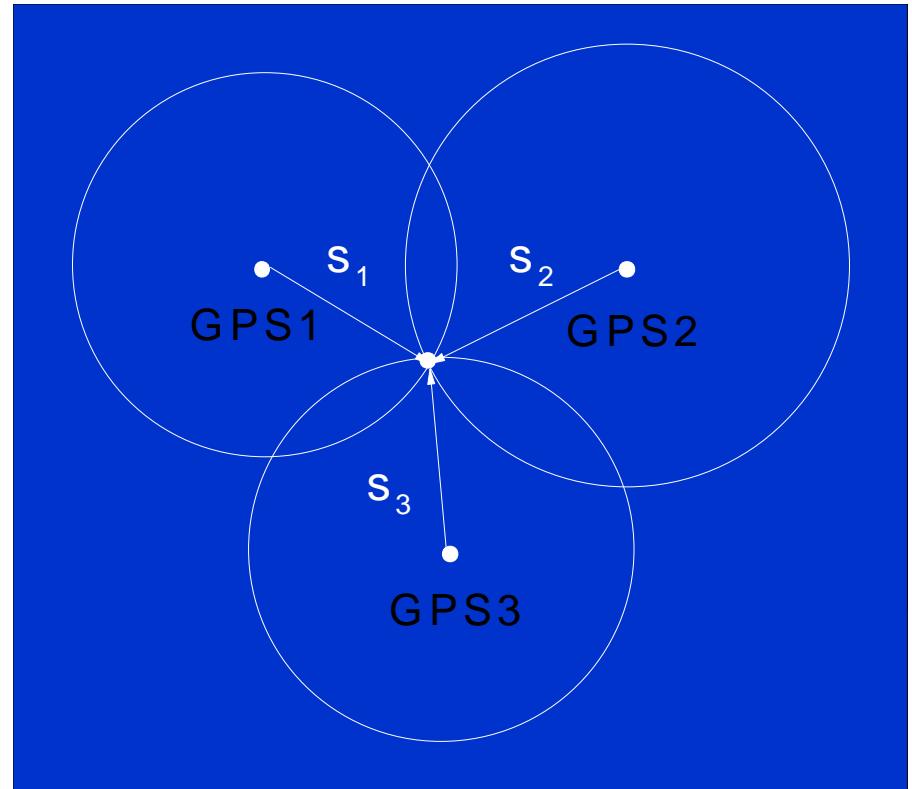
$$\mathbf{s}_i = \mathbf{c} * \mathbf{t}_i$$

- 3 Satelliten in der Ebene:  
Messung der drei Abstände  
 $s_1$ ,  $s_2$  und  $s_3$
- Bei einem Offset im Empfänger  $s_0$  (infolge nicht genauer Empfängeruhr) können 3 Kugelgleichungen bei bekannten Mittelpunkten  $(x_i, y_i)$ ,  $i=\{1,2,3\}$  gelöst werden:

$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = (s_1-s_0)^2$$
$$(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = (s_2-s_0)^2$$
$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = (s_3-s_0)^2$$

und der Offset  $s_0$  ist berechenbar.

- 3 m Weglänge = 10 ns

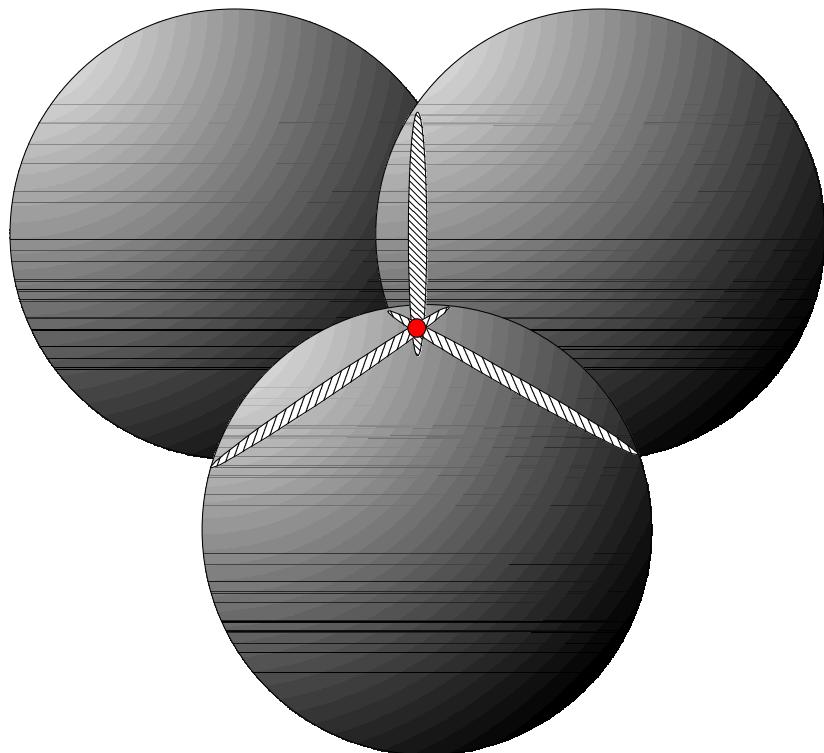


## Absolute Positionsbestimmung

$$\mathbf{s}_i = \mathbf{c} * \mathbf{t}_i$$

- 3 Satelliten im Raum:  
Messung der drei Abstände  $s_1$ ,  $s_2$  und  $s_3$

Räumliche Darstellung:  
Schnittlinie (ideal: Schnittpunkt)  
dreier Kugeloberflächen



- Tritt wieder ein Zeit- bzw Längenoffset im Empfänger auf, erfordert die 3. Raumkoordinate z einen 4. Satelliten.

## GPS Genauigkeit

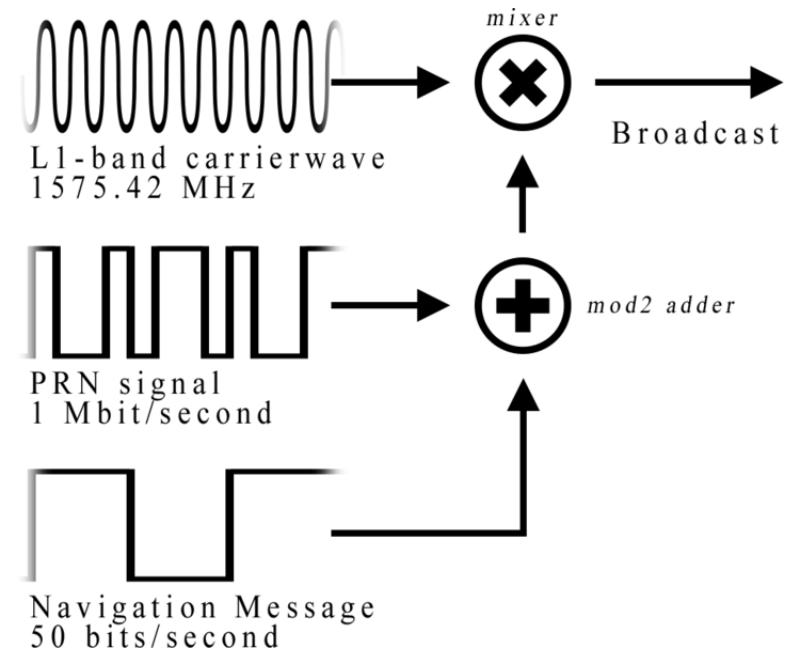
- SPS (Standard Positioning Service)
  - L1-Frequenz 1575.42 MHz
  - C/A (Coarse/Acquisition) Code mit S/A (Selective Availability, nicht mehr aktiv) **100 m (68%)**
  - C/A Code ohne S/A **30 m (68%)**
- PPS (Precise Positioning Service)
  - L1/L2-Frequenz 1575.42 / 1227.6 MHz
  - P/Y (Precision Encrypted) Code **16 m (68%)**

GPS erfordert – wie alle Satellitenkommunikationen – Sichtverbindung!

## GPS Signals

- **L1:** C/A (Coarse/Acquisition)
- 1575,42 MHz
- Spread Spectrum Modulation
- Chips: 1023 bit @ 1ms (1023 Mcps)
- Gold Code
 
$$G1 = 1 + x^3 + x^{10}$$

$$G2 = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}$$
- > 32 (up to 200) useful code shiftings between G1, G2 with low cross correlation
- Message: 50 bit/s
- low bandwidth (1 ms Chip -> 1 MHz)
- **L2:** P/Y (Precision/encrypted) 1227,60 MHz
- **L5:** 1176,45 MHz (2010+) traffic, safety of life



Die folgenden Bilder stammen aus:

GLOBAL POSITIONING SYSTEM, STANDARD POSITIONING SERVICE SIGNAL SPECIFICATION., 2nd Edition  
June 2, 1995 <http://www.gps.gov/technical/ps/1995-SPS-signal-specification.pdf>

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung

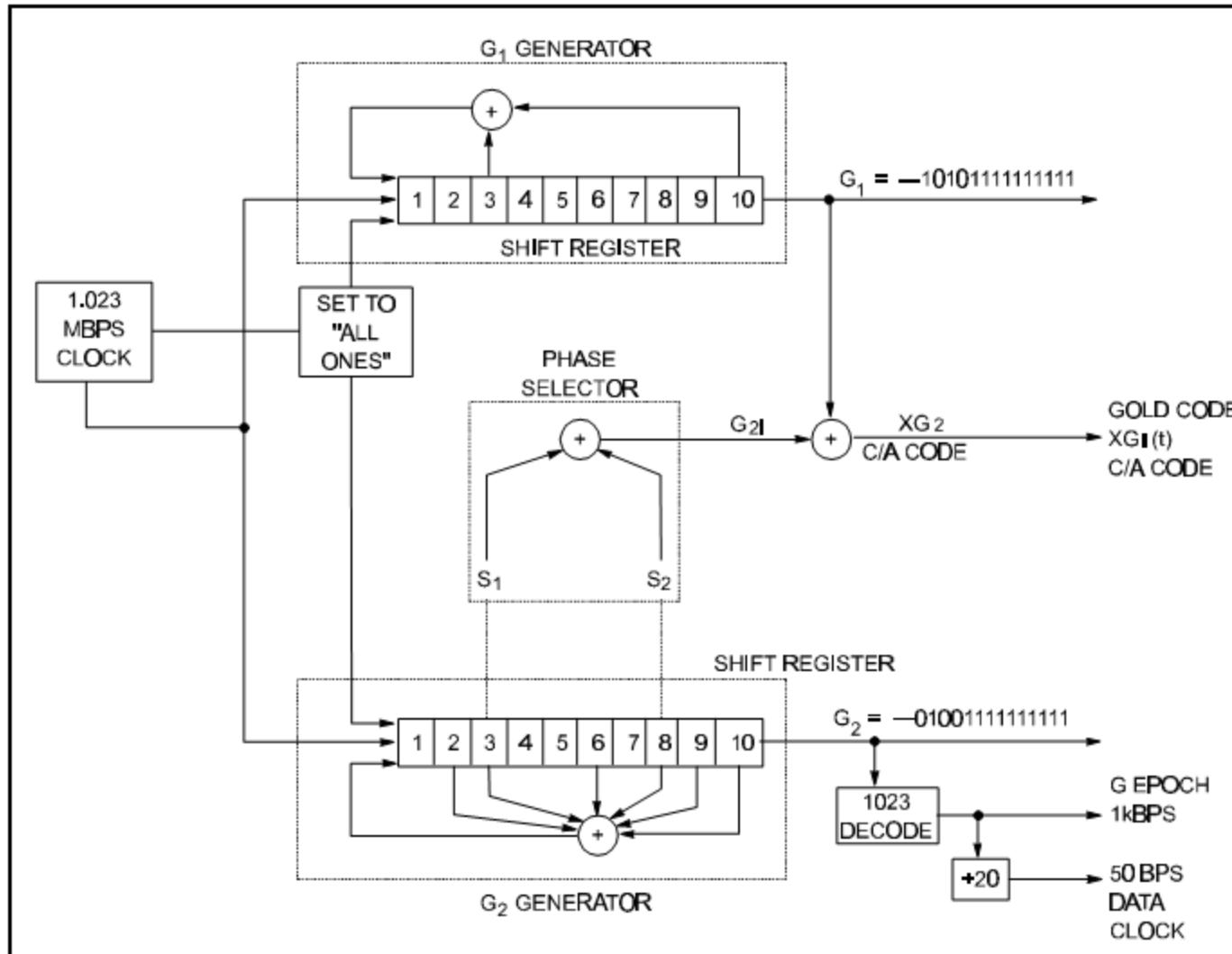


Figure 2-4. C/A-Code Generation

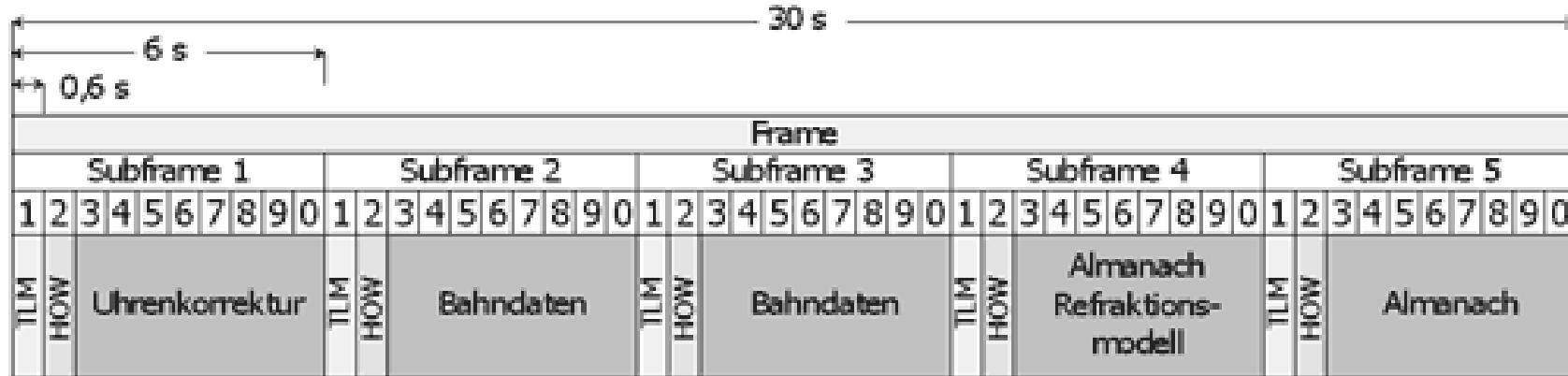
## GPS Signals

Das Datensignal ist in 25 Blöcke (frames) mit jeweils  $5 * 30 = 1500$  bit  
 Zur Übertragung jedes Frames werden  $5 * 6 = 30$  Sekunden benötigt.

Das vollständige Datensignal besteht demnach aus 37500 bit (12,5 Minuten)  
 TLM (telemetry word) enthält Informationen zur Aktualität der astronomische  
 Positionstabellen (Ephemeridendaten) in Subframe 2/3.

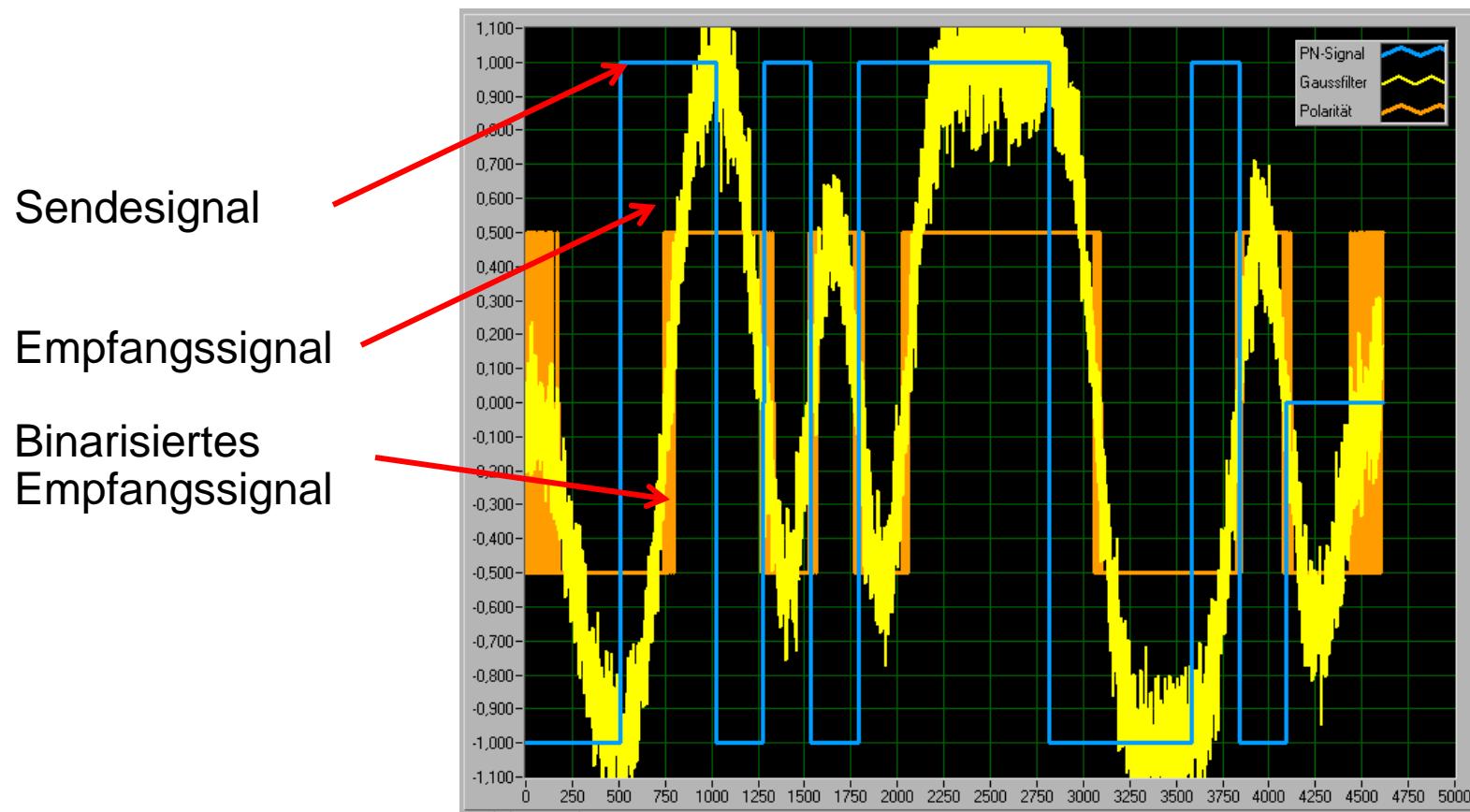
HOW (hand over word) die Anzahl der gezählten Epochen für P-Code  
 und TOW (Time of Week since Sunday 0:00),  $\text{HOW}=\text{TOW}/4$

Subframe 4/5: Satellitenpositionen (Almanachdaten)



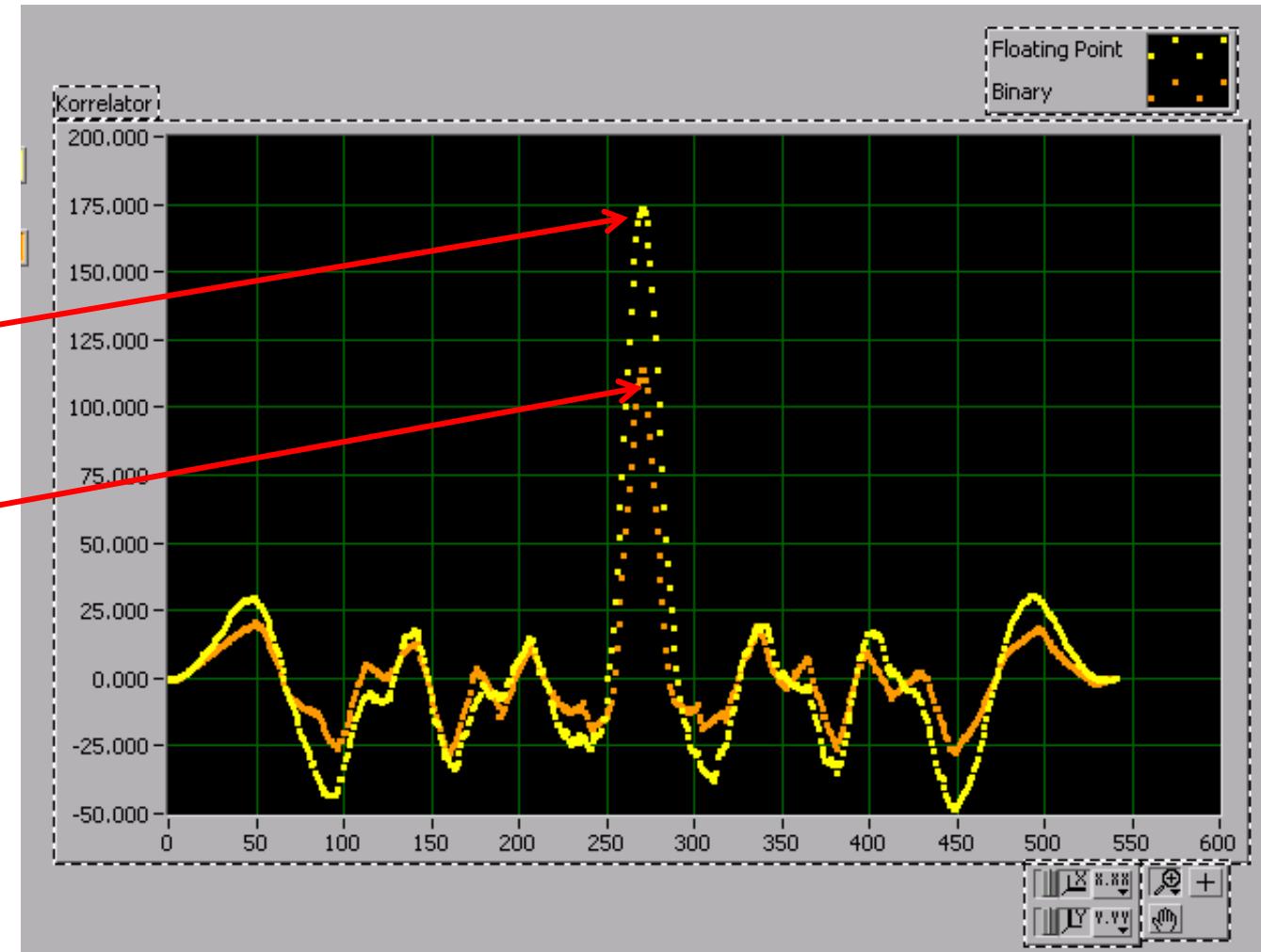
Aufbau eines Frames (<http://www.kowoma.de/gps/Signalaufbau.htm>)

## Empfänger für laufzeitbasierte Verfahren



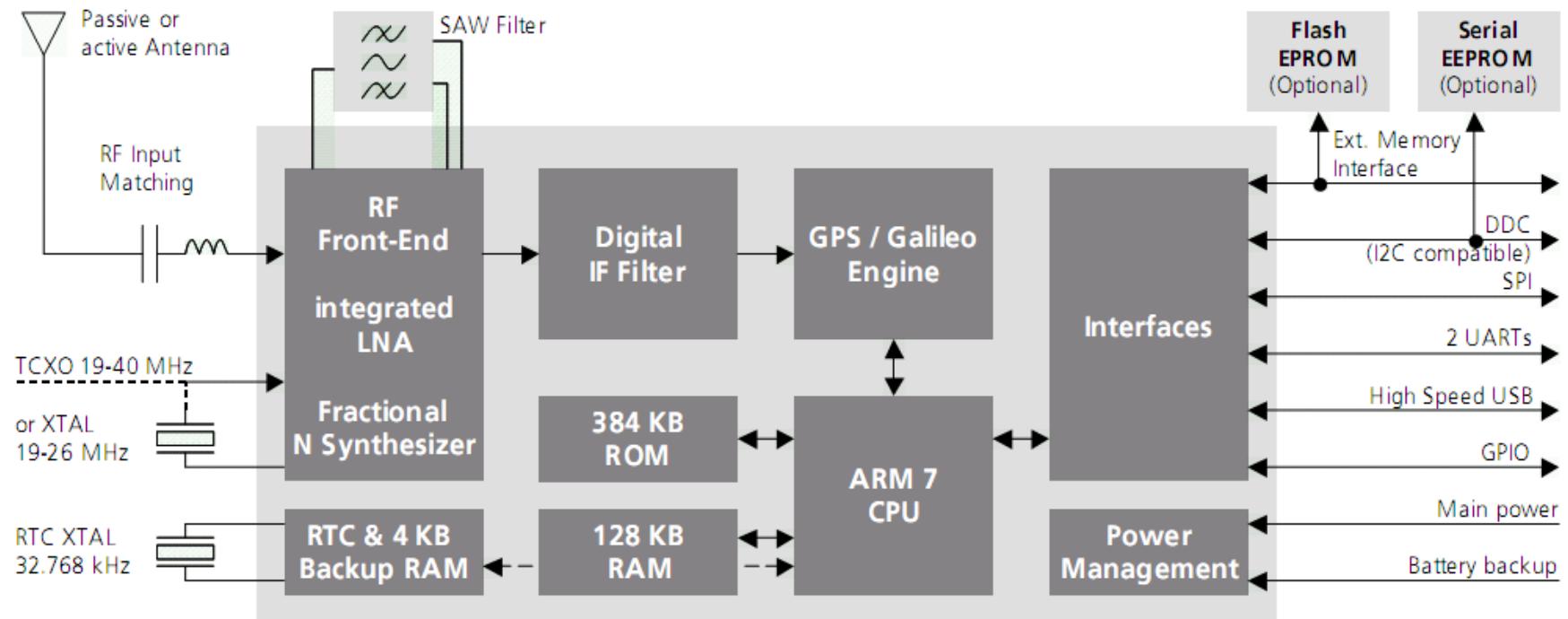
## Empfänger

Korrelation  
Empfangssignal  
Binarisiertes  
Empfangssignal

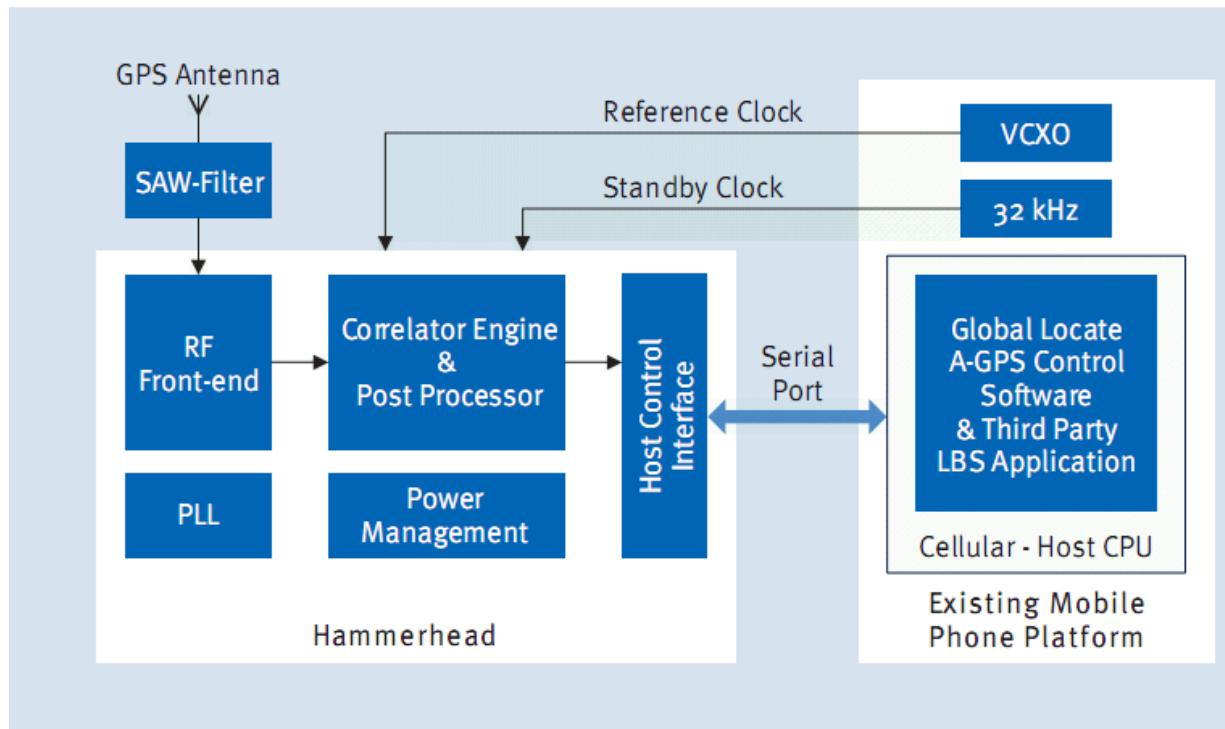


## Beispiel 2: U-blox 5 Single Chip GPS UBX G5010 (32 Kanäle)

### Block Diagram



Infinion Hammerhead PBM 2525  
Assisted GPS (UMTS, GSM)  
„cold start“ 1 second@5 m accuracy



## Übertragung des GPS Prinzips auf Innenräume:

Basisstationen:

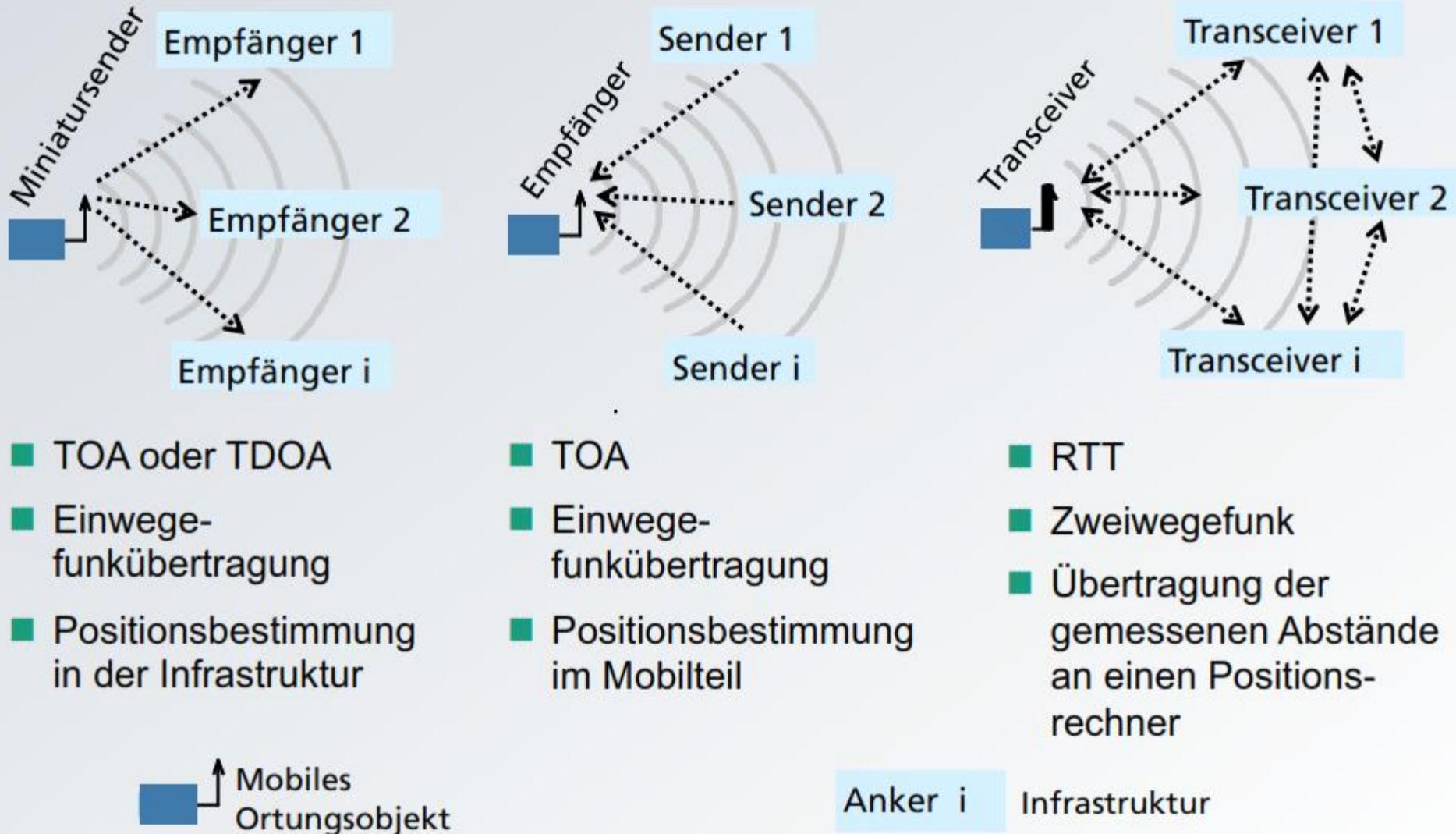
- fest bzw. unbeweglich gegenüber der Erde
- keine synchronen (Atom-) Uhren
- können ggf. kooperativ Lokalisierung unterstützen

Mobilteil:

- beweglich im Raum,  
ggf. handover zu angrenzenden Nebenräumen

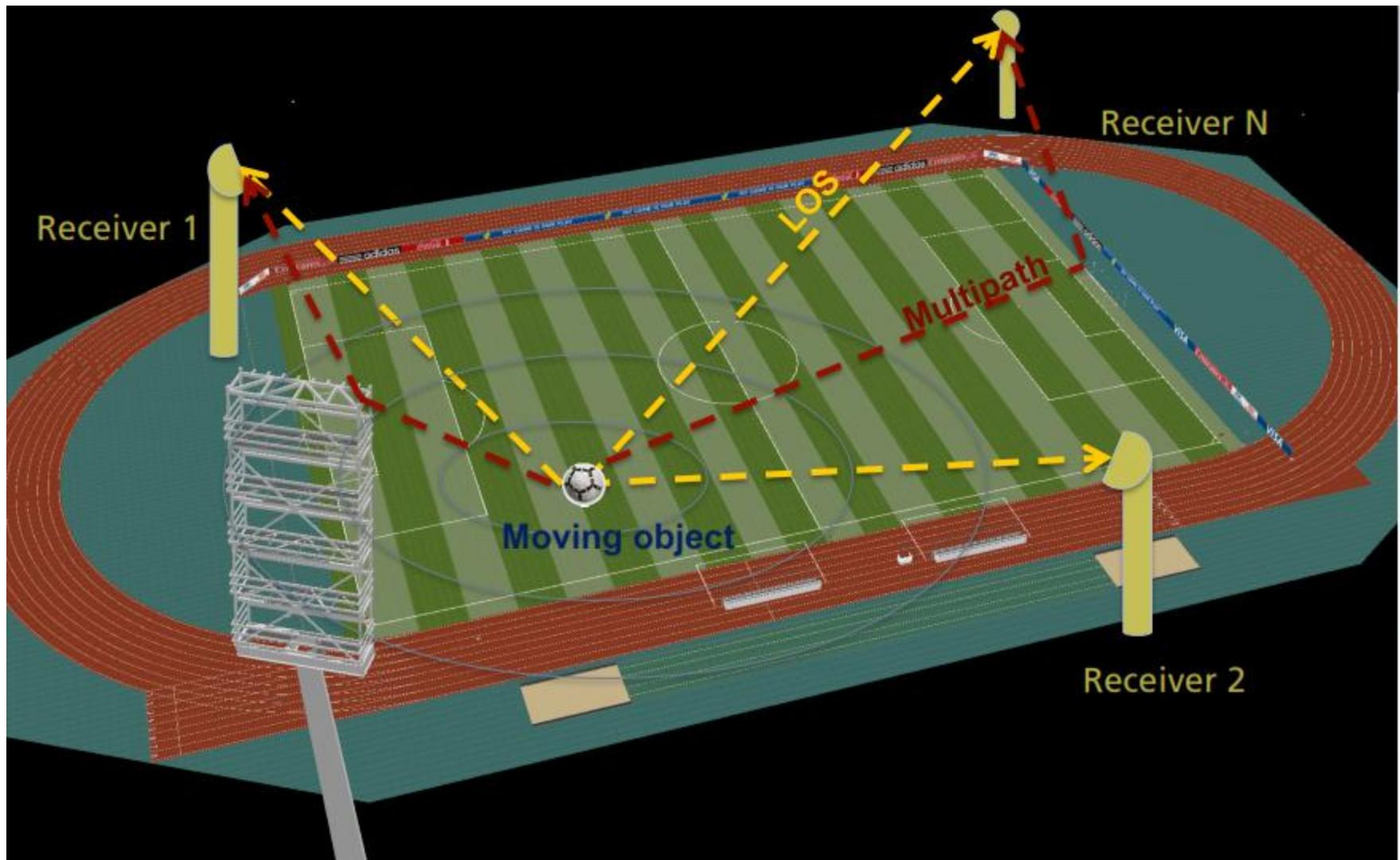
Herausforderungen :

- Nutzung vorhandener WLAN – Strukturen
- Nutzung von handelsüblichen Mobilteilen
- Verknüpfung von Kommunikation und Lokalisierung



Quelle: N. Franke, Technologische Grundlagen der laufzeitbasierten Funkortung 2013

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung

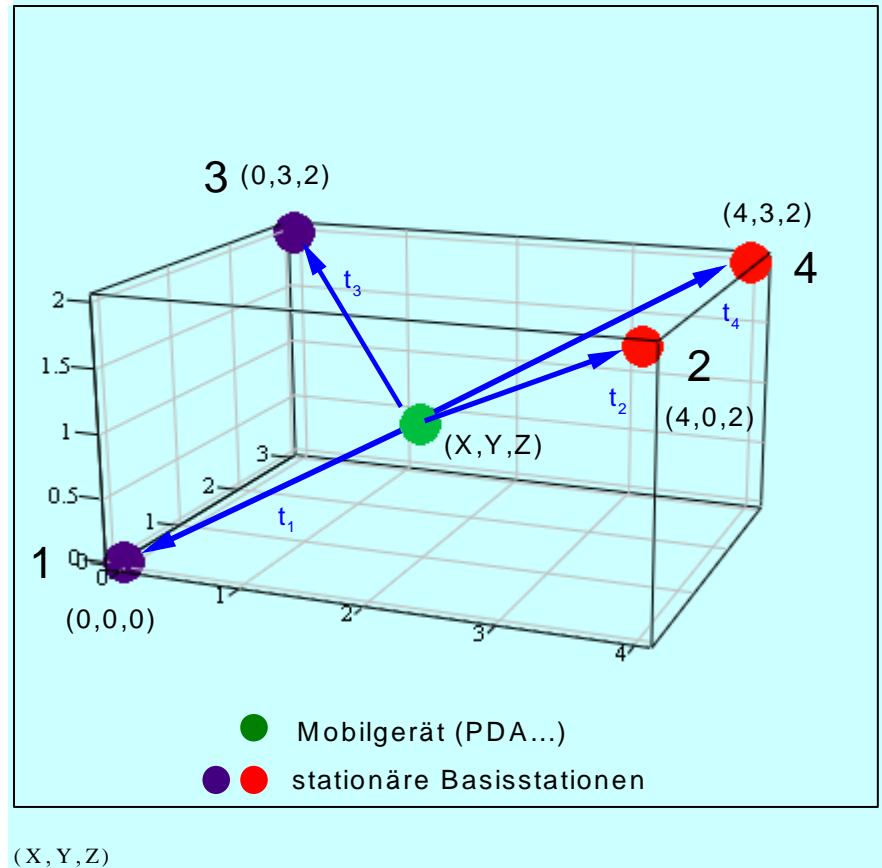


Beispiel aus FHG IIS Nürnberg, N. Franke, Technologische Grundlagen der laufzeitbasierten Funkortung 2013

- 4 Basisstationen 1..4
- Uhrenabgleich  $t_{\text{error}_i}$  durch Zeitmessung  $t_{\text{refi}}$  bei bekannter Geometrie  $s_{0i}$   

$$t_{\text{refi}} = t_{\text{ref1}} + s_{0i}/c + t_{\text{error}_i}$$

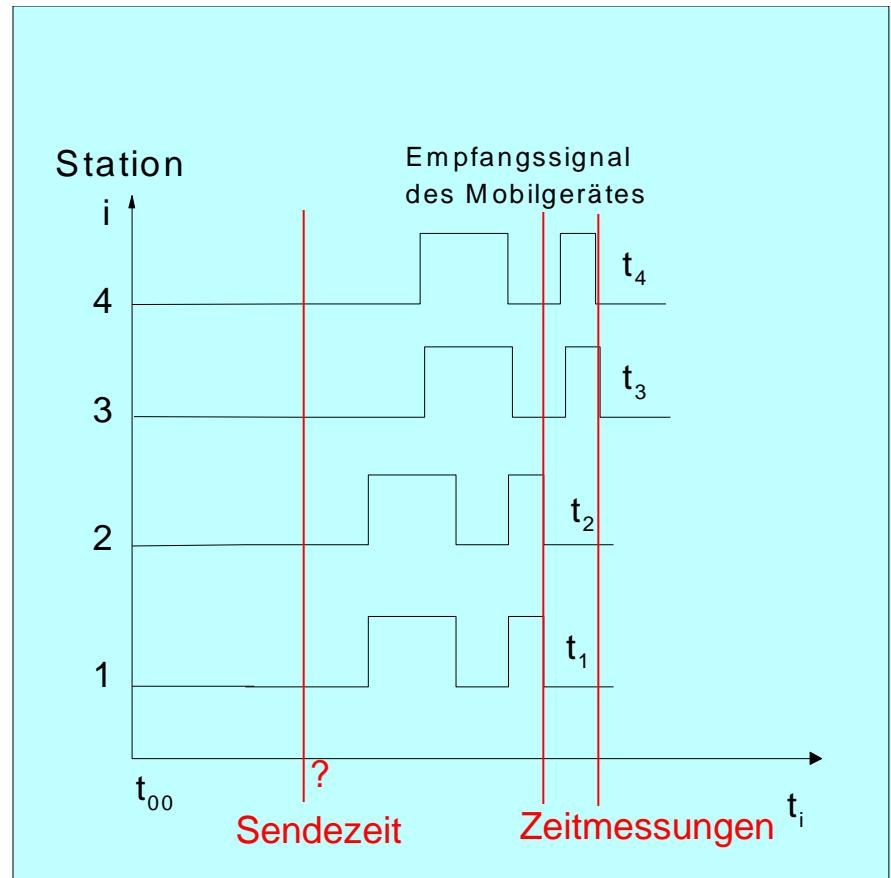
$t_{\text{ref1}}$ : Masterstation 1    ( $i=2..4$ )
- Zeitmessung von speziellen Signalfolgen des Mobilgerätes ergibt Empfangszeiten  $t_i$
- Uhr des Mobilgerätes muss nicht synchronisiert werden!



- 4 Basisstationen 1..4
- Uhrenabgleich  $t_{\text{error}_i}$  durch Zeitmessung  $t_{\text{refi}}$  bei bekannter Geometrie  $s_{0i}$   

$$t_{\text{refi}} = t_{\text{ref1}} + s_{0i}/c + t_{\text{error}_i}$$

$t_{\text{ref1}}$ : Masterstation 1    ( $i=2..4$ )
- Zeitmessung von speziellen Signalfolgen des Mobilgerätes ergibt Empfangszeiten  $t_i$
- Uhr des Mobilgerätes muss nicht synchronisiert werden!



# Breitbandkommunikation - Lokalisierung

Navigation: Vorige Seite | Zurück | Vor Seite | Nächste Seite | Letzte Seite

$$s_1 := \sqrt{6} \quad s_2 := \sqrt{6} \quad s_3 := \sqrt{9} \quad s_4 := \sqrt{9}$$

Vorgabe

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 - (s + s_1)^2 = 0$$

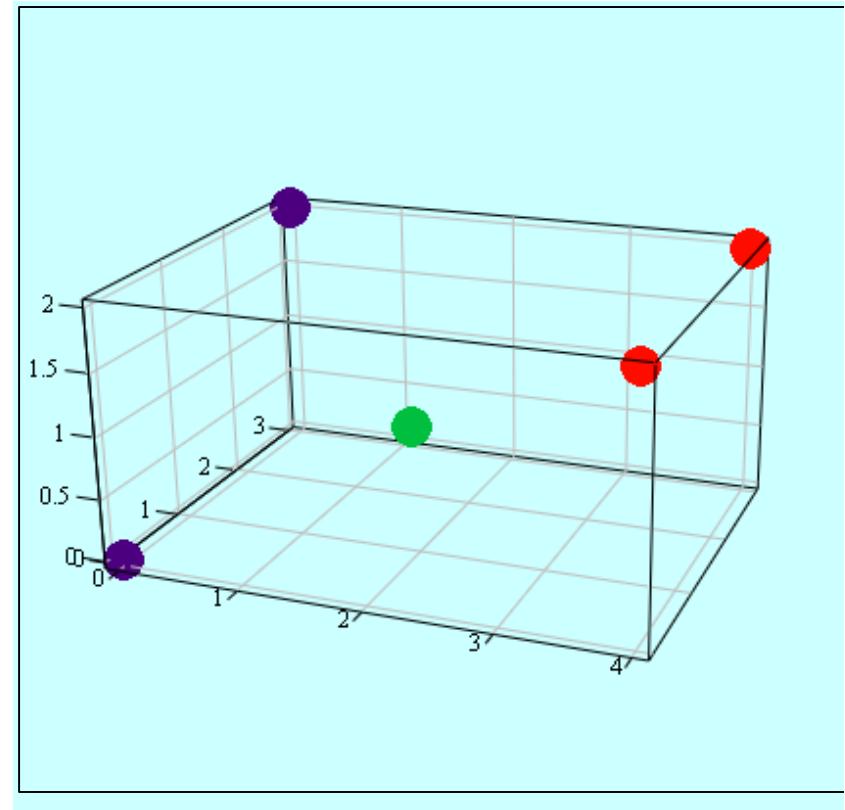
$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 - (s + s_2)^2 = 0$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 - (s + s_3)^2 = 0$$

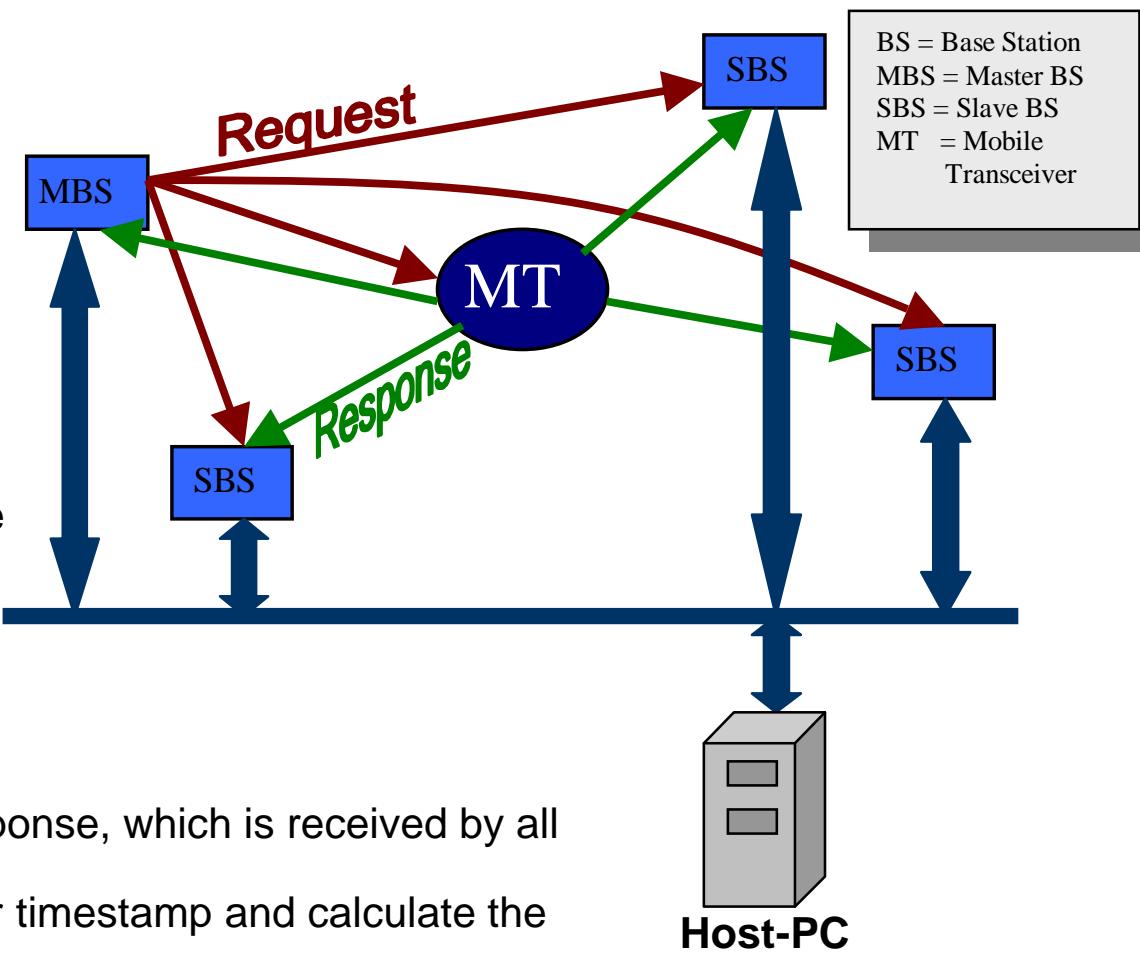
$$(x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 - (s + s_4)^2 = 0$$

P := suchen (X, Y, Z, S)

$$P = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 1 \\ 1.282 \times 10^{-7} \end{pmatrix}$$

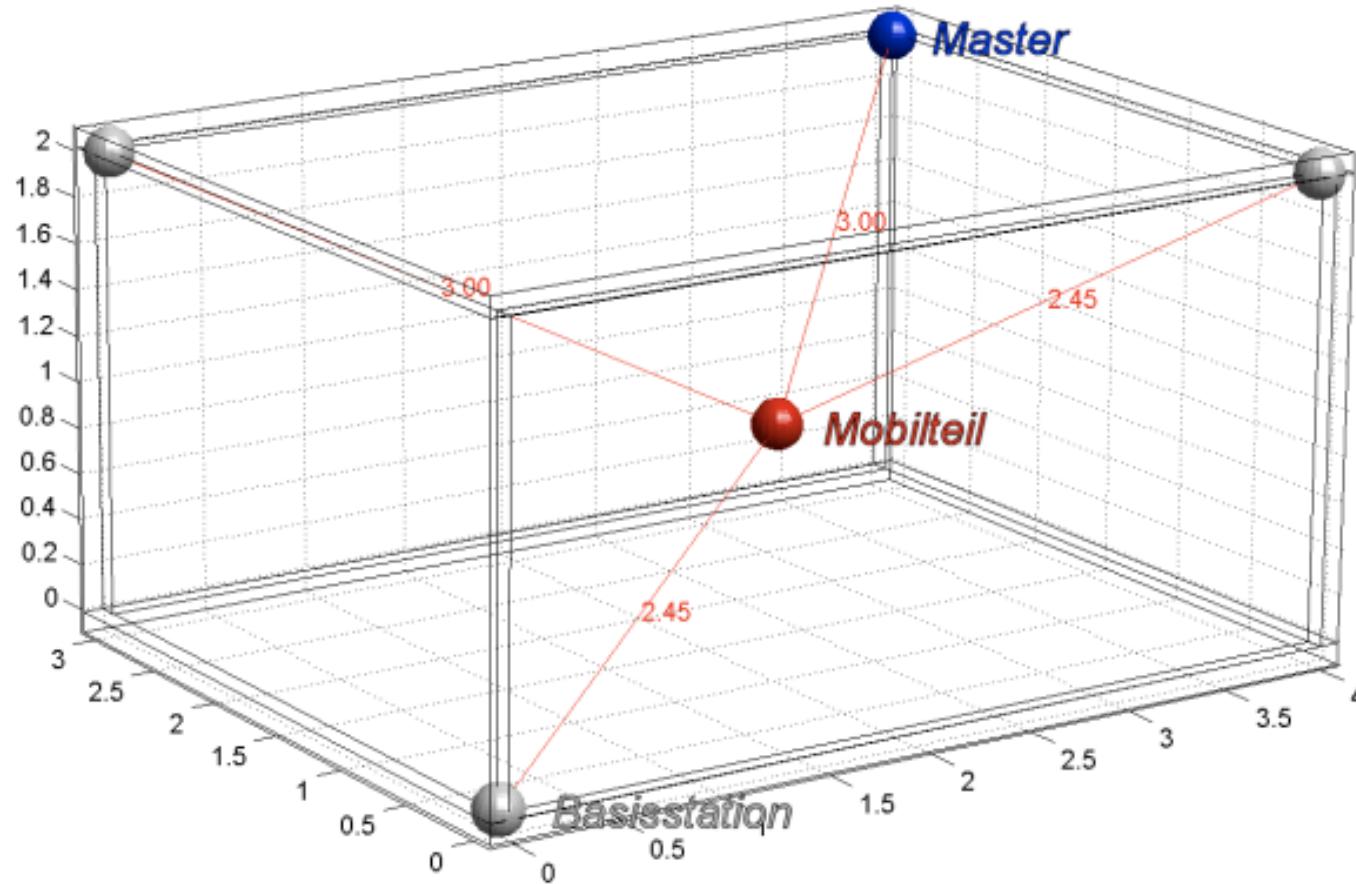


## DTDOA Algorithm (HU Berlin, Diplomarbeit E. Fischer)

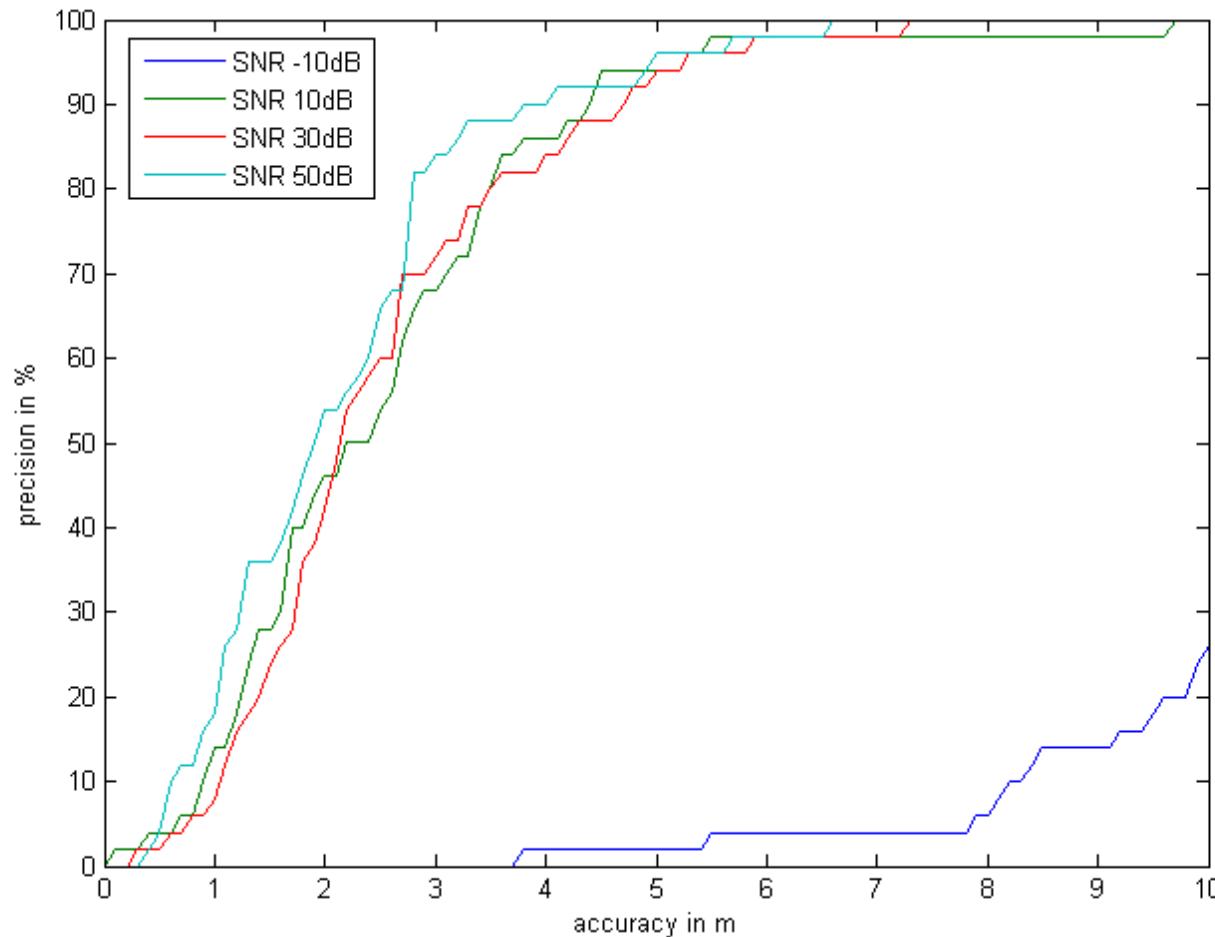


- First - Request:
  - Request is sent by the Master
  - all slaves and the mobile device receive this request
  - the slaves store a timestamp of the arrival
- Second – Response:
  - the mobile device sends a Response, which is received by all slaves and the master
  - the base stations store a further timestamp and calculate the difference
- differences are transferred to a Host-PC, which determines the position of the mobile device

## Simulationsmodell für MATLAB



## MATLAB Simulationsergebnisse (5 GHz)

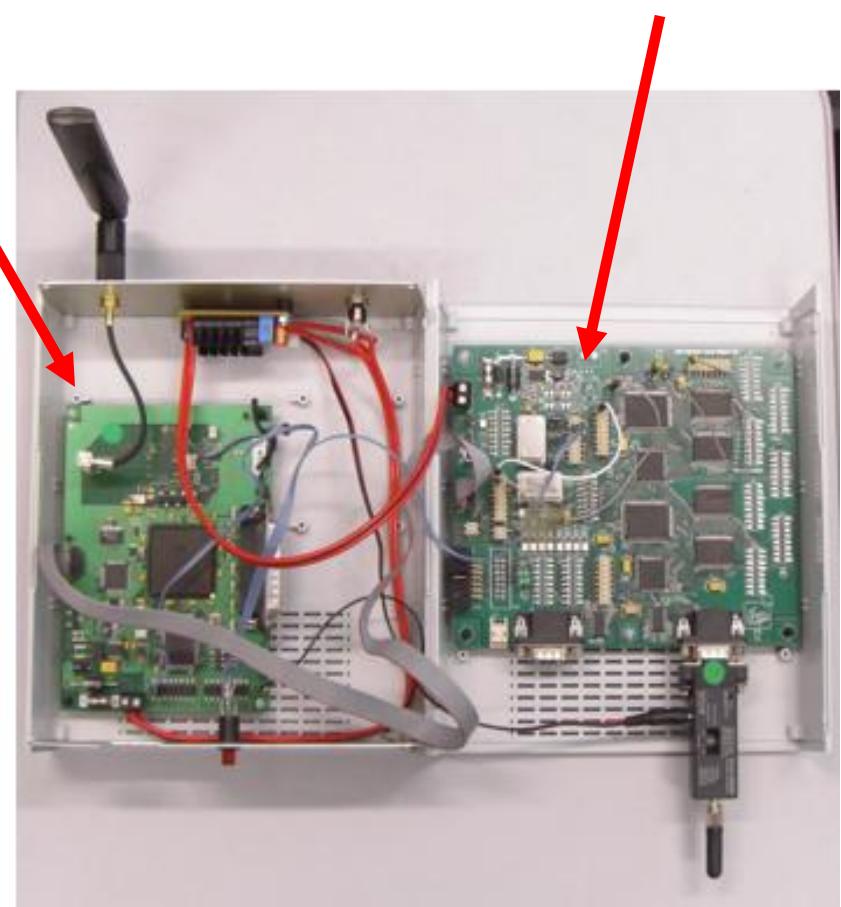


## Testaufbau

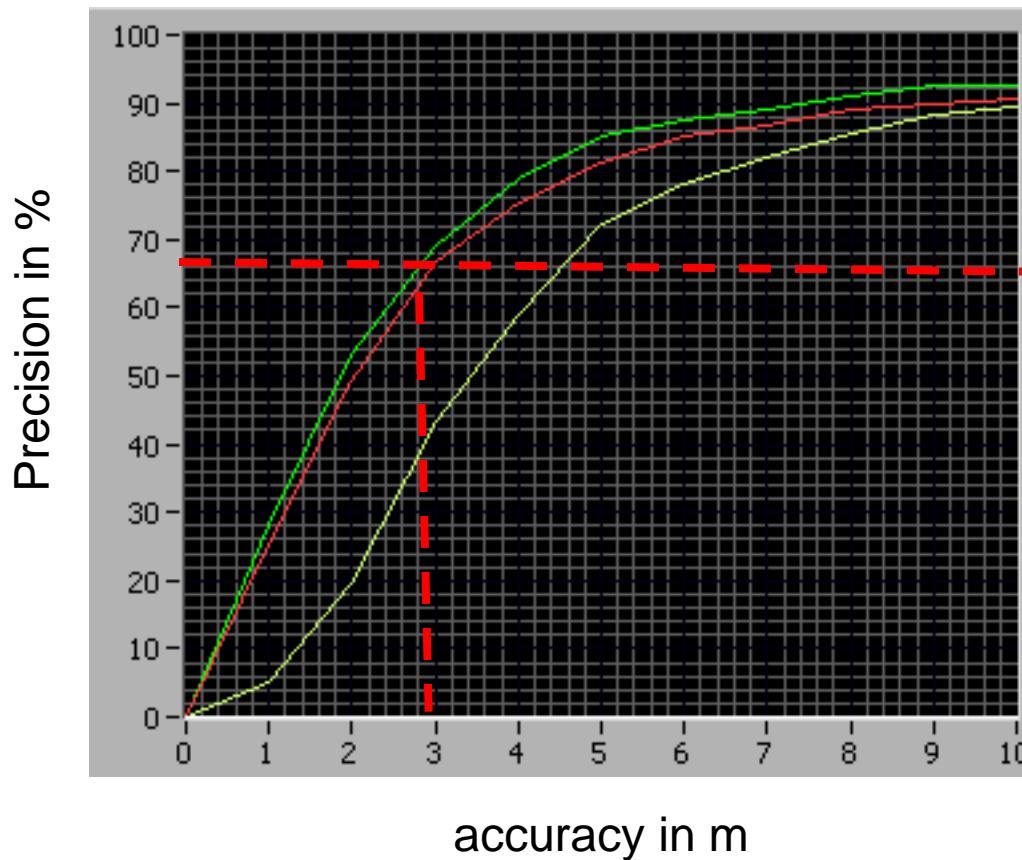
WINDECT-Board (IHP)



Korrelator-LEON-Board (HUB)



## Messergebnisse



X, Y, Z

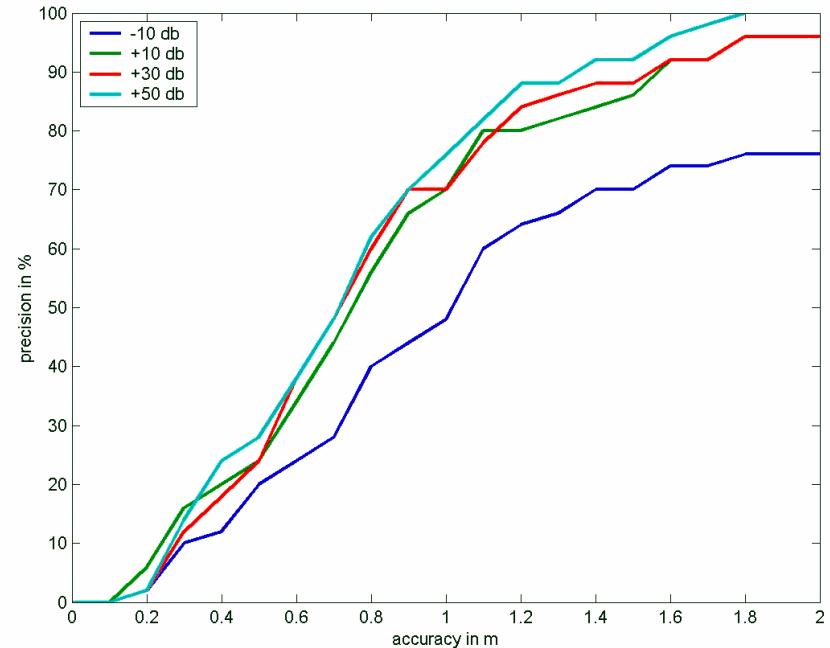
Höhe (Z)  
abh. von Lage  
der Sensoren -  
ungenauere  
Messung,  
d.h. geringere  
Präzision

## 60 GHz Proposal

### 1. Approach - DTDOA

- Simulation was also done for a 60GHz WLAN awgn channel
- The results show an accuracy about 80cm in 70% in the small environment
- we expect less than 1m in 70% per component for a real system
- -> simulation with new 60 GHz channel models

Results of 60 GHz simulation in a small room for different SNRs

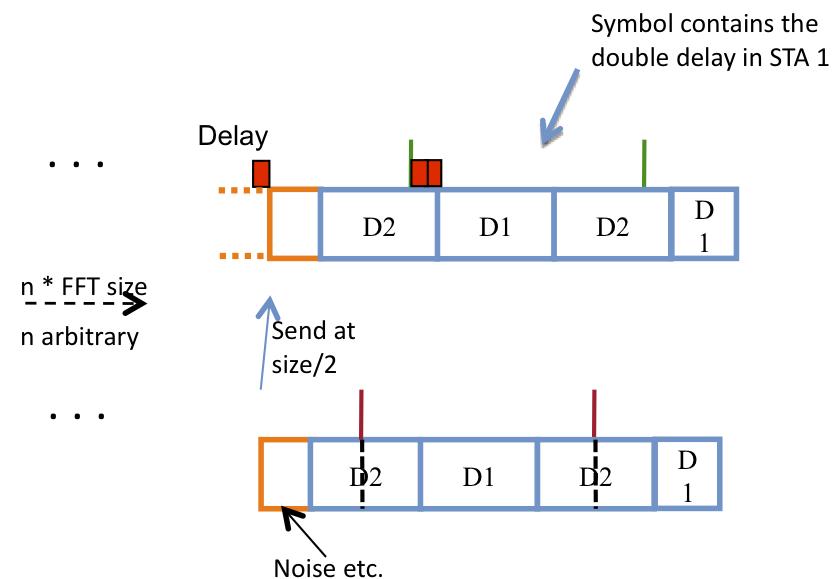
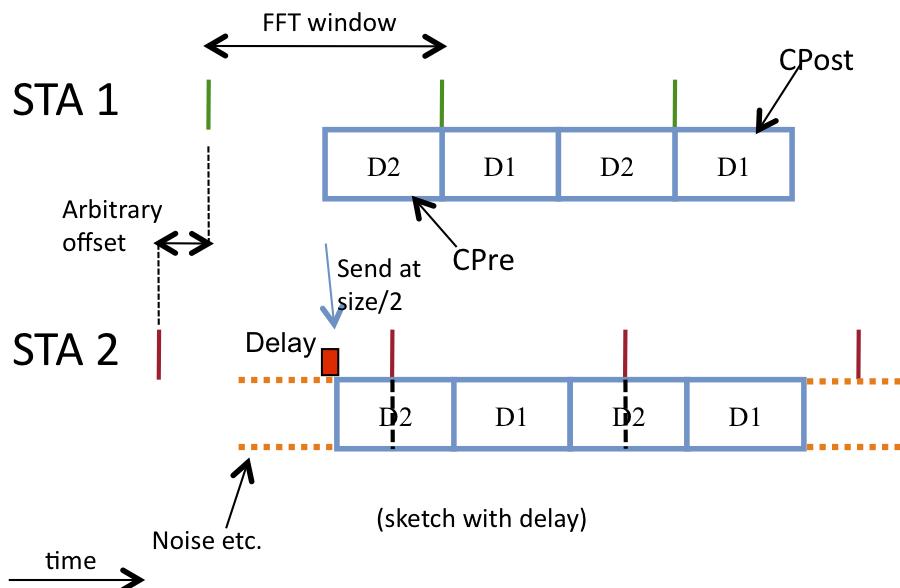


### 2. Approach - Round Trip Phase

- Measuring the round trip phase
- Localisation using the phase difference between transmitter and receiver
- Receiver performs an echo (similar to a reflection) of the signal

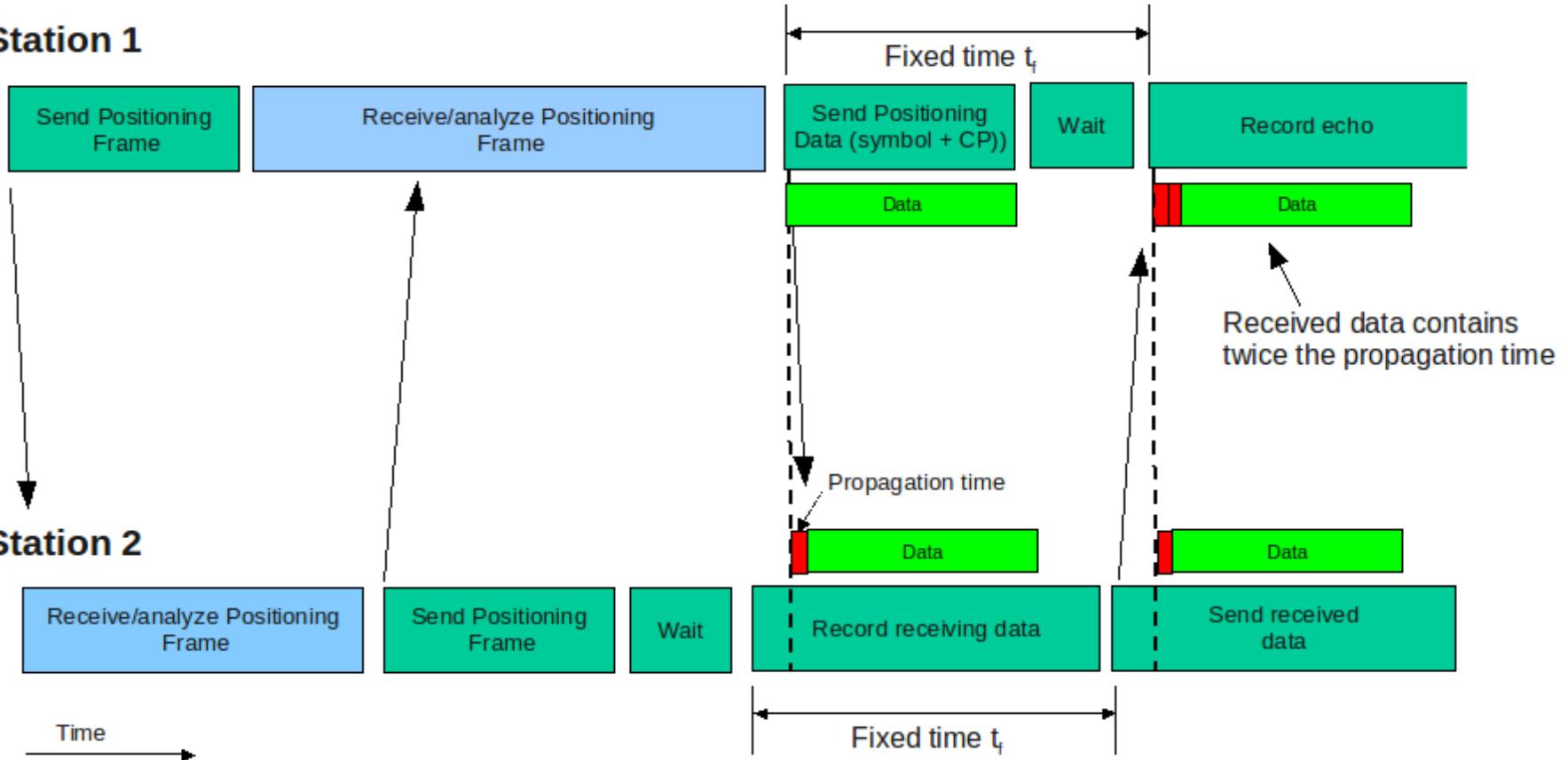
# Round Trip Phase

# Messsprinzip



## Round Trip Phase

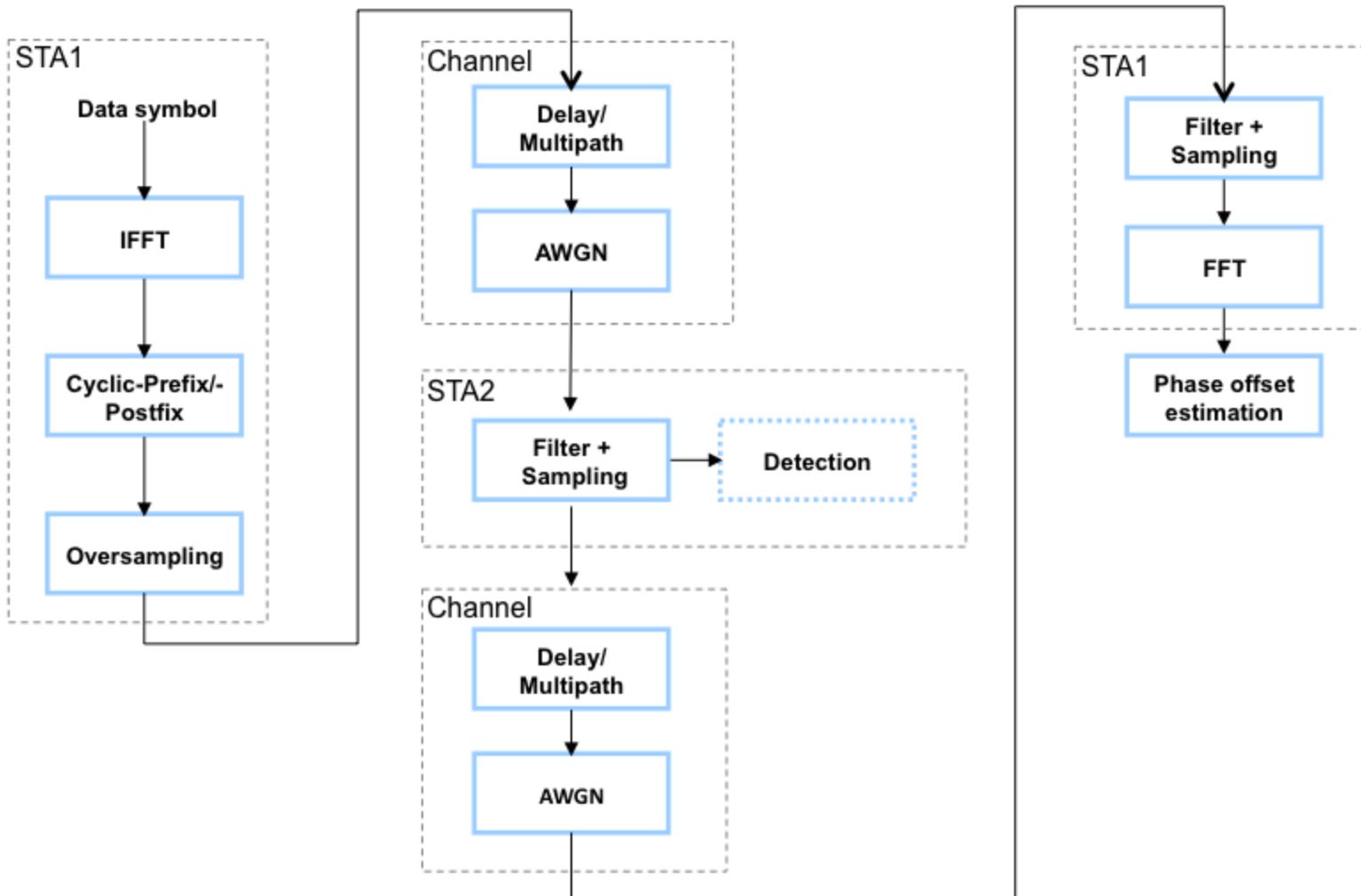
**Station 1**



Vorbereitung

Messung

## Matlab Simulaiton



## Matlab Simulation

STA1

Data symbol

IFFT

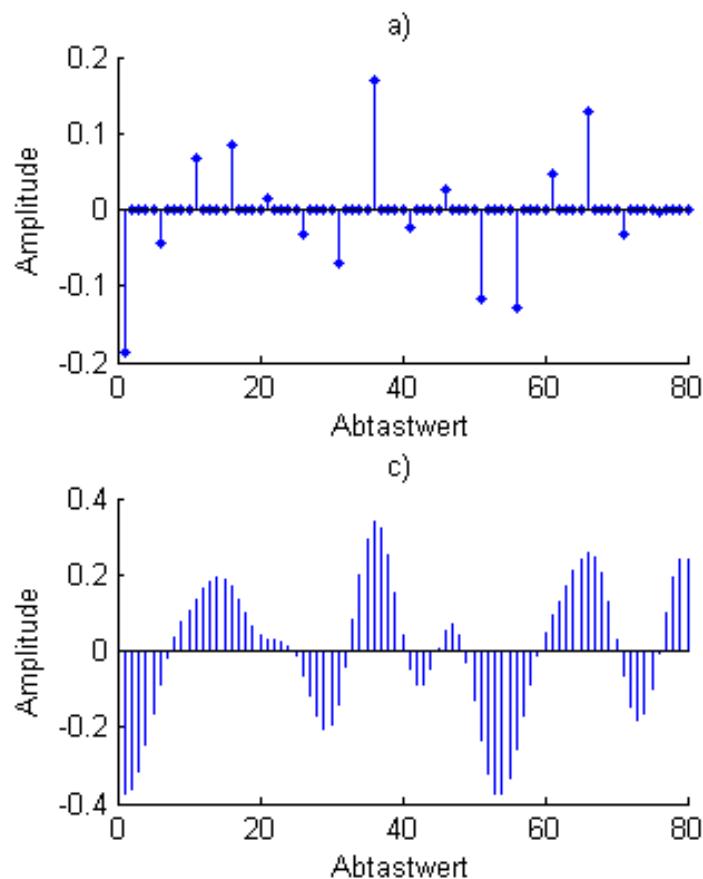
Cyclic-Prefix/-  
Postfix

Oversampling

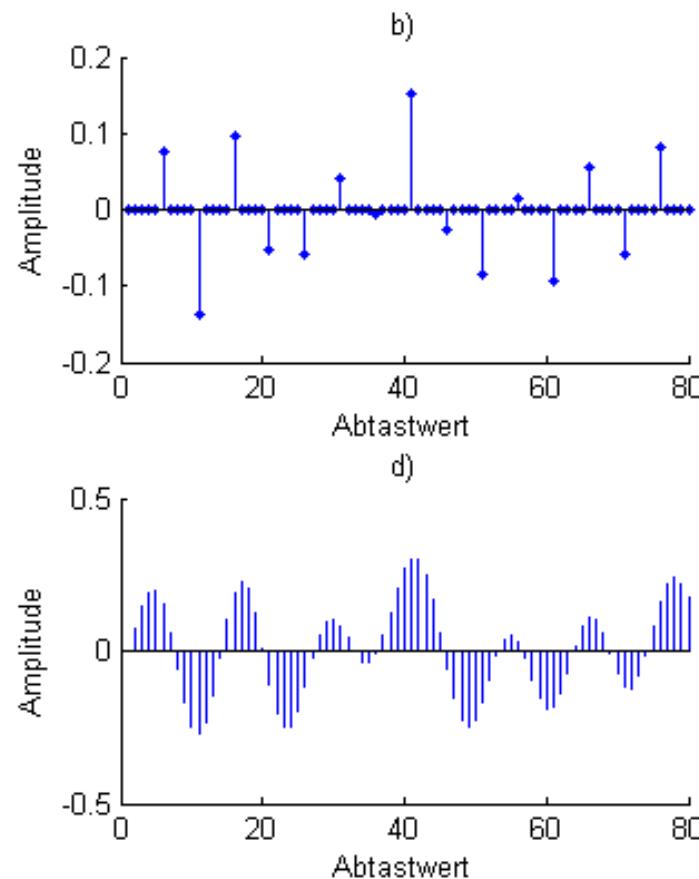
```
% long preamble symbol 802.11a
longPreambleSymbol = [0 0 0 0 0 0 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1
-1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 0 1 -1 -1 1 1
-1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1
-1 0 0 0 0 0];
% perform inverse FFT to get time domain symbol
iLongPreambleSymbol = ifft(longPreambleSymbol);
% Prefix & time preamble symbol & Postfix
tdata = [iLongPreambleSymbol(33:64)
iLongPreambleSymbol iLongPreambleSymbol(1:32)];
% oversampling rate (100MHz/20MHz)
samplingRate = 5;
% zero vector
os_data = zeros(1,samplingRate*length(tdata));
% add data
os_data(1:samplingRate:length(os_data)) = tdata;
% fir filter for transmitter oversampling
fn_tx = samplingRate*64;
Wn_tx = 1/(samplingRate);
firFilter_tx = fir1(fn_tx,Wn_tx);
% filter signal
temp = conv(os_data,firFilter_tx.*10);
% remove filter delay txdata =
temp((fn_tx+1)/2:length(os_data)+(fn_tx+1)/2-1);
```

## Matlab Simulation des Sendesignals

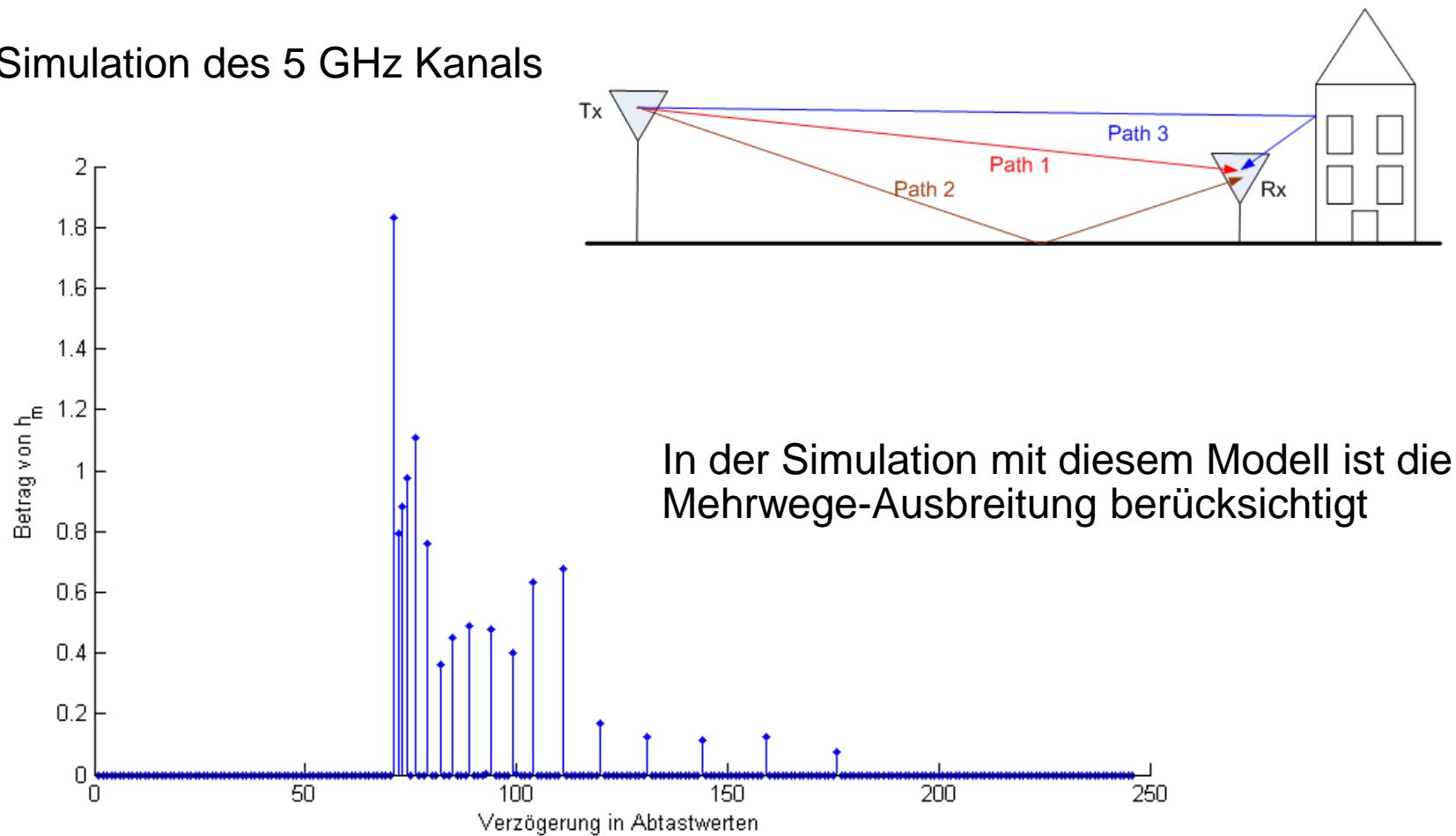
Realteil



Imaginärteil



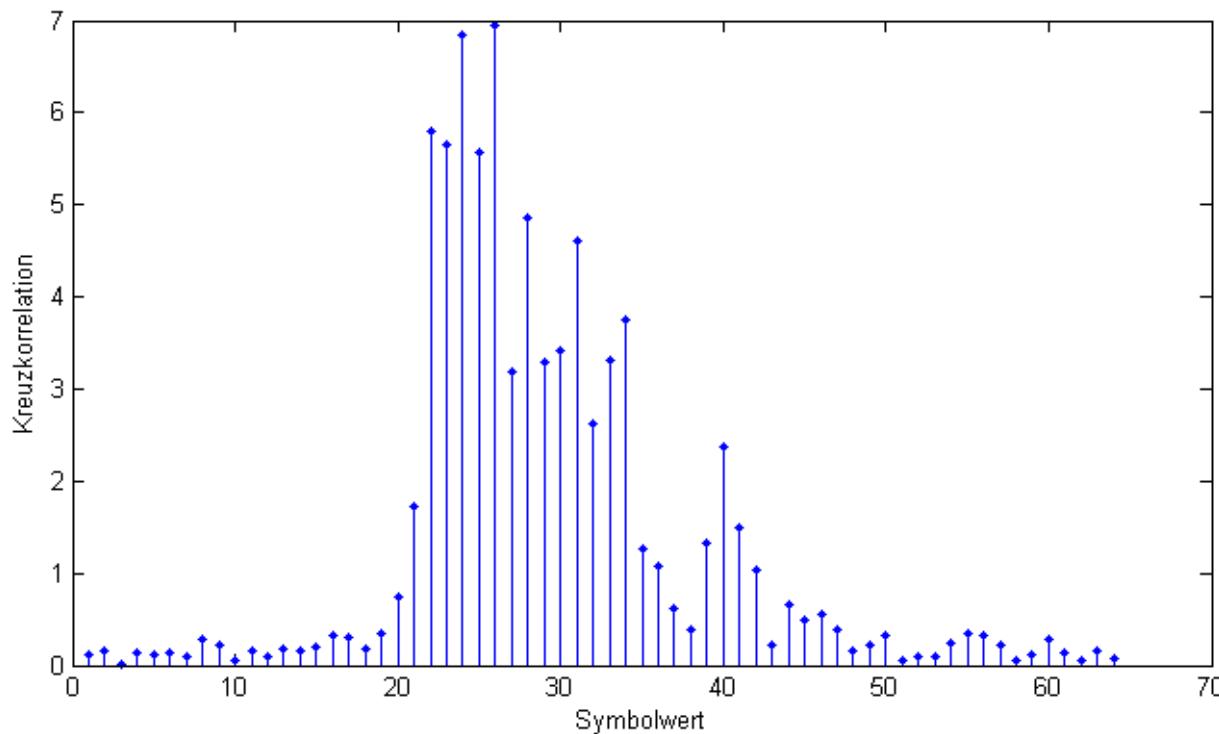
## Matlab Simulation des 5 GHz Kanals



```
% convolve signal with time domain channel  
temp = conv(txdata,tchannel);  
ch_data = temp(1:length(txdata));
```

## Matlab-Simulation des 5-GHz-Kanals

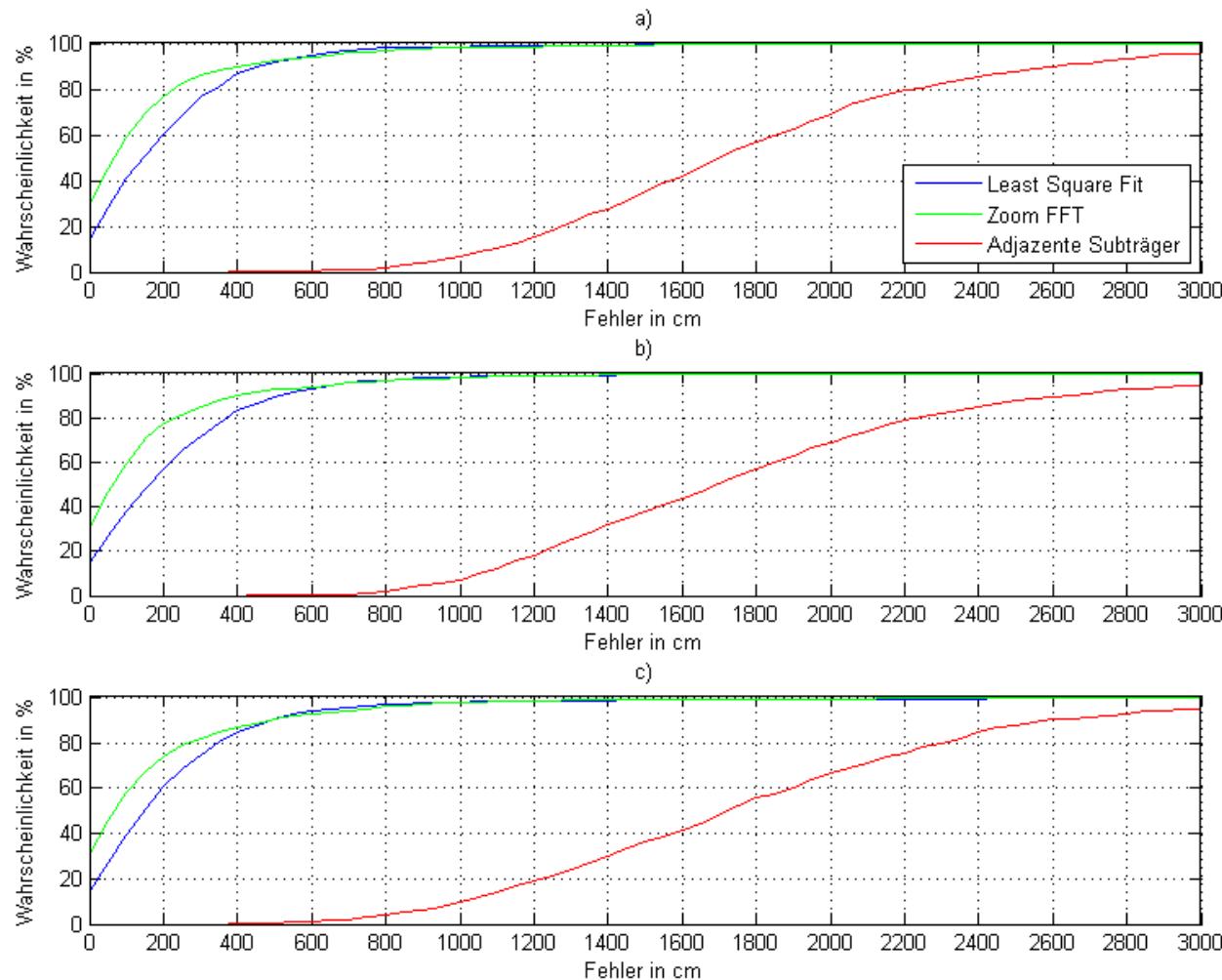
Nachdem das Signal 2 x den Kanal durchlaufen hat, sieht die Kreuzkorrelation mit dem ursprünglichen Sendesignal im Frequenzbereich so aus ....:



s. Diplomarbeit T. Ohlemüller

# Breitbandkommunikation - Lokalisierung

Matlab Simulation der Ergebnisse bei 5 GHz



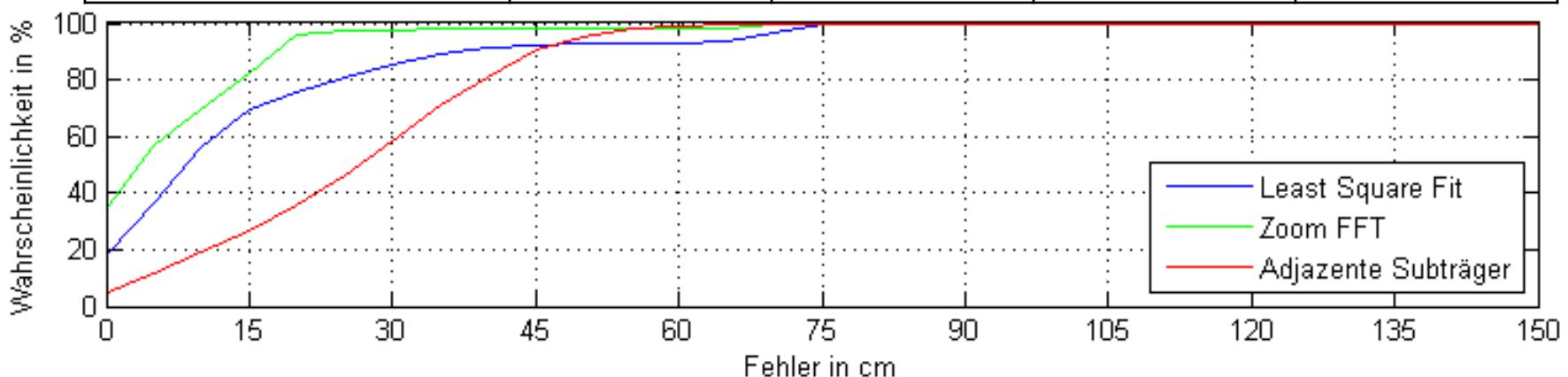
IHP 5 GHz Mehrwege-Kanalmodell für SNR a) 50 dB, b) 30 dB und c) 10 dB

# Simulation results – 60 GHz

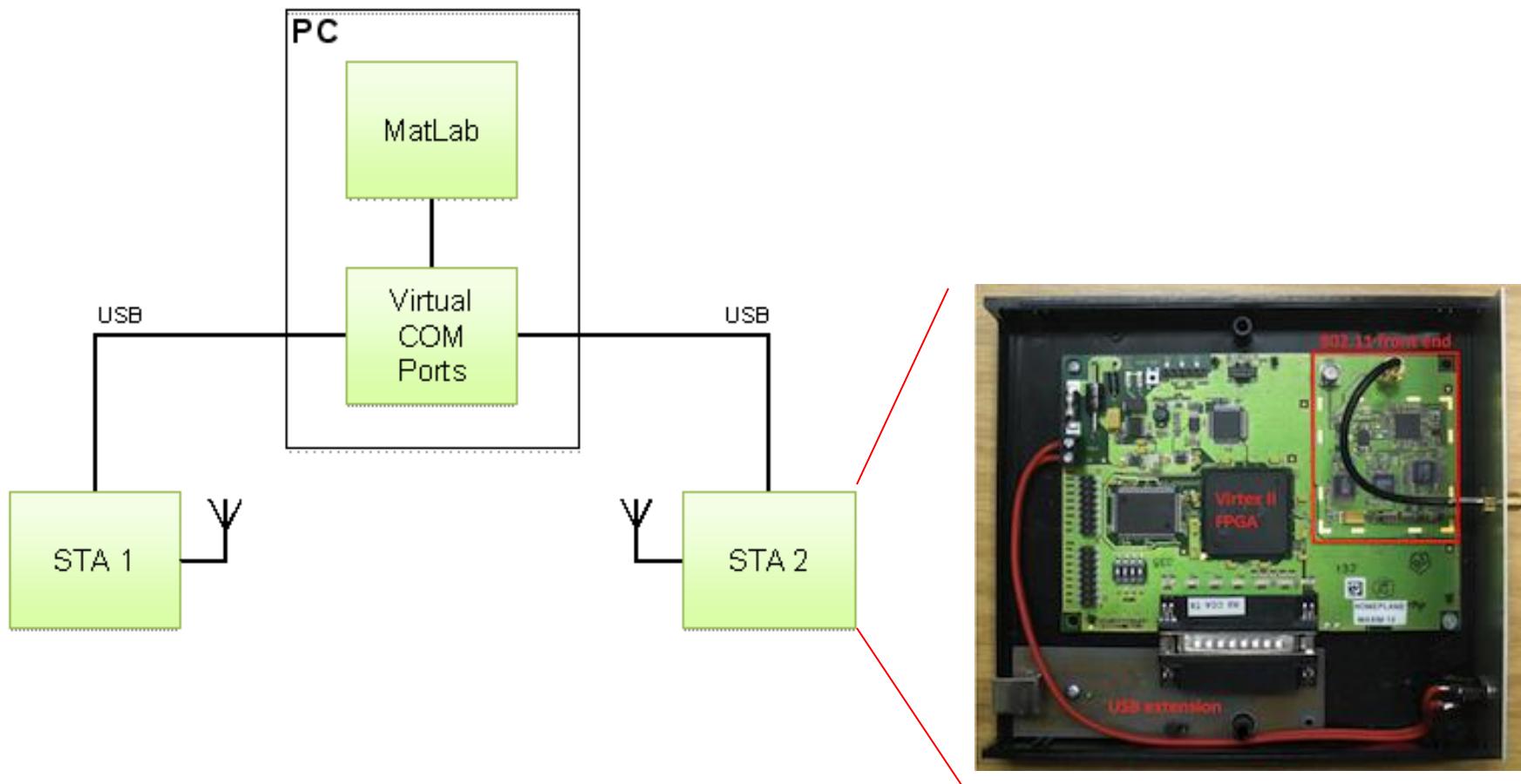
IHP 60 GHz channel model (Vivaldi) – 1000 measurements

RMSE - Root mean square error, MAE – Mean absolute error (both in cm)

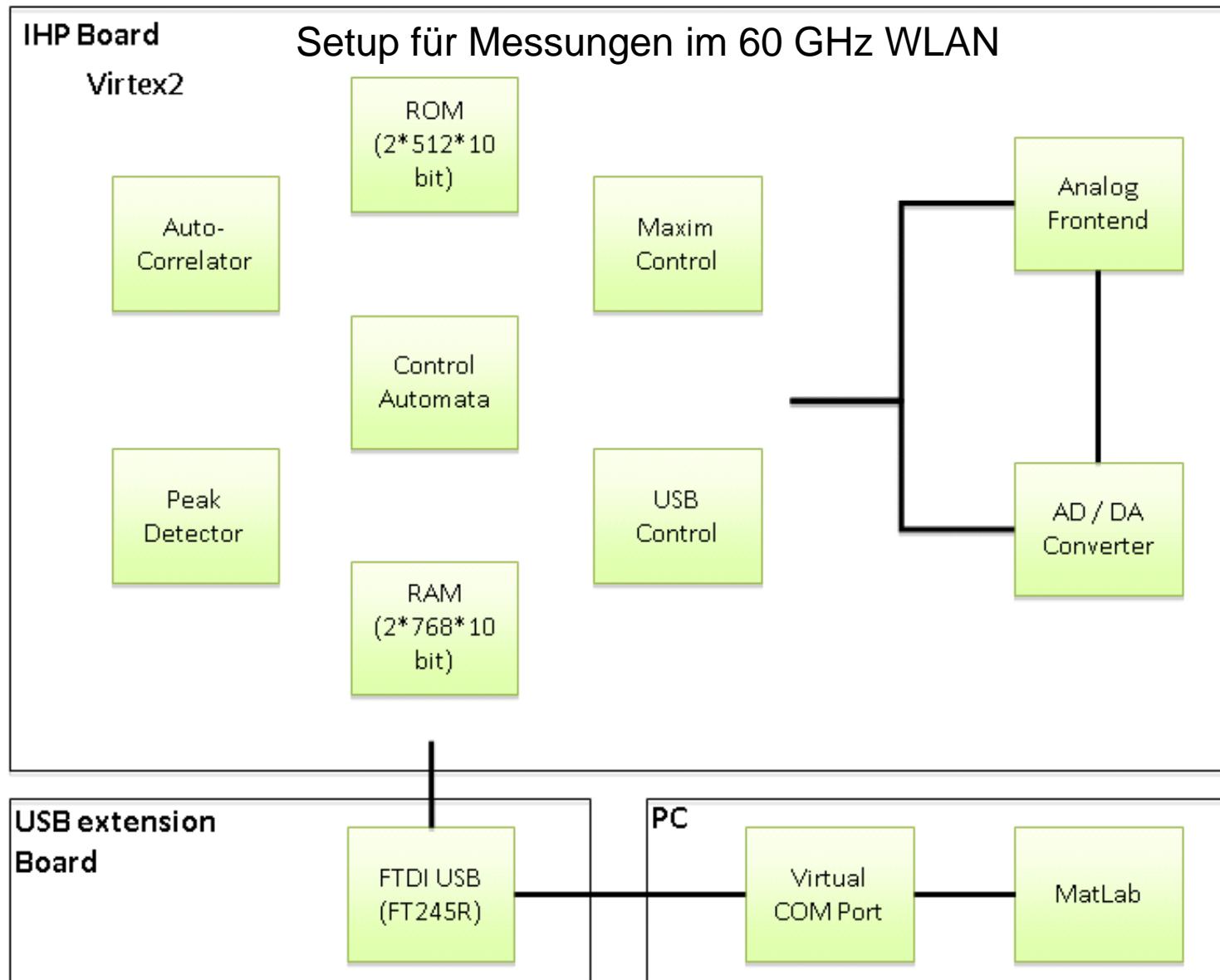
Estimation	SNR			
	50		10	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE
Least Square Fit	27	19	26	18
Zoom-FFT	16	12	16	12
Adjacent subcarriers	34	31	36	31



## Setup für Messungen im 5 GHz WLAN



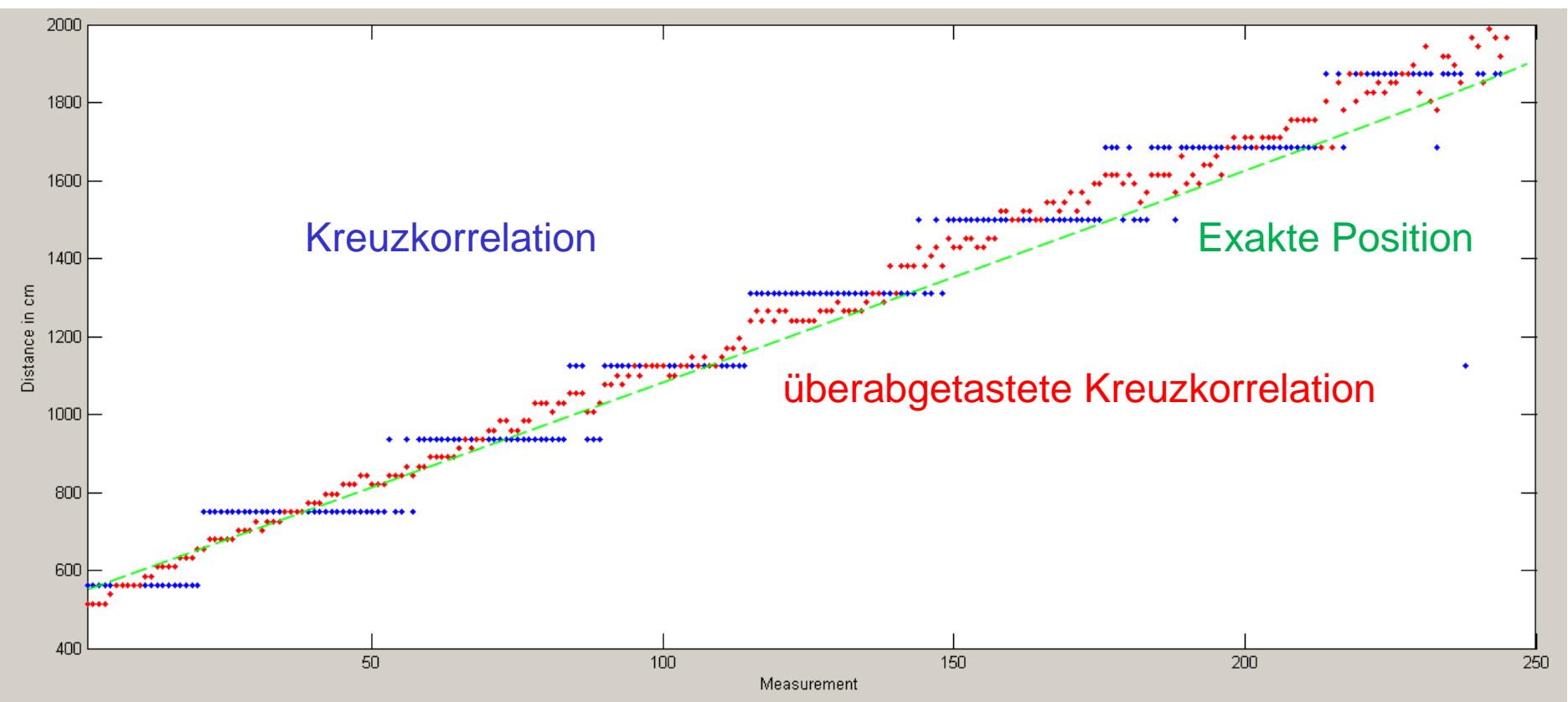
# Breitbandkommunikation - Lokalisierung



## Messungen im großen Hörsaal



## Messergebnisse im großen Hörsaal



## HU Arbeitsschwerpunkte:

- Lokalisierung und Kommunikation im 60-GHz-Band
- Gerichtete Kommunikation durch Beamforming
- Lokalisierung mit Beamforming-Methoden
- ns-genaue Synchronisation von Basistationen