

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

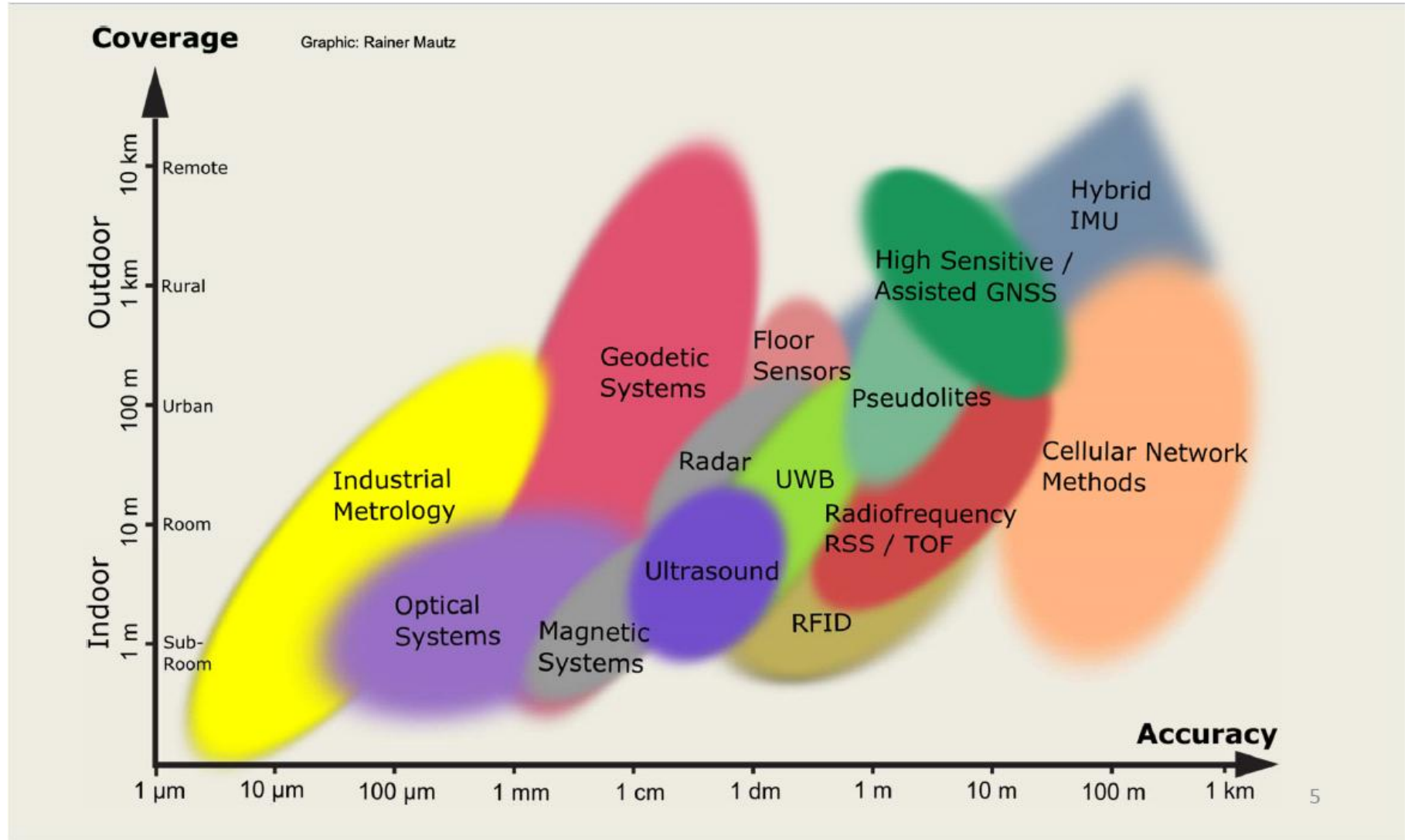
Voraussetzung

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

HU-Kooperationen:

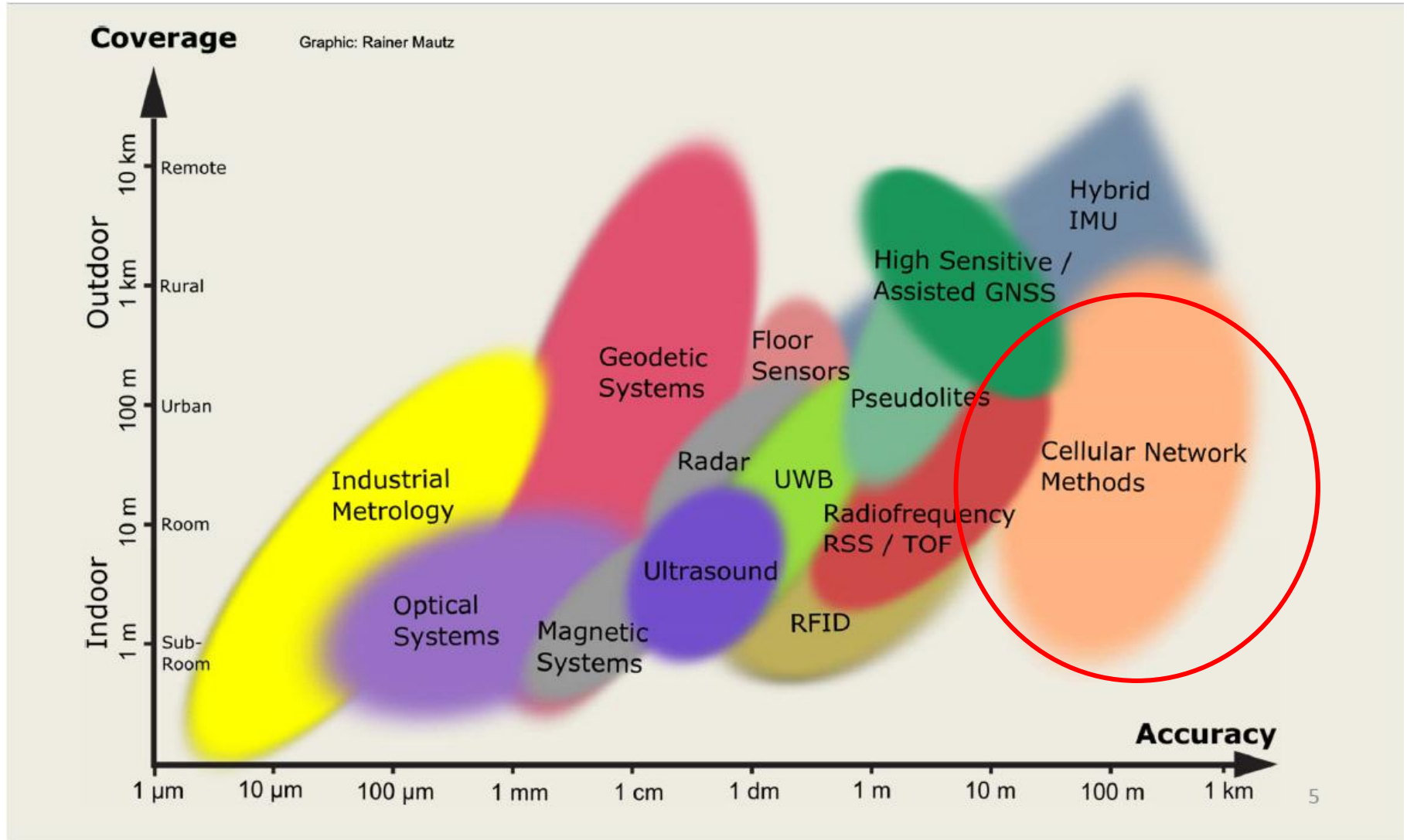
IHP Microelectronics Frankfurt/Oder
InnoSenT GmbH

Breitbandkommunikation - Lokalisierung



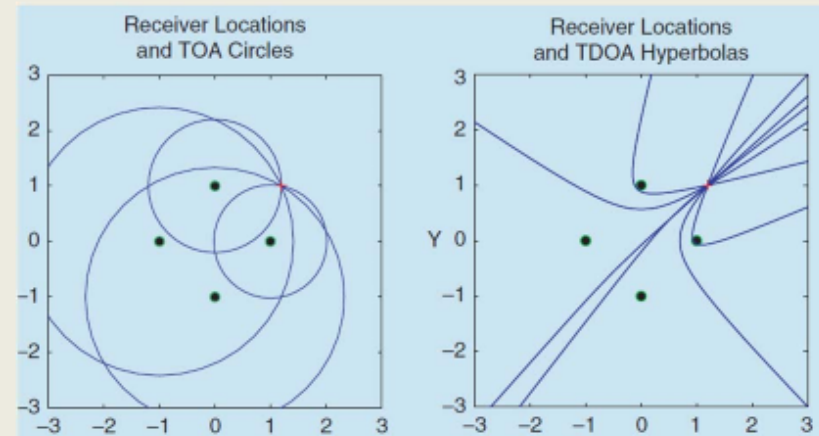
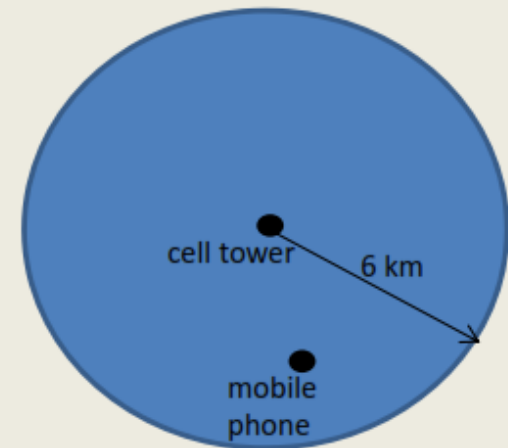
Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

Breitbandkommunikation - Lokalisierung



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

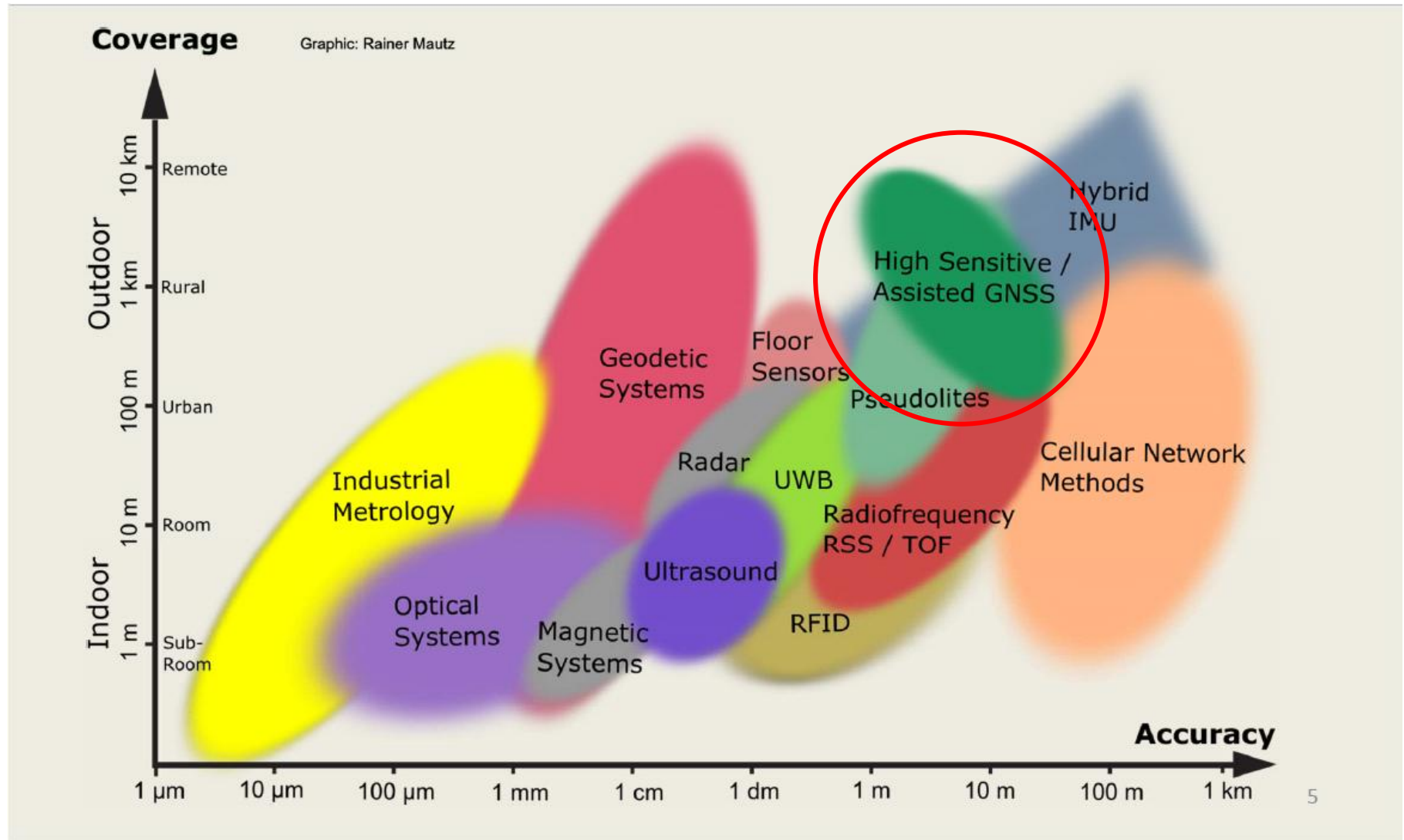
Measuring Principle	Cell ID, ToA, TDoA, RSSI, AoA
Accuracy	20 m – 1000 m
Coverage	> km - scalable
Required Infrastructure	base stations
Application	navigation, LBS
Strengths	coverage, standard devices
Drawbacks	low accuracy



Gustafsson and Gunnarsson (2005)

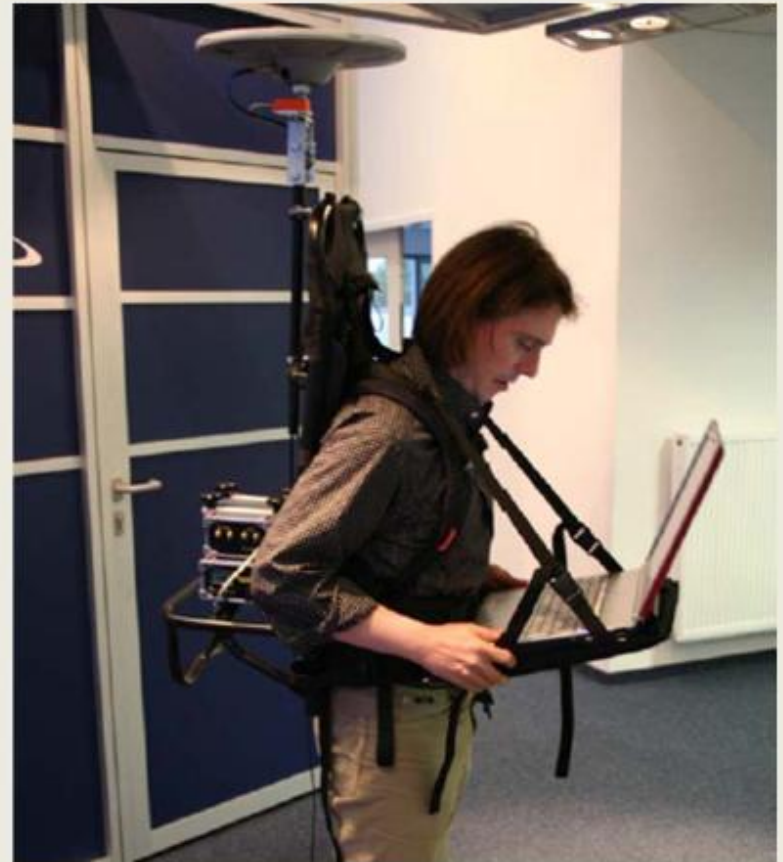
7

Breitbandkommunikation - Lokalisierung



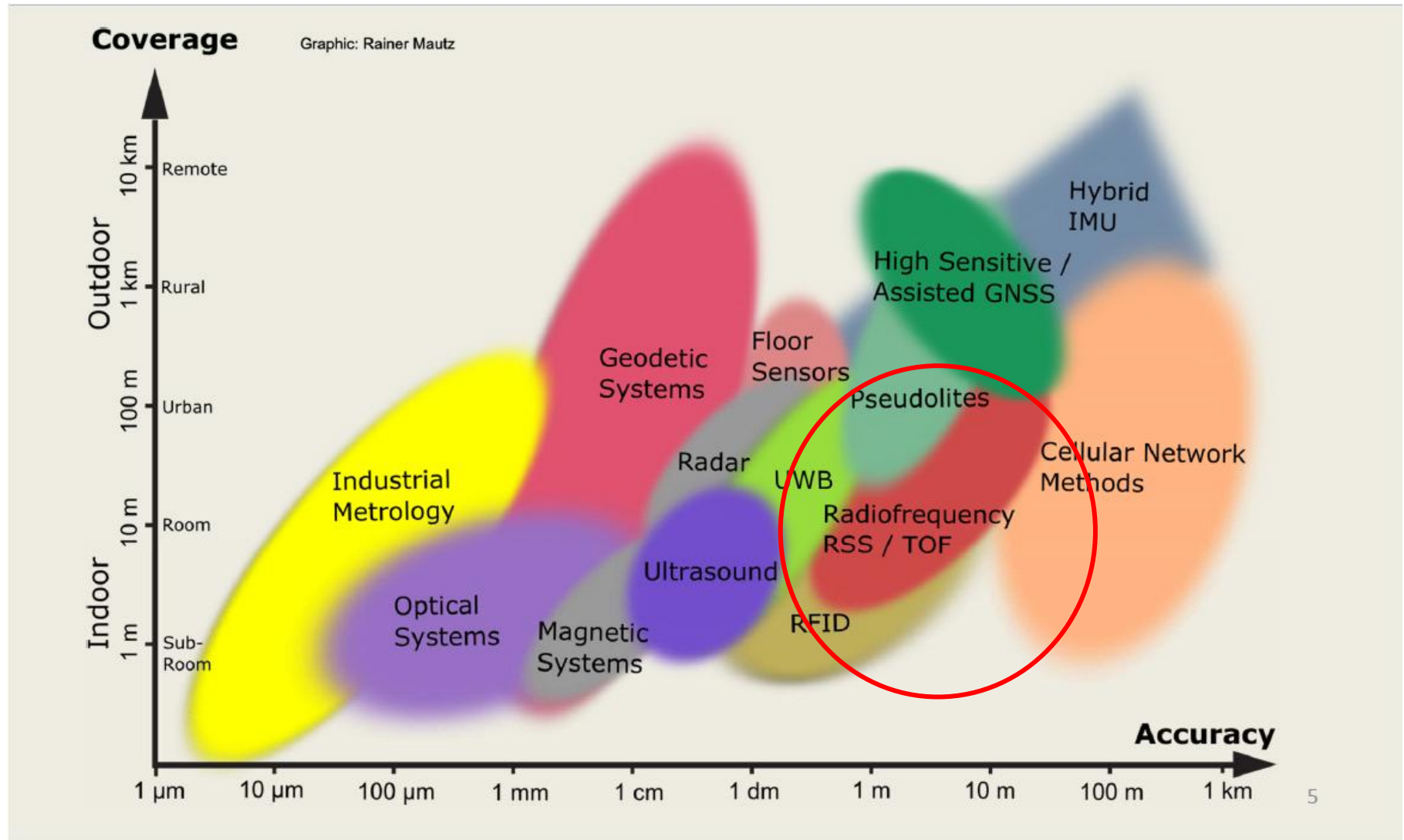
Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

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)

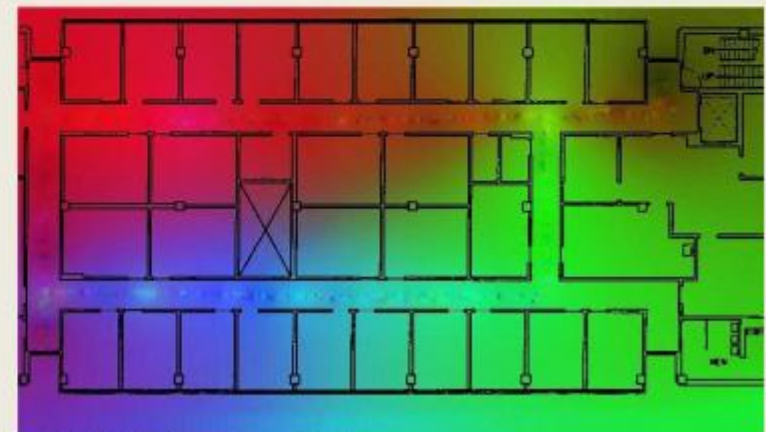
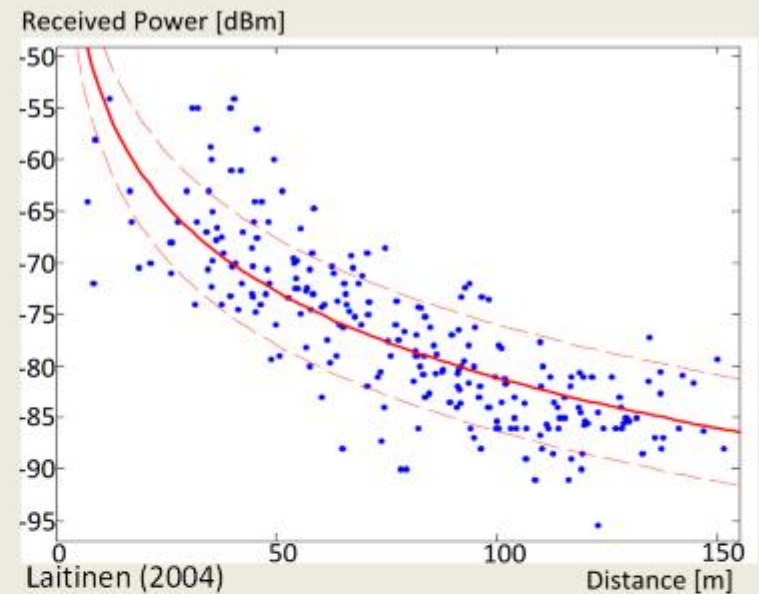
Breitbandkommunikation - Lokalisierung



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 ² - scalable
Required Infrastructure	fixed transmitters
Application	mobile positioning, LBS
Strengths	unmodified phones, PDAs
Drawbacks	low reliability, pre-calibration

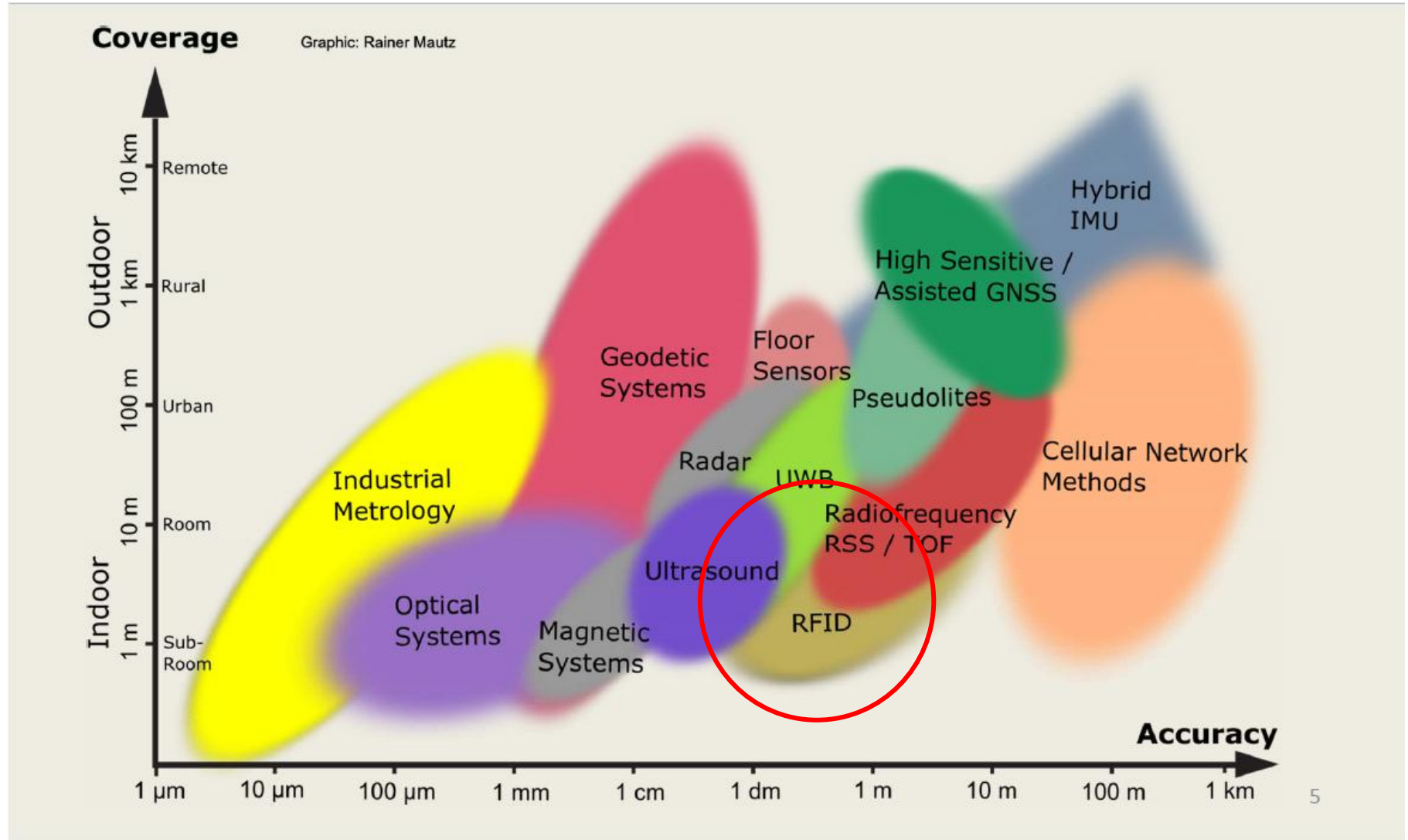


USC Robotics Research Lab

15

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

Breitbandkommunikation - Lokalisierung

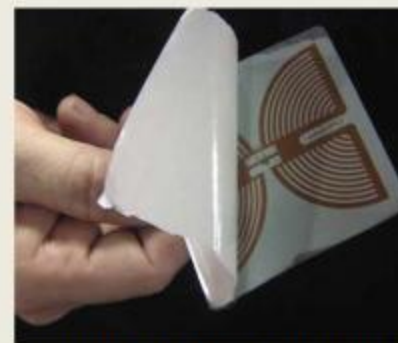


Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

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

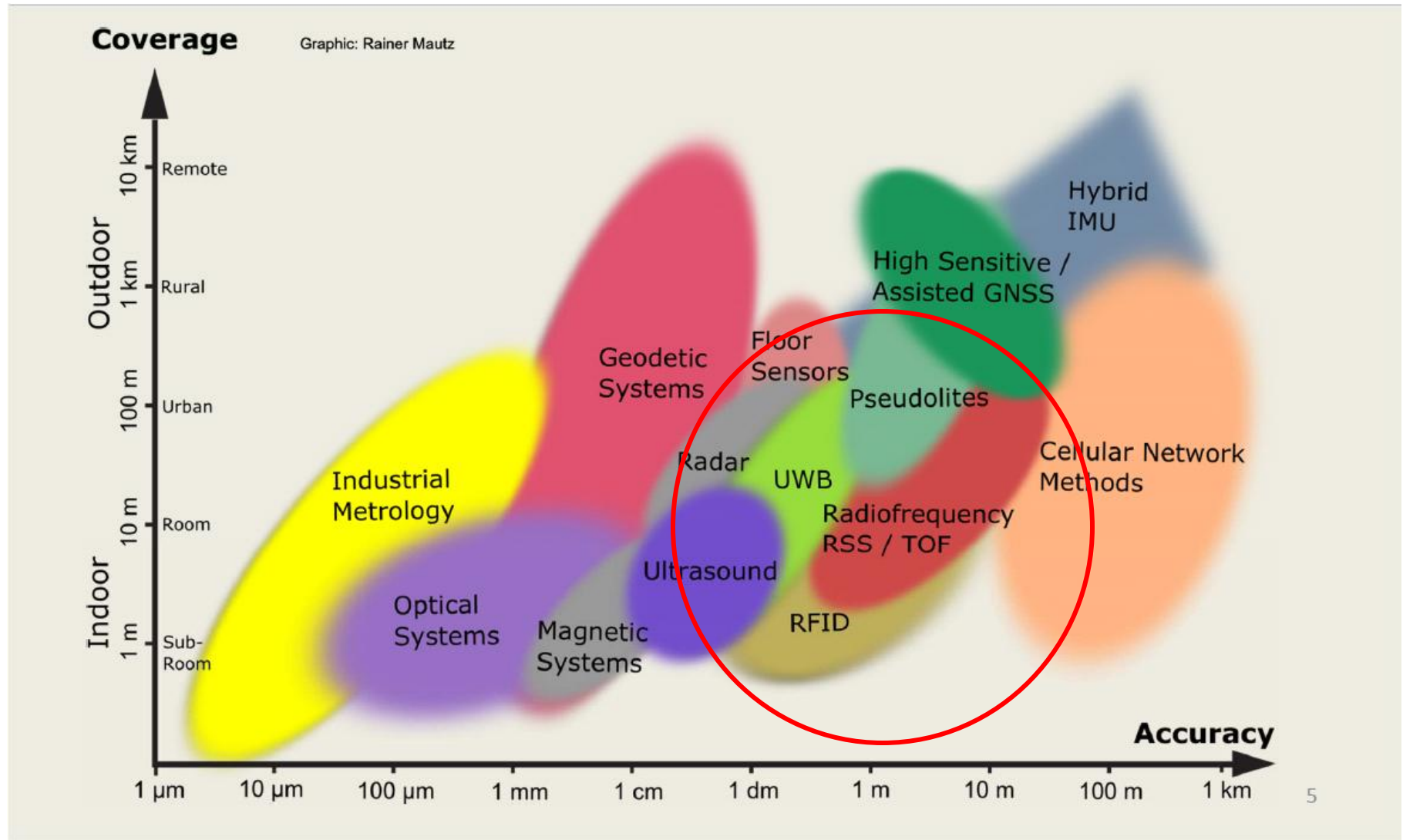


Active RFID Tag and Reader, Seco et al. (2010)



Passive RFID Tag, Bates (2007)

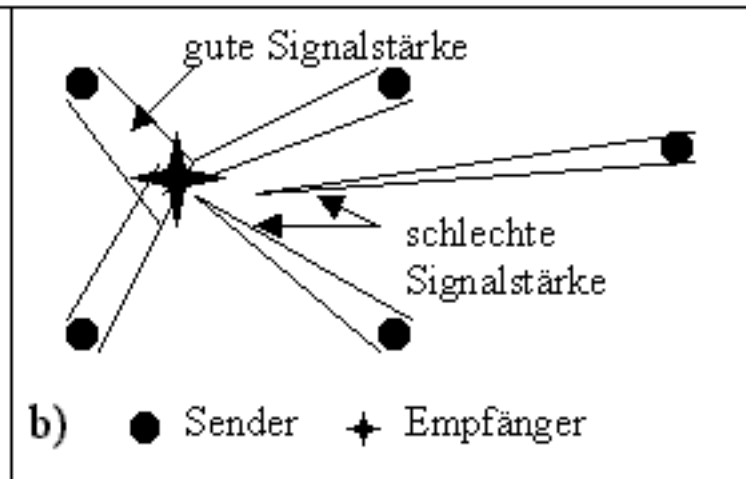
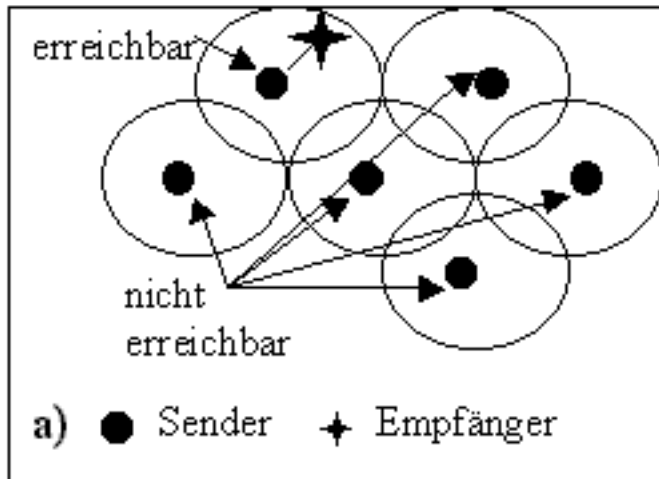
Breitbandkommunikation - Lokalisierung



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

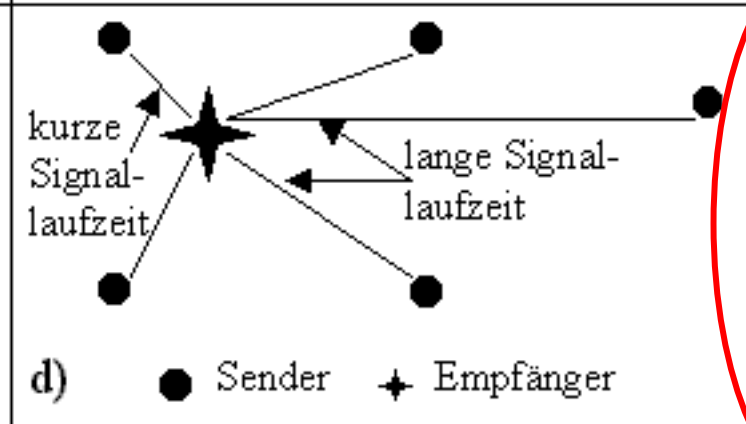
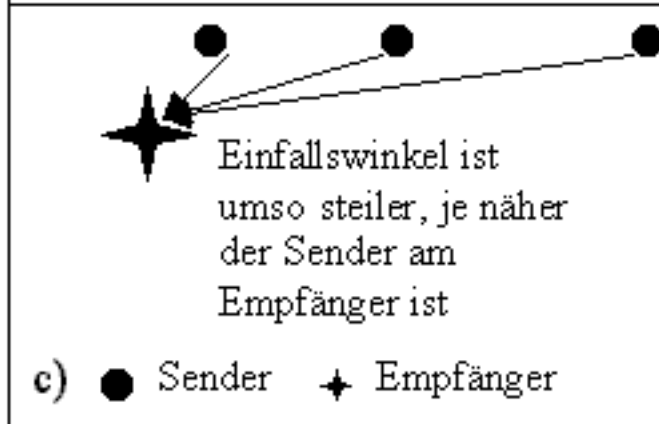
Funkbasierte Basistechniken

Cell
Of Origin
(CoO)



Receive
Signal
Strength
(RSS)

Angle
Of
Arrival
(AoA)



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 das 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

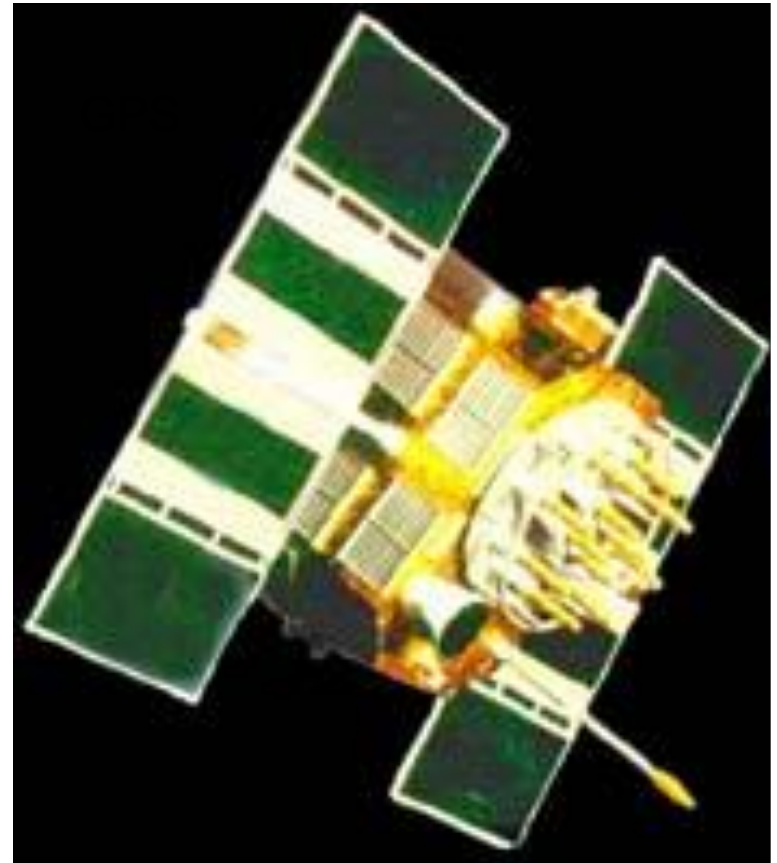
Cramer-Rao-Schranke

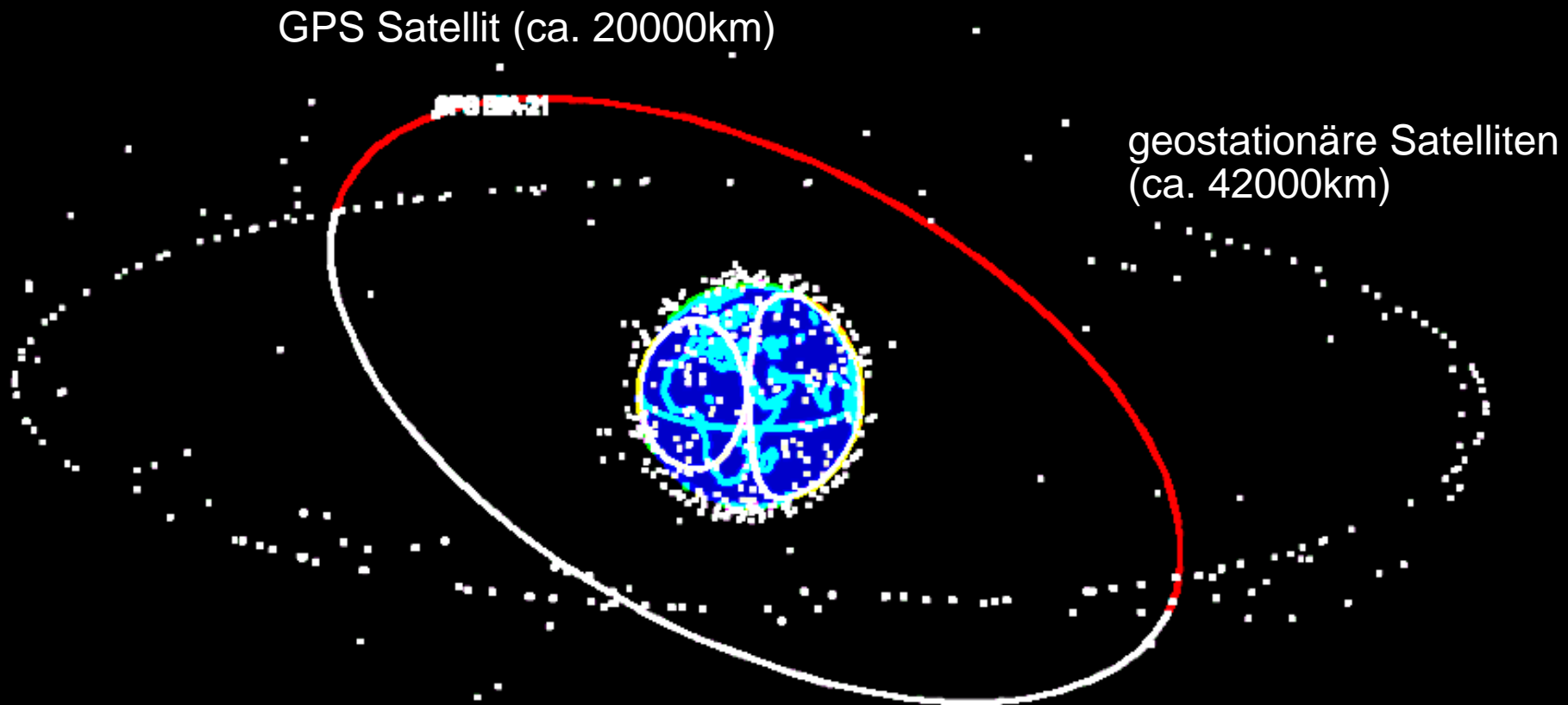
$$\sigma_{\text{CRLB}}^2 \approx \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot 2T \cdot \frac{P}{N_0} \int_{-\frac{B}{2}}^{+\frac{B}{2}} f^2 S(f) df}$$

- 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 **M**obile **C**ommunications
WLAN: Wireless Local Area Network
- andere lokale Verfahren
 Infrarot, Radar, optische Verfahren
 Laserscanner,





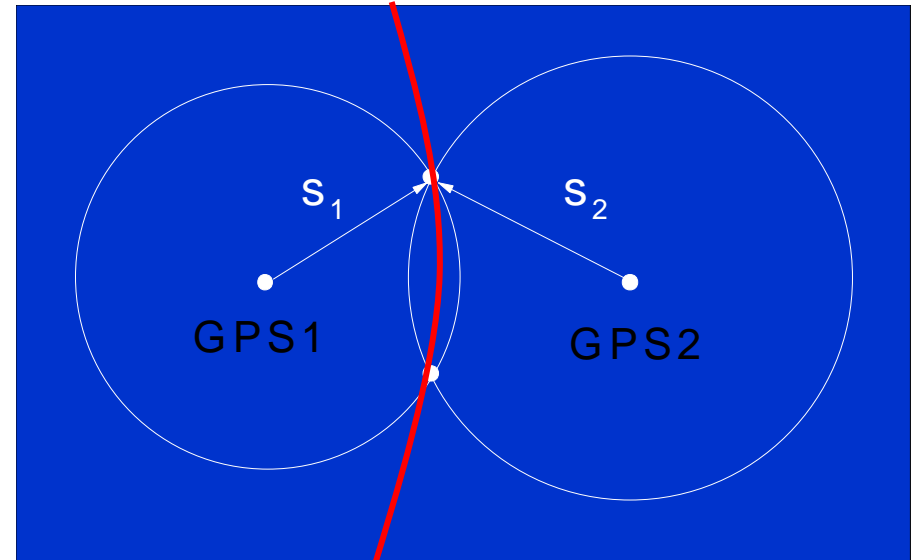
<http://science.nasa.gov/Realtime/JTRACK/3d/JTrack3D.html>

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:

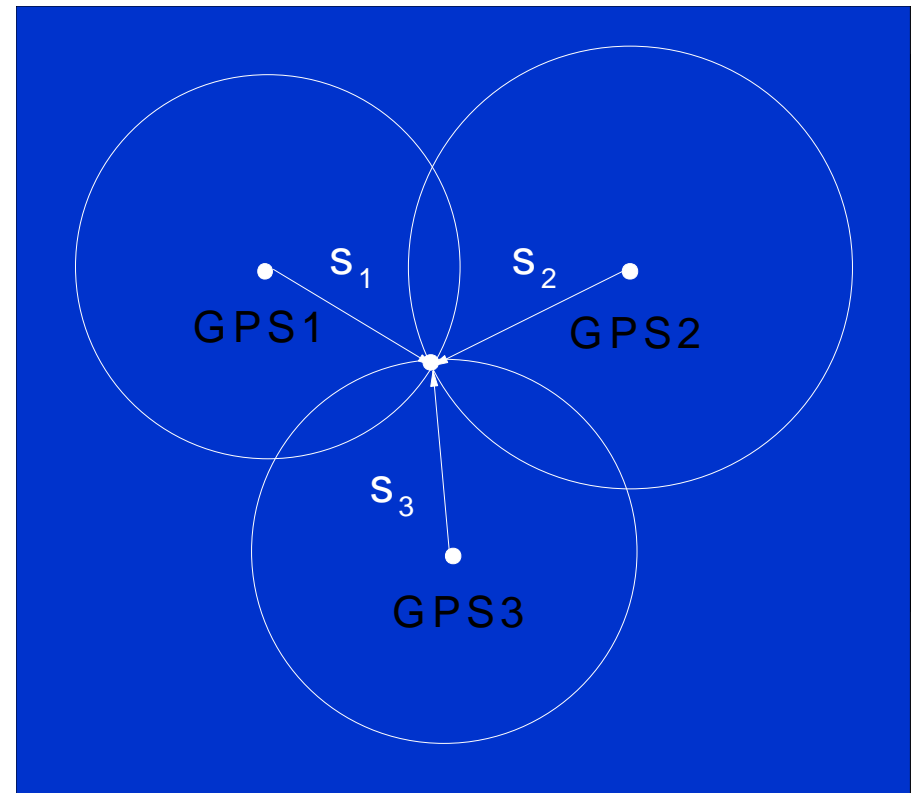
$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = (s_1-s_0)^2$$

$$(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = (s_2-s_0)^2$$

$$(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = (s_3-s_0)^2$$

und der Offset s_0 ist berechenbar.

- 3 m Weglänge = 10 ns



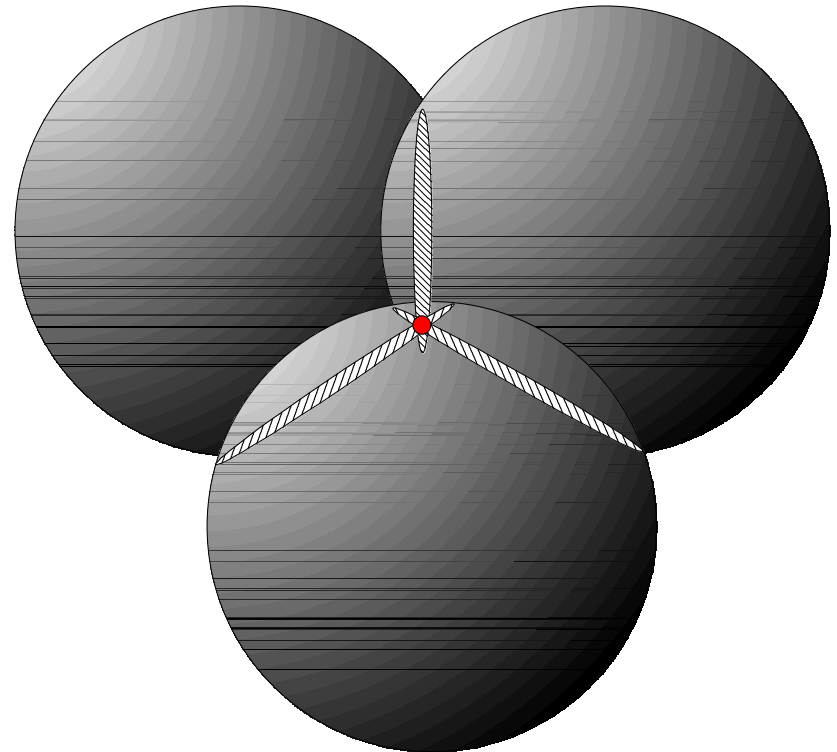
Absolute Positionsbestimmung

$$s_i = c * t_i$$

- 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.



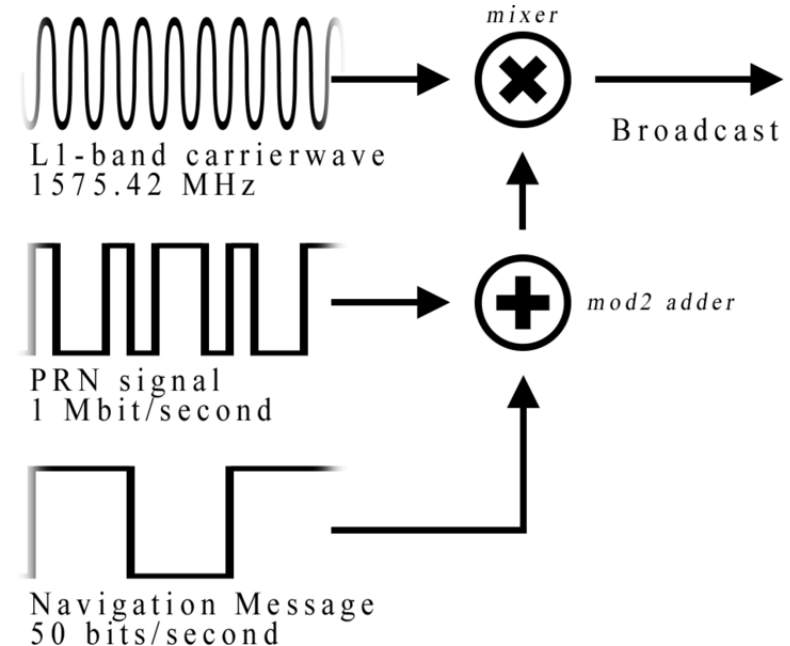
GPS Genauigkeit

- SPS (**S**tandard **P**ositioning **S**ervice)
 - 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 (**P**recise **P**ositioning **S**ervice)
 - 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>

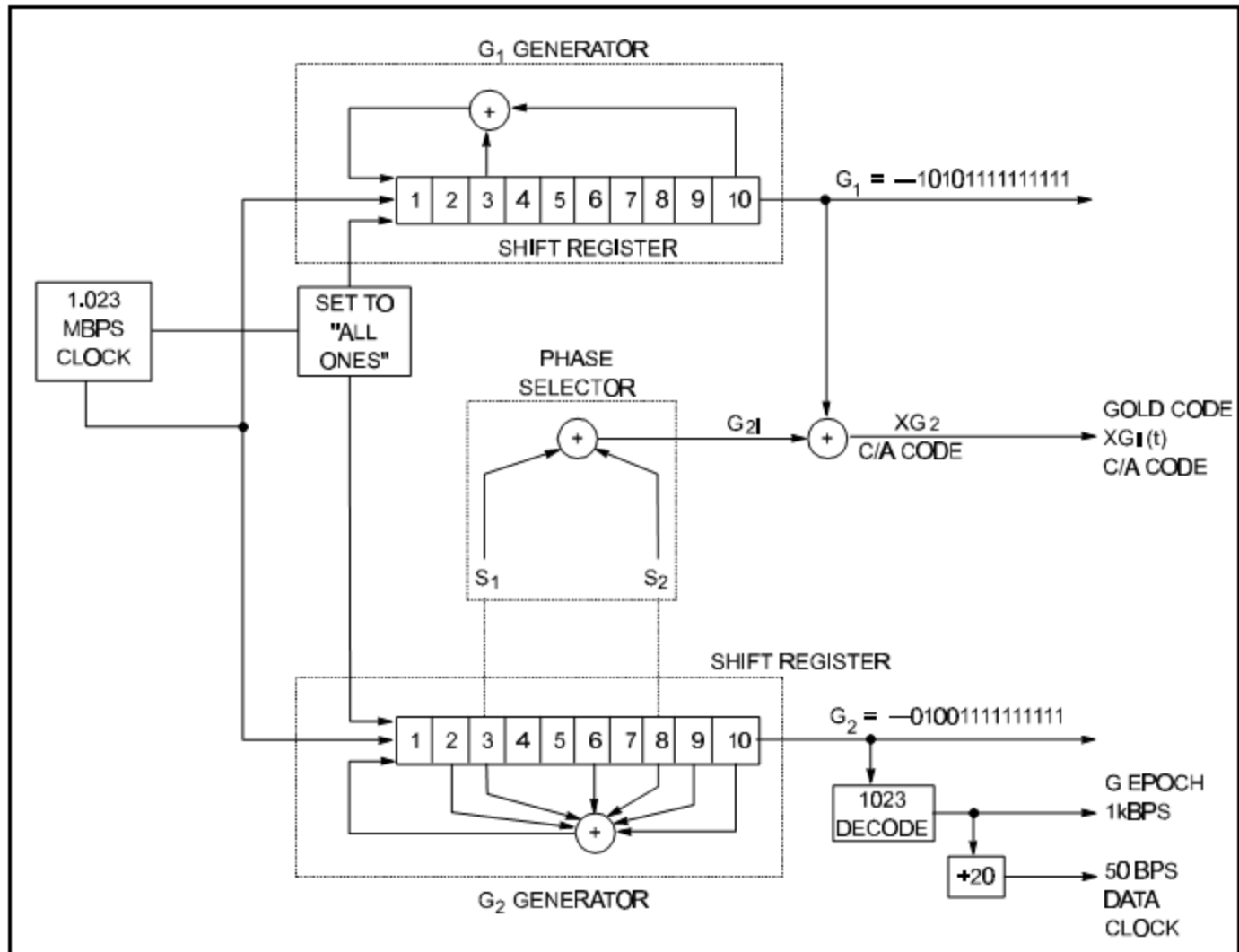


Figure 2-4. C/A-Code Generation

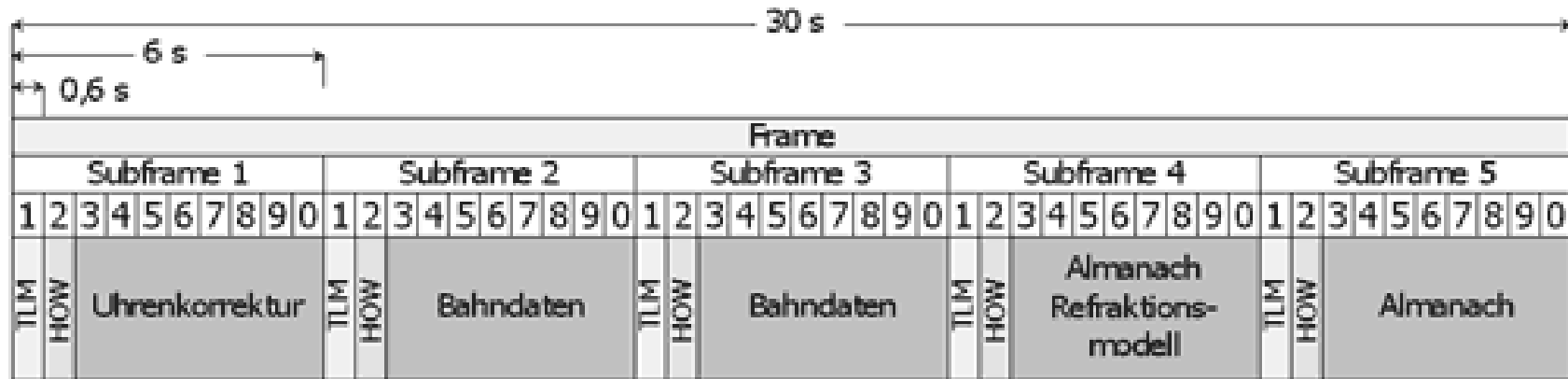
GPS Signals

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

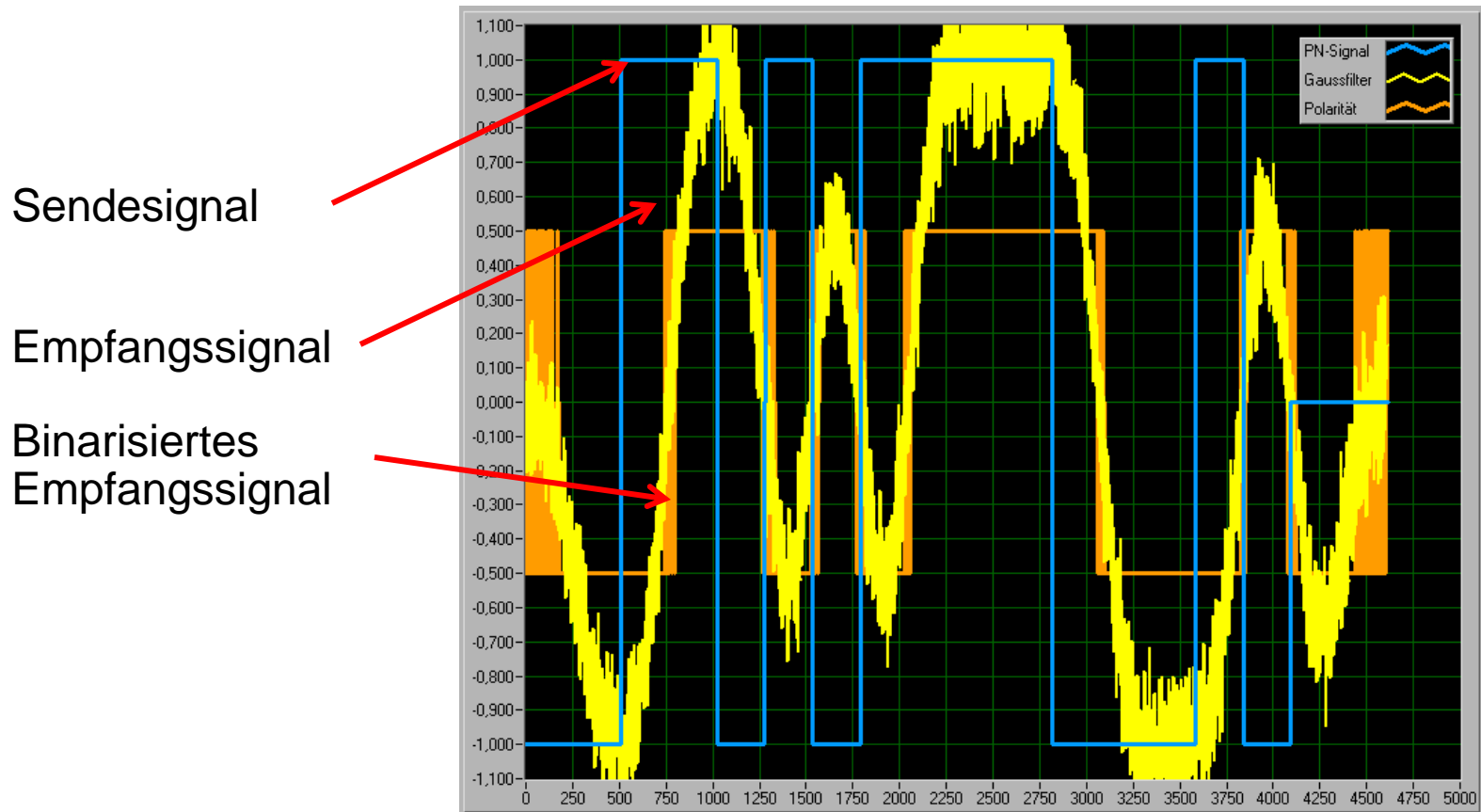
HOW (hand over word) die Anzahl der gezählten Epochen für P-Code
und TOW (Time of Week since Sunday 0:00), $HOW = TOW/4$

Subframe 4/5: Satellitenpositionen (Almanachdaten)



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

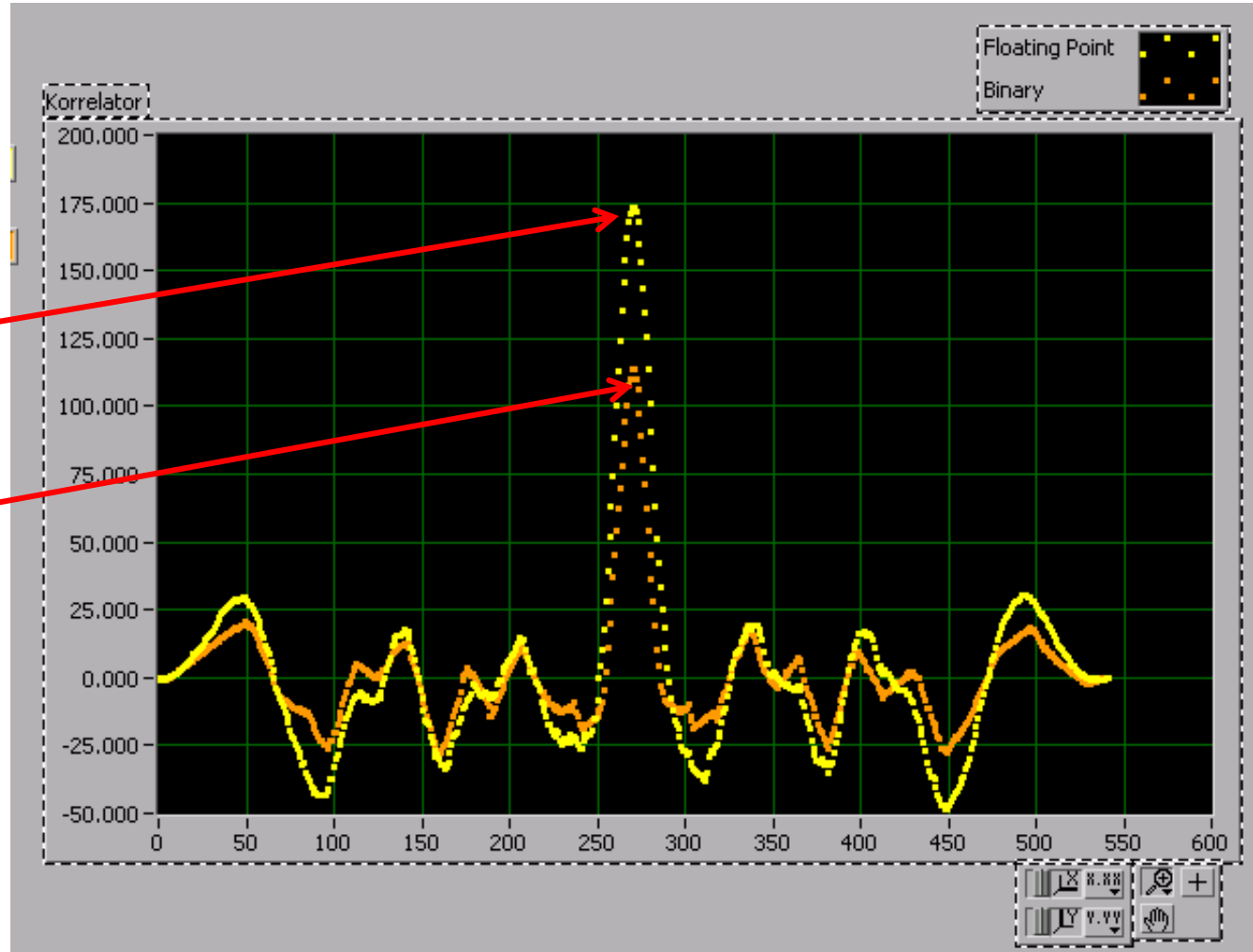
Empfänger für laufzeitbasierte Verfahren



Empfänger

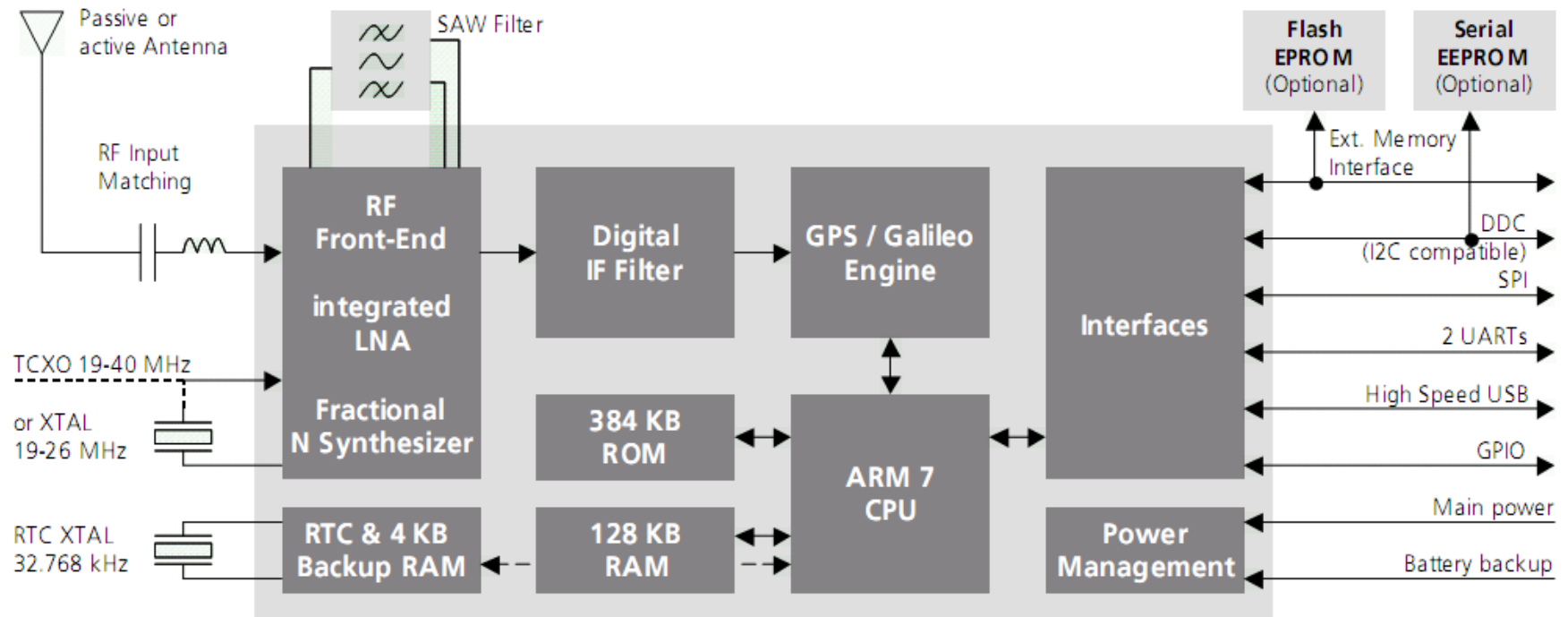
Korrelation
Empfangssignal

Binarisiertes
Empfangssignal

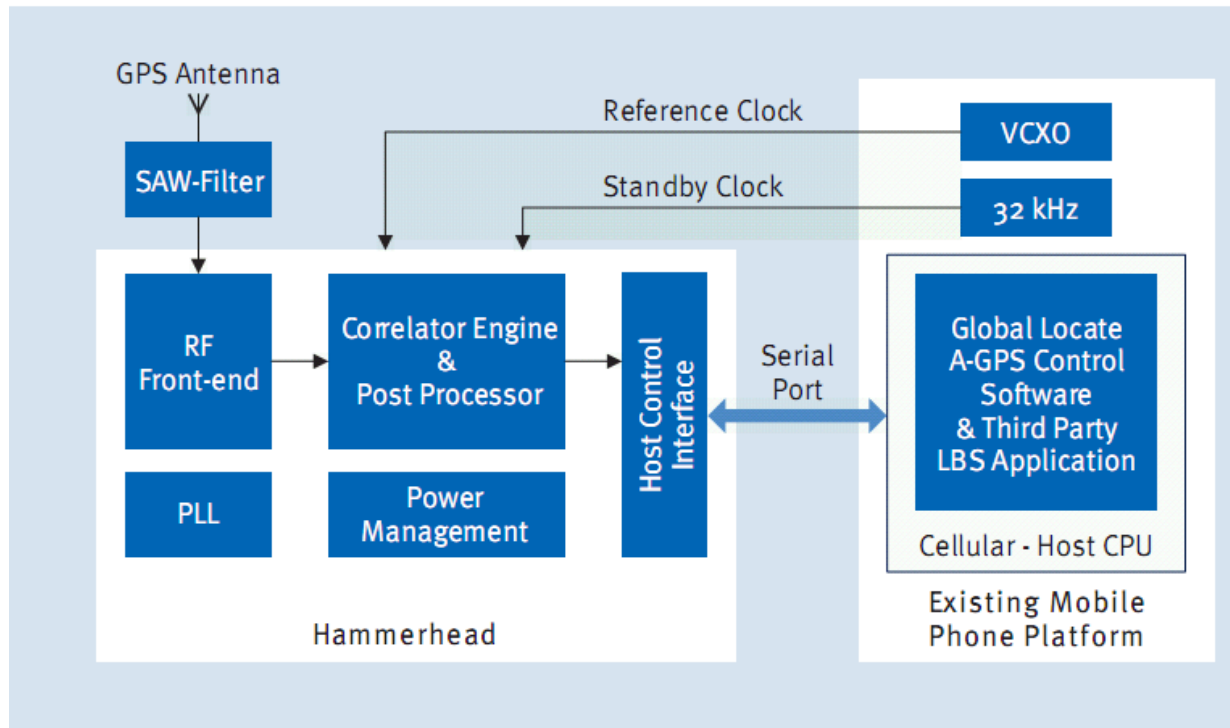


Beispiel 2: U-blox 5 Single Chip GPS UBX G5010 (32 Kanäle)

Block Diagram



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



Übertragung des GPS Prinzips auf Innenräume:

Basisstationen:

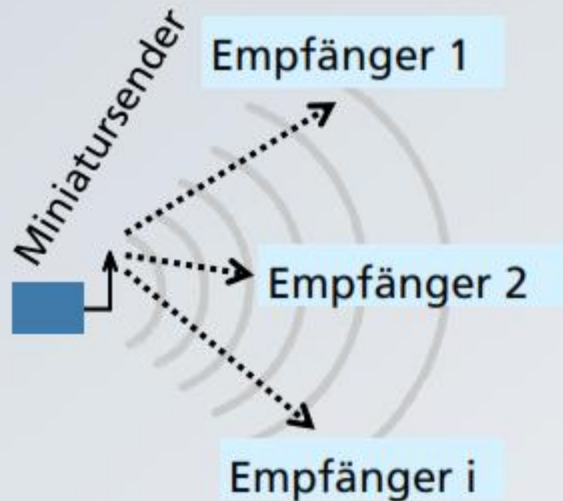
- fest bzw. unbeweglich gegenüber der Erde
- keine synchronen (Atom-) Uhren
- können ggf. kooperativ Lokalisierung unterstützen

Mobilteil:

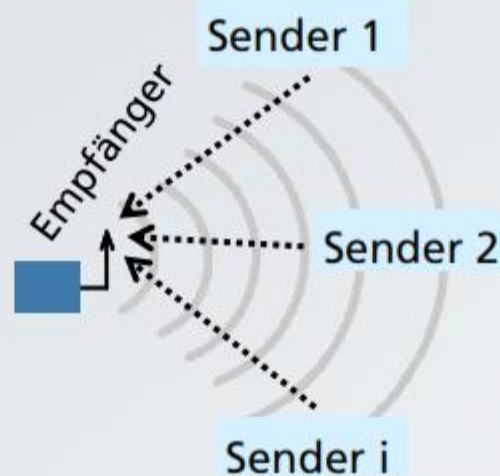
- beweglich im Raum,
ggf. handover zu angrenzenden Nebenräumen

Herausforderungen :

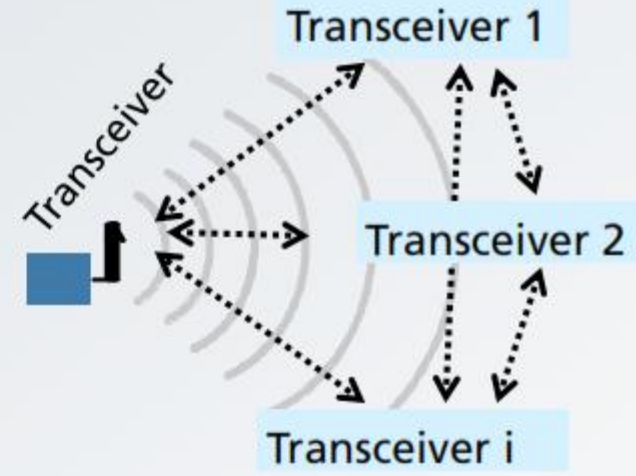
- Nutzung vorhandener WLAN – Strukturen
- Nutzung von handelsüblichen Mobilteilen
- Verknüpfung von Kommunikation und Lokalisierung



- TOA oder TDOA
- Einwegefunktübertragung
- Positionsbestimmung in der Infrastruktur



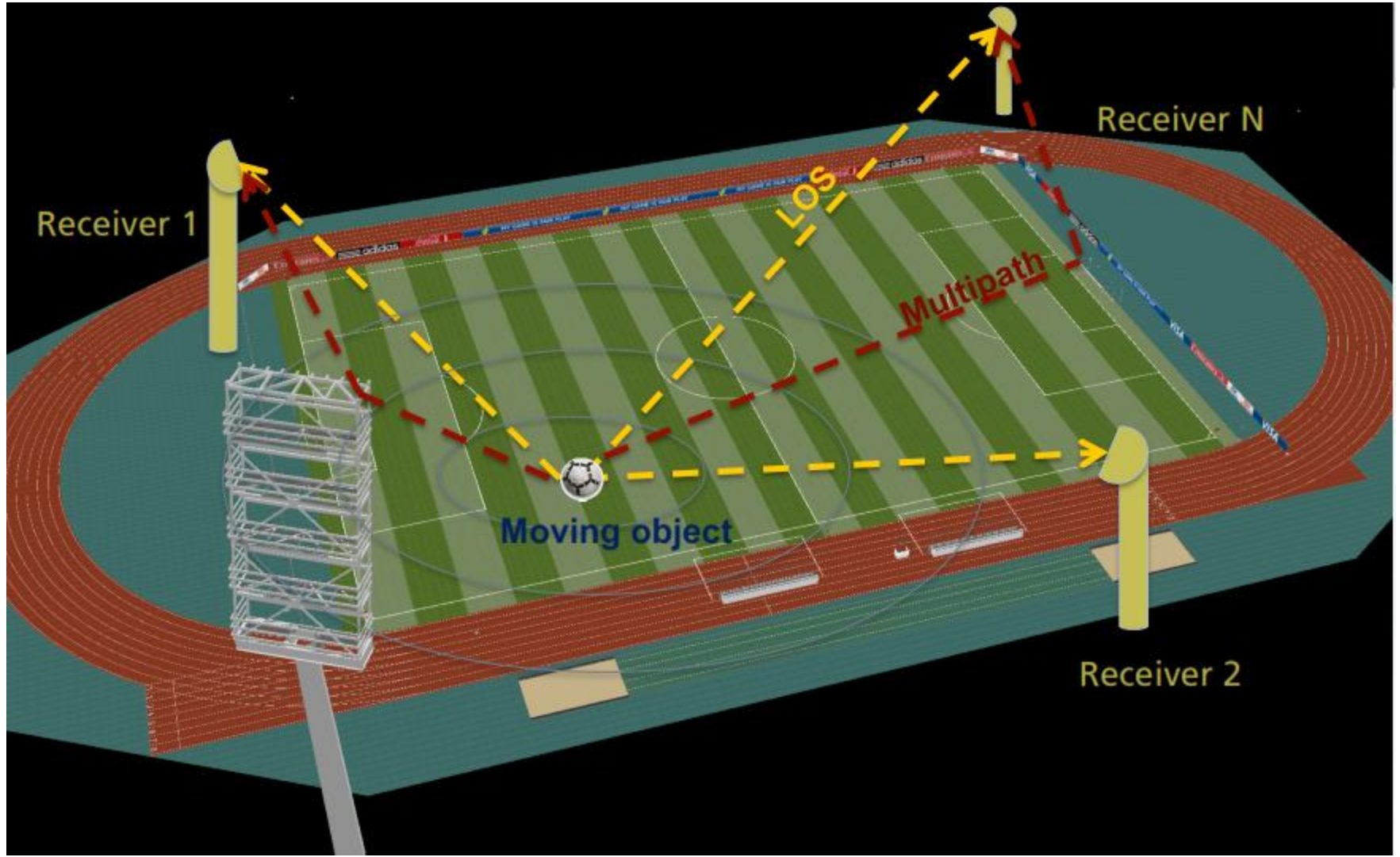
- TOA
- Einwegefunktübertragung
- Positionsbestimmung im Mobilteil



- RTT
- Zweiwegefunk
- Übertragung der gemessenen Abstände an einen Positionsrechner

Anker i Infrastruktur

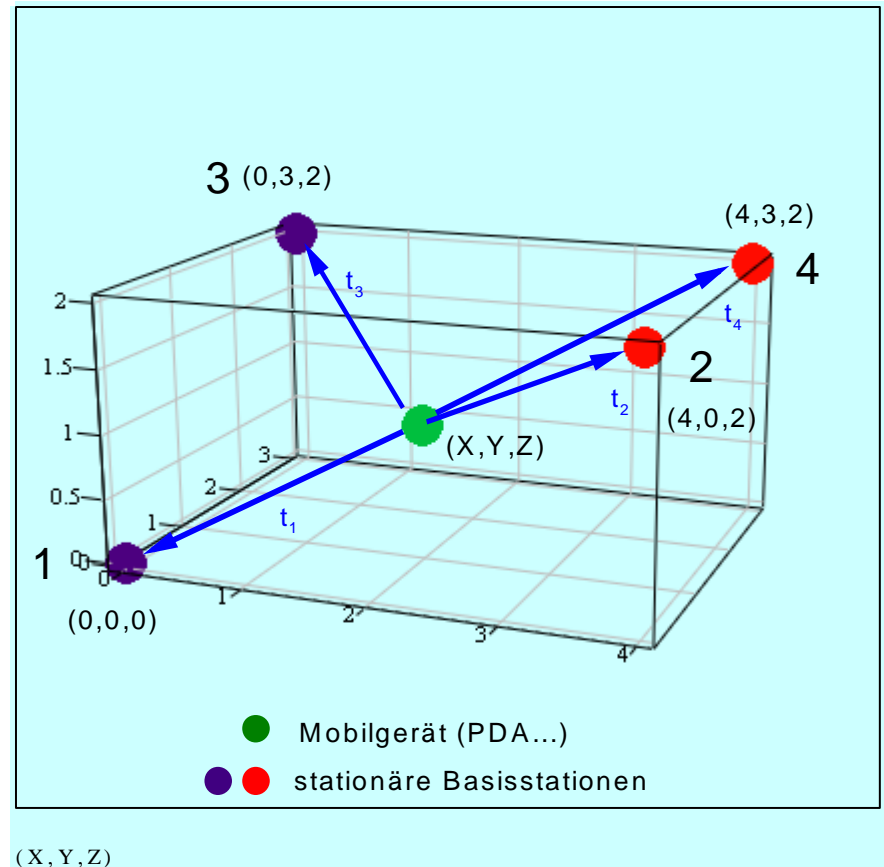
Quelle: N. Franke, Technologische Grundlagen der laufzeitbasierten Funkortung 2013



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

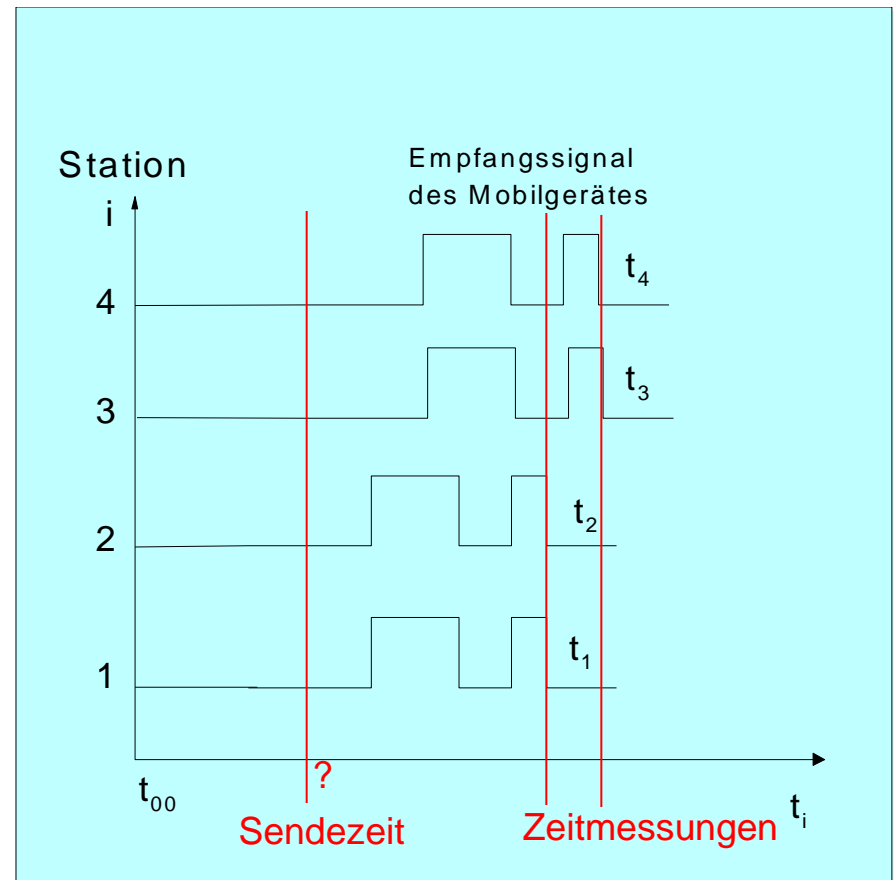
- 4 Basisstationen 1..4
- Uhrenabgleich t_{error_i} durch Zeitmessung $t_{\text{ref}i}$ bei bekannter Geometrie s_{0i}
$$t_{\text{ref}i} = t_{\text{ref}1} + s_{0i}/c + t_{\text{error}_i}$$

 $t_{\text{ref}1}$: 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_{error_i} durch Zeitmessung $t_{\text{ref}i}$ bei bekannter Geometrie s_{0i}
$$t_{\text{ref}i} = t_{\text{ref}1} + s_{0i}/c + t_{\text{error}_i}$$

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



$$S_1 := \sqrt{6} \quad S_2 := \sqrt{6} \quad S_3 := \sqrt{9} \quad S_4 := \sqrt{9}$$

Vorgabe

$$(X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 - (S + S_1)^2 = 0$$

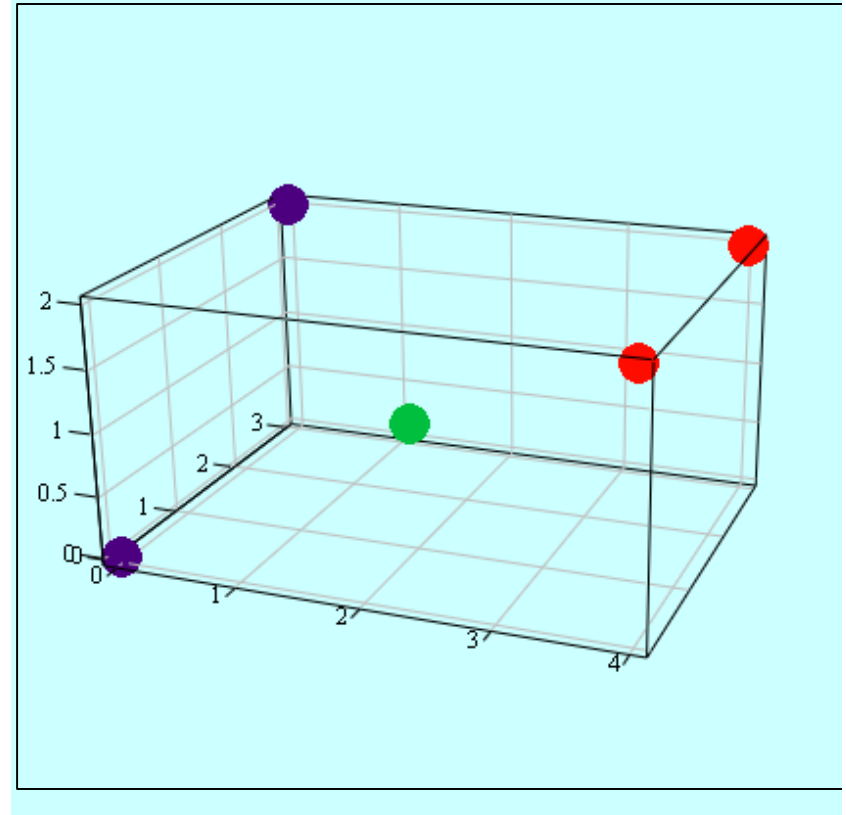
$$(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 - (S + S_2)^2 = 0$$

$$(X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 - (S + S_3)^2 = 0$$

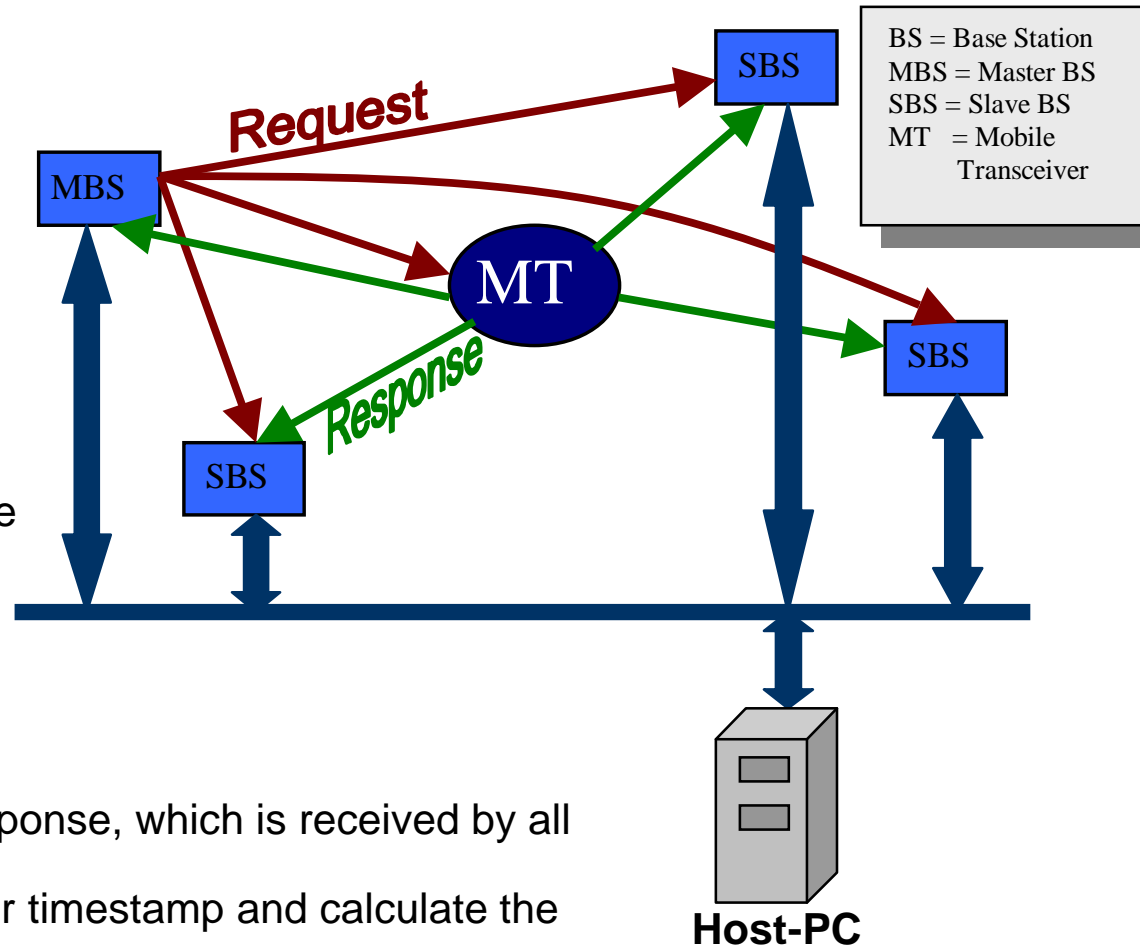
$$(X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2 - (S + S_4)^2 = 0$$

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

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

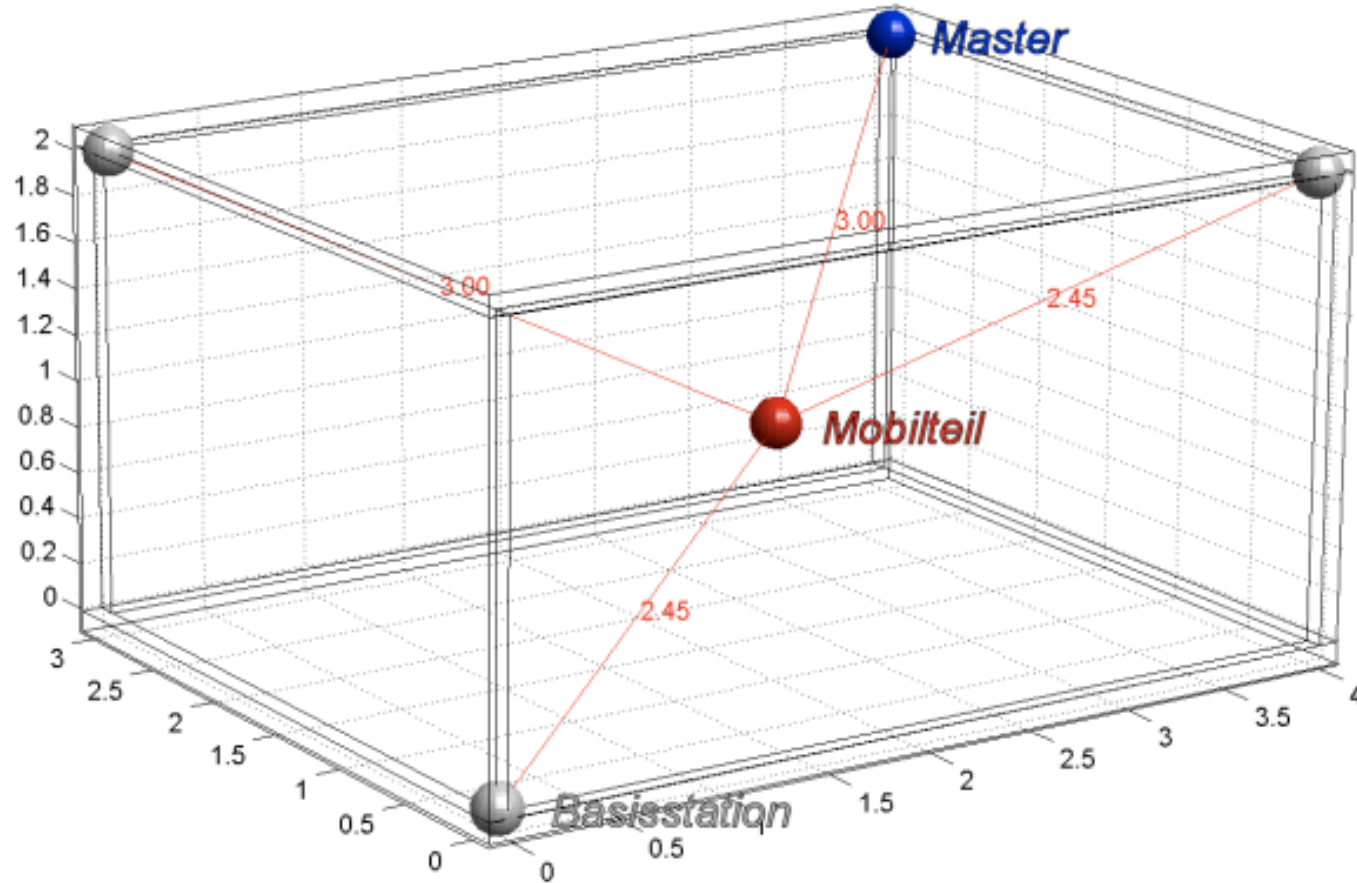


DTDOA Algorithm (HU Berlin, Diplomarbeit E. Fischer)

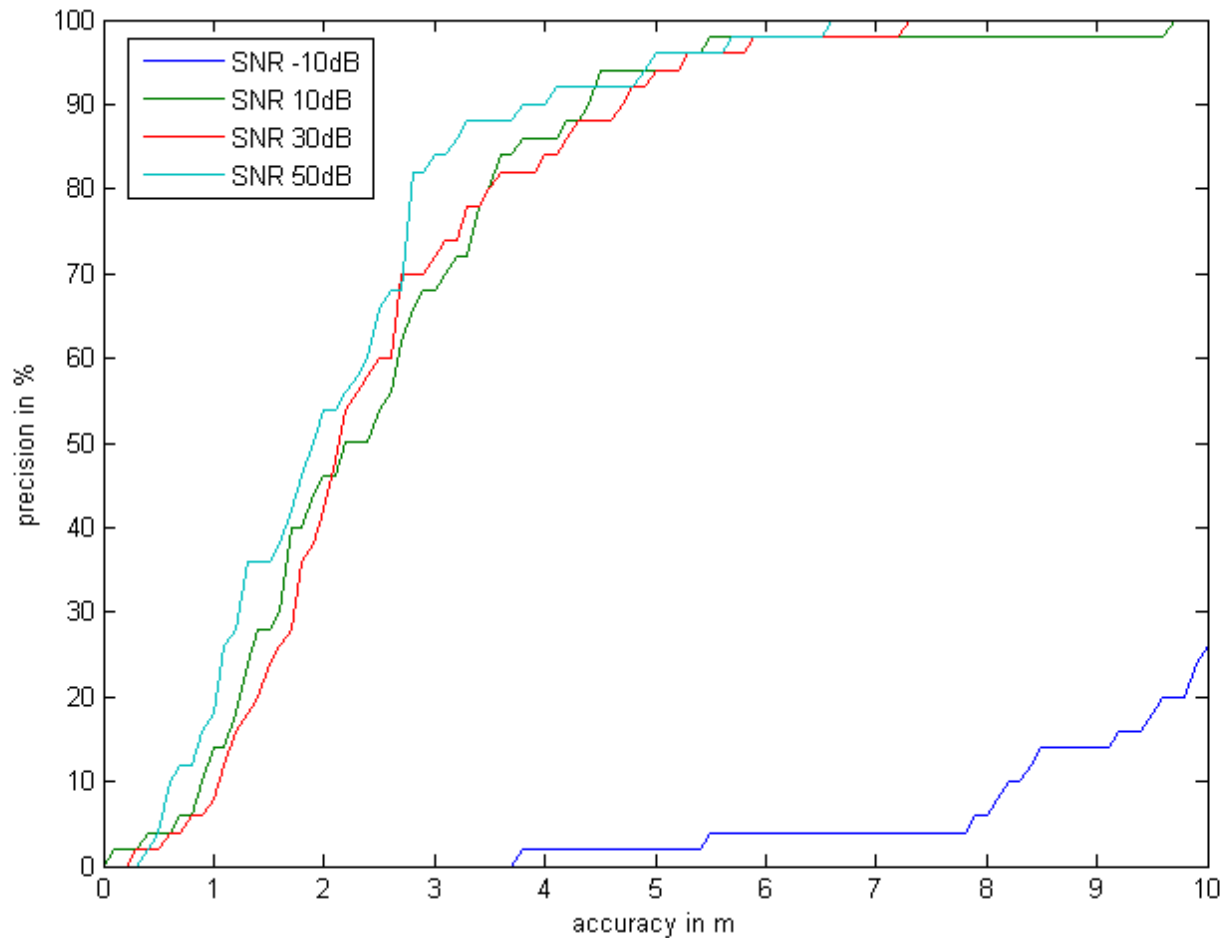


- First - Request:
 - Request is sent by the Master
 - all slaves and the mobile device receive this request
 - the slaves store a timestamp of the arrival
- Second – Response:
 - the mobile device sends a Response, which is received by all slaves and the master
 - the base stations store a further timestamp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

Simulationsmodell für MATLAB



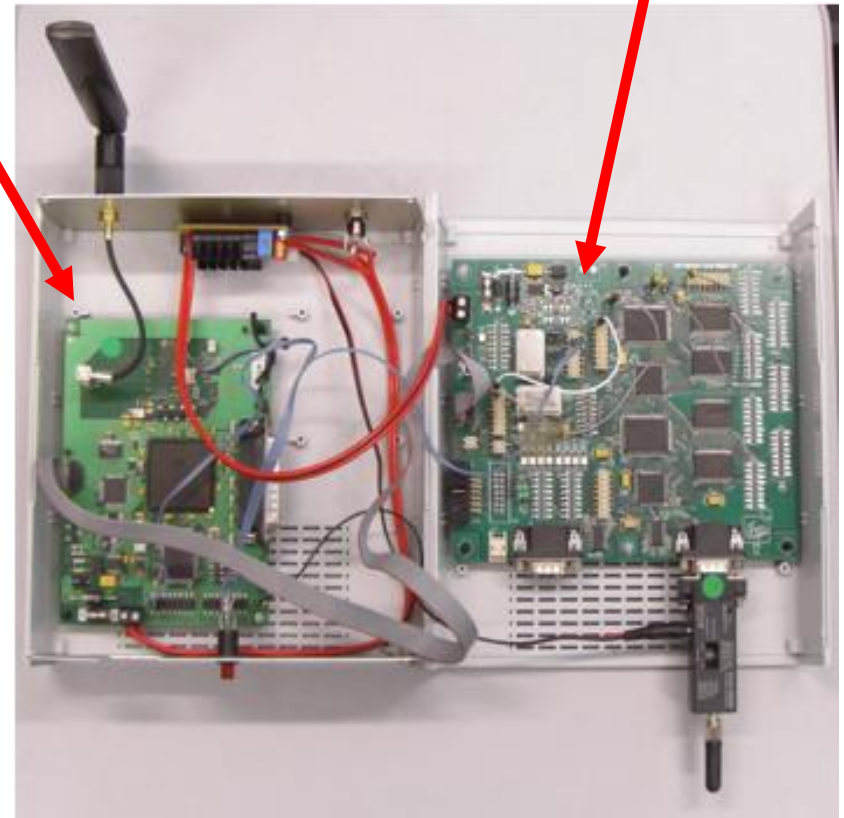
MATLAB Simulationsergebnisse (5 GHz)



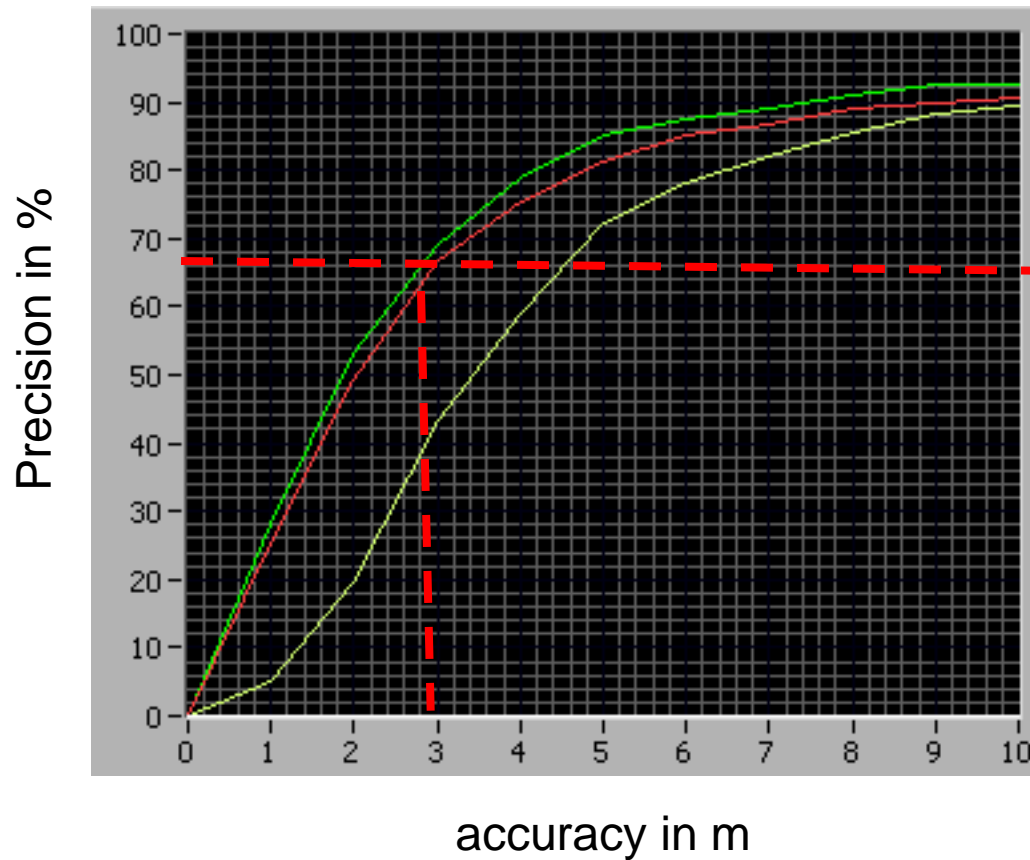
Testaufbau

WINDECT-Board (IHP)

Korrelator-LEON-Board (HUB)



Messergebnisse



X, Y, Z

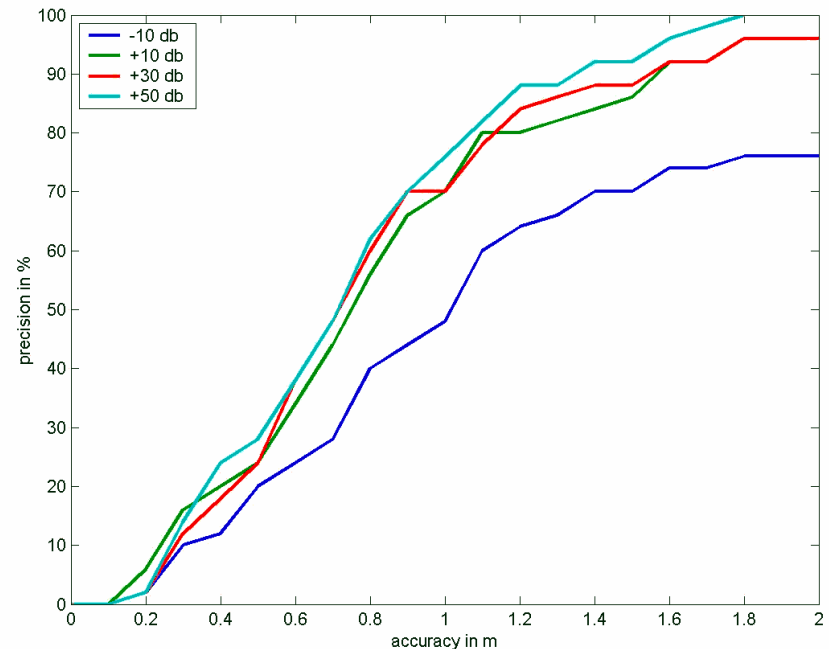
Höhe (Z)
abh. von Lage
der Sensoren -
ungenauere
Messung,
d.h. geringere
Präzision

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

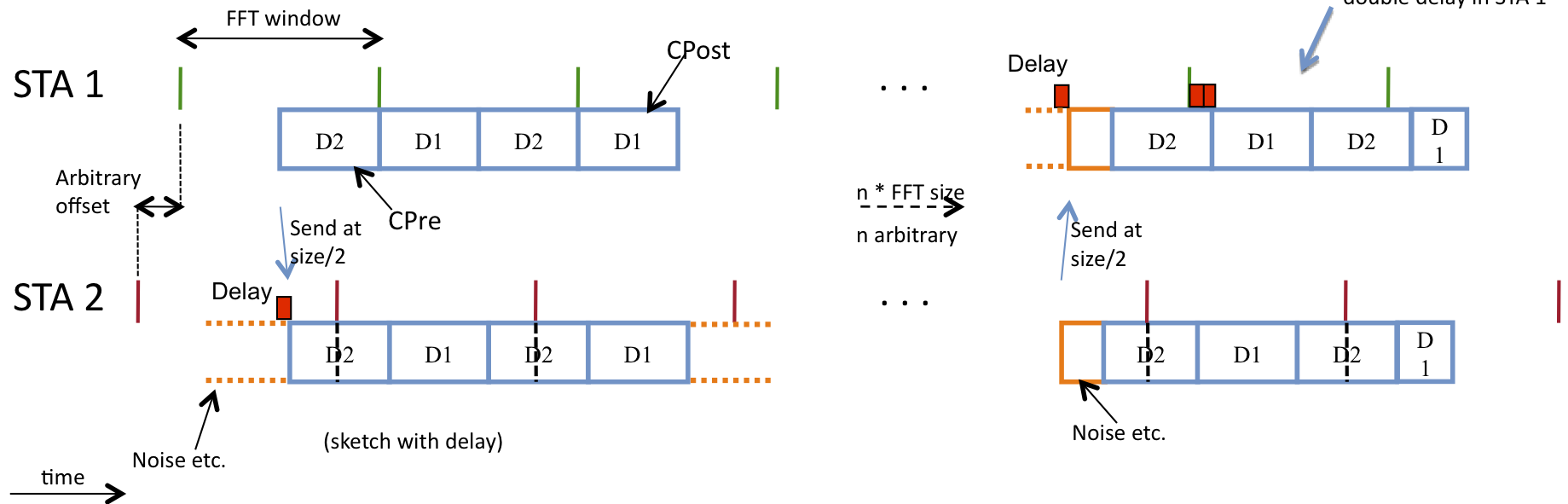


2. Approach - Round Trip Phase

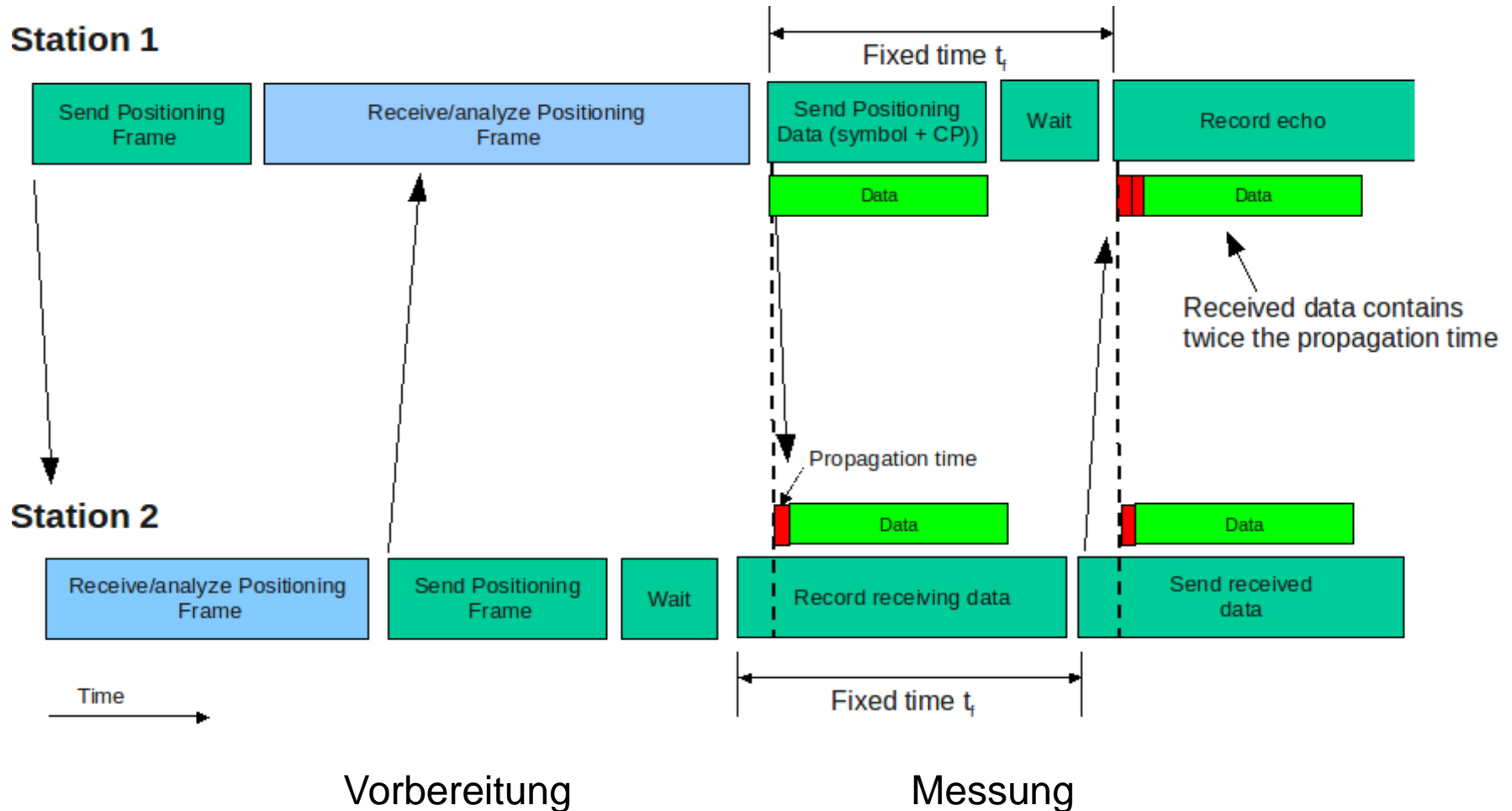
- Measuring the round trip phase
- Localisation using the phase difference between transmitter and receiver
- Receiver performs an echo (similar to a reflection) of the signal

Round Trip Phase

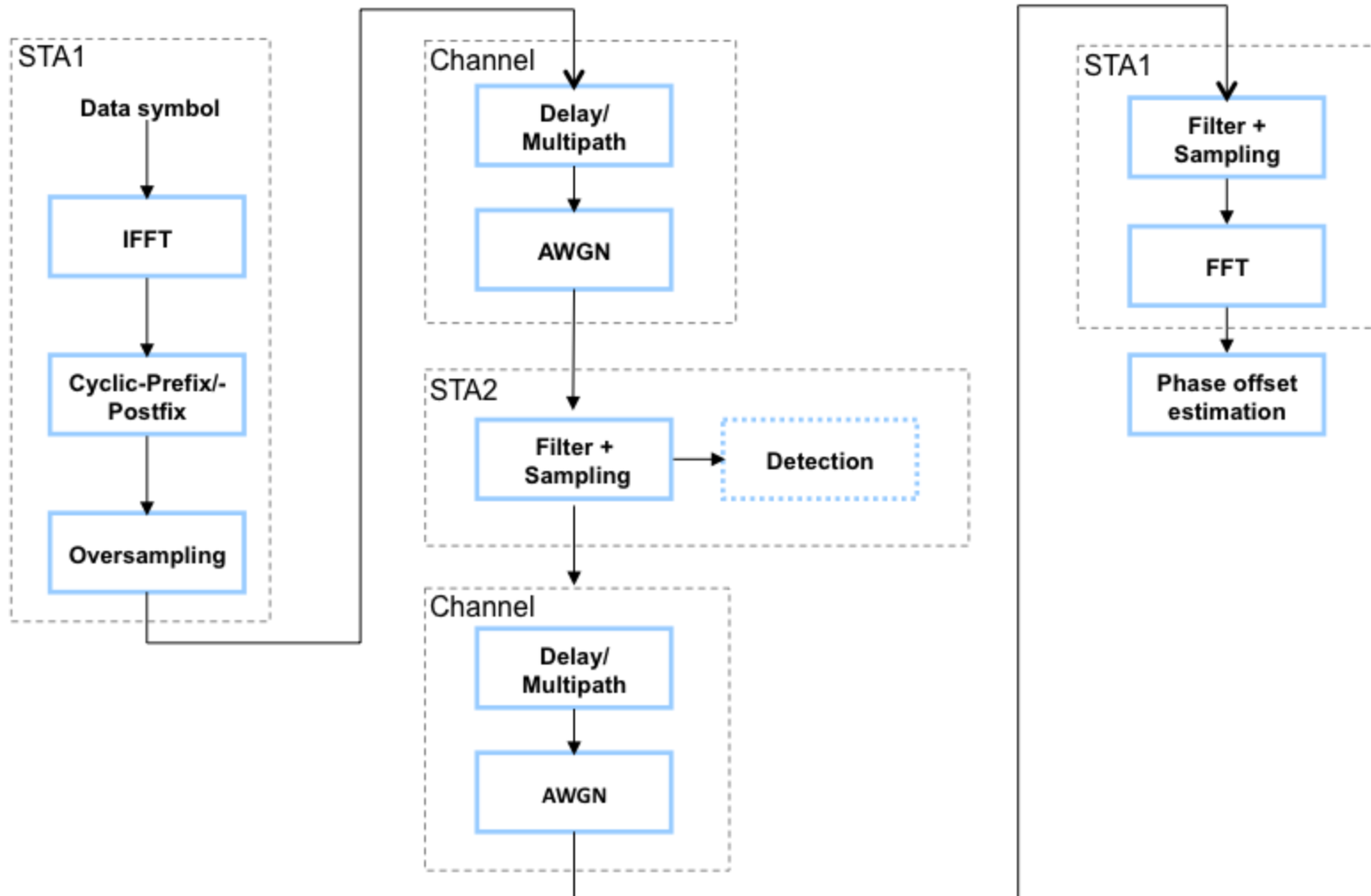
Messprinzip



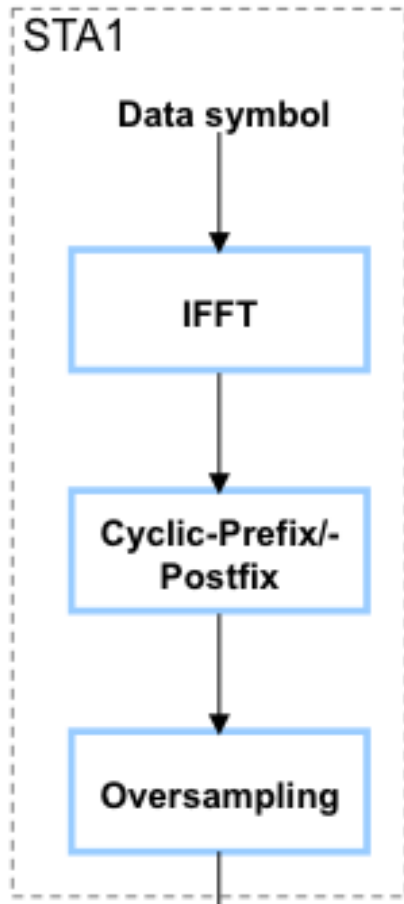
Round Trip Phase



Matlab Simulaiton



Matlab Simulation

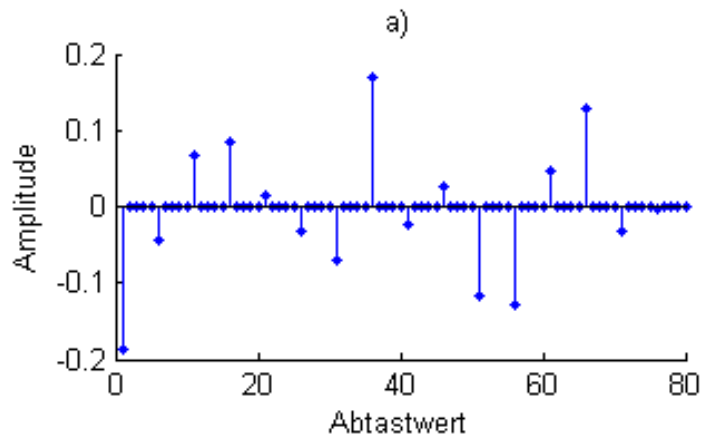


```

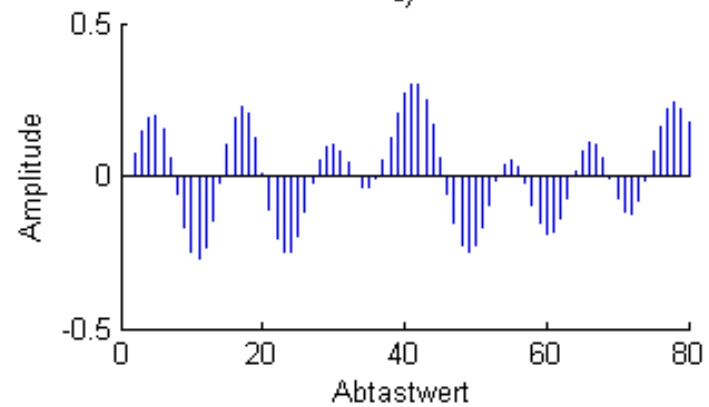
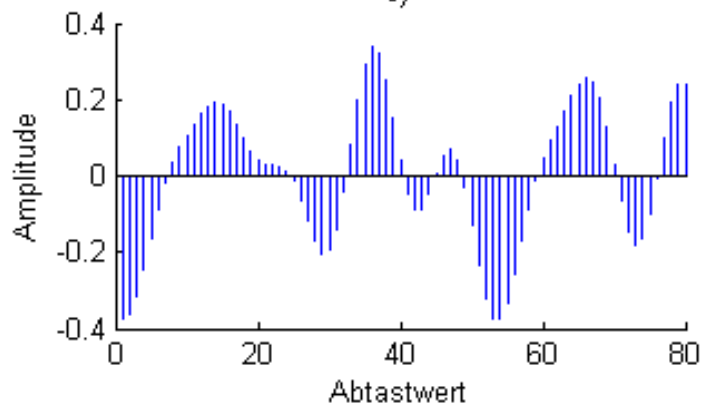
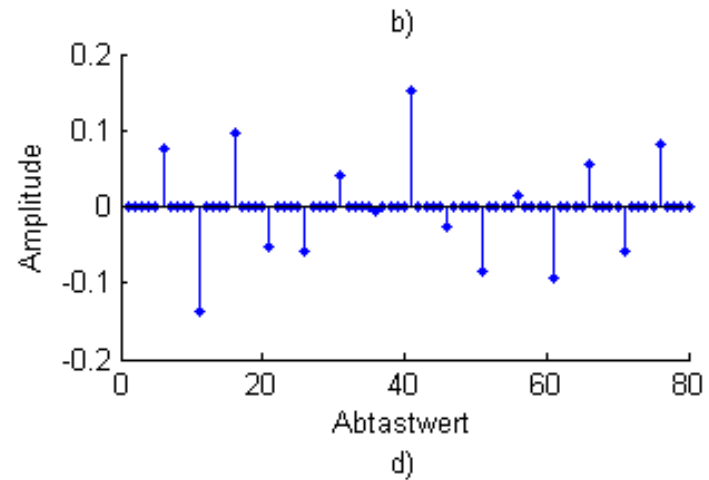
% long preamble symbol 802.11a
longPreambleSymbol = [0 0 0 0 0 0 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1
-1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 0 1 -1 -1 1 1
-1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1
-1 0 0 0 0 0];
% perform inverse FFT to get time domain symbol
iLongPreambleSymbol = ifft(longPreambleSymbol);
% 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

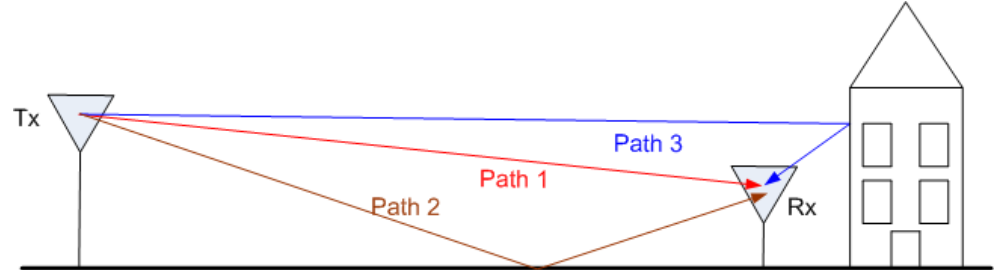
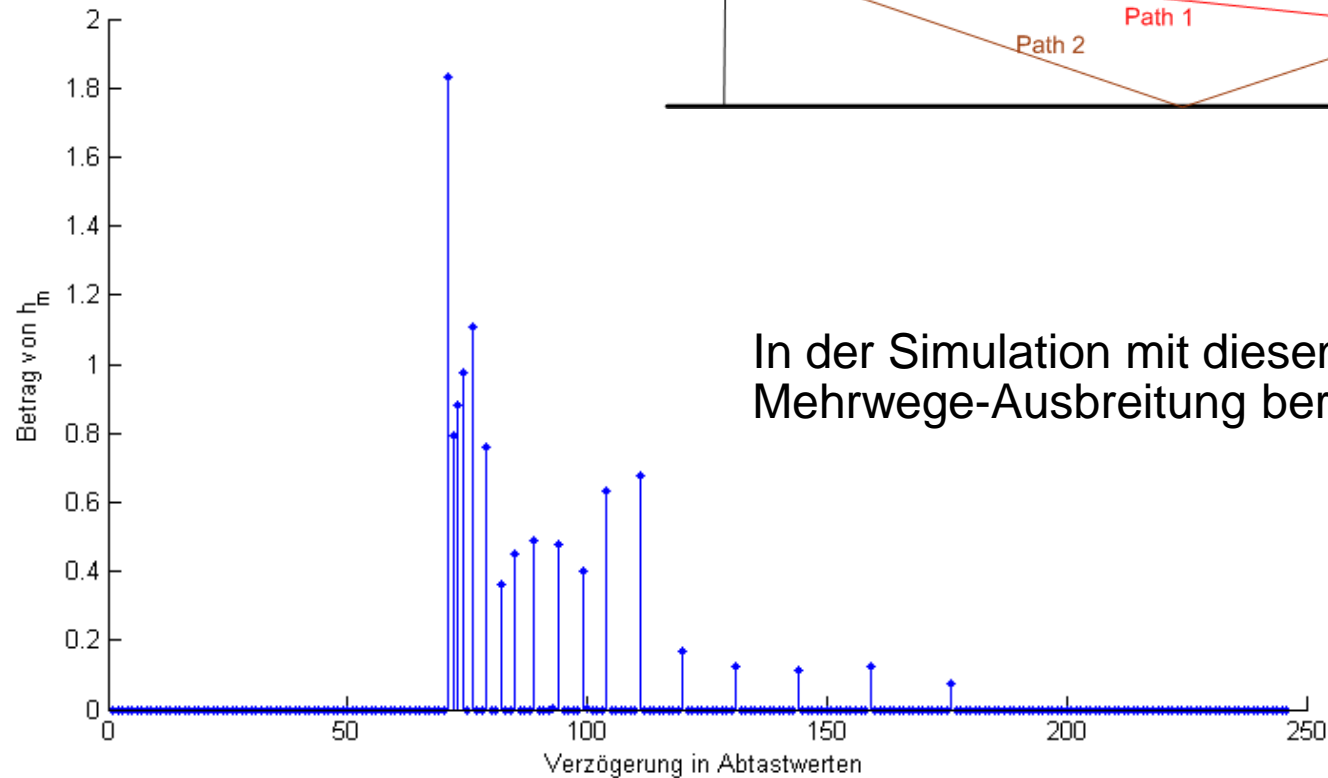
Realteil



Imaginärteil



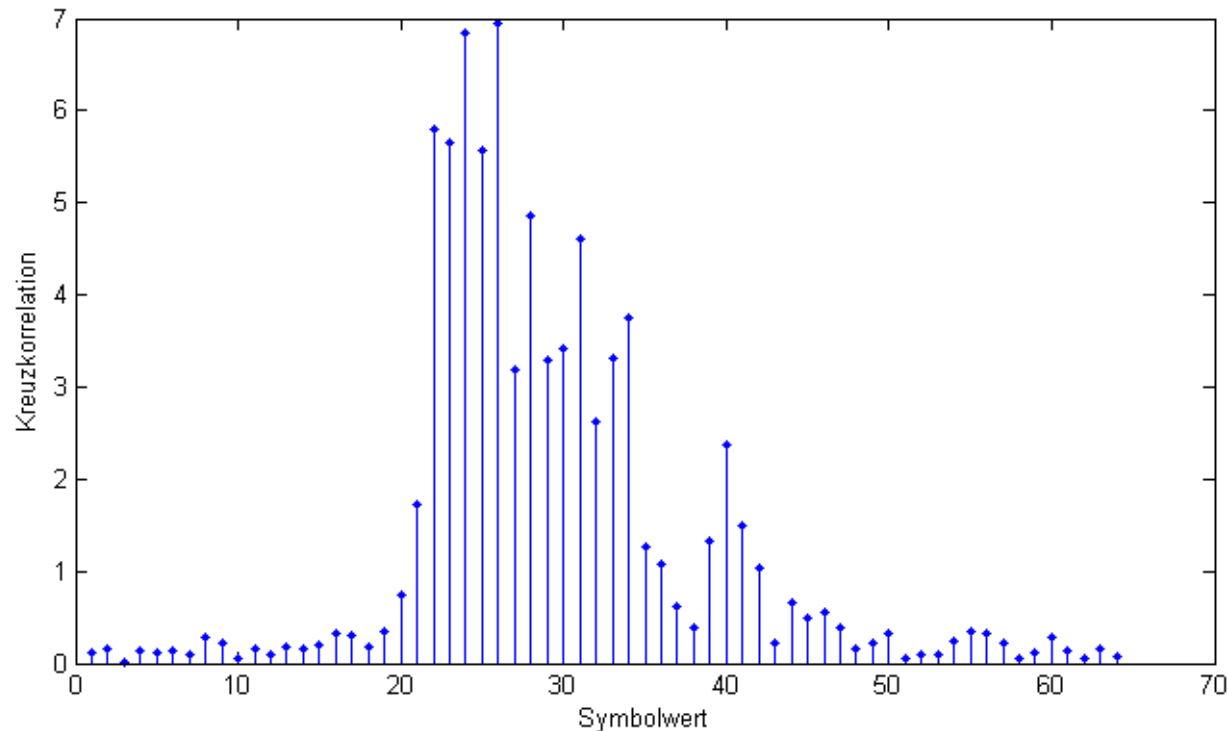
Matlab Simulation des 5 GHz Kanals



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

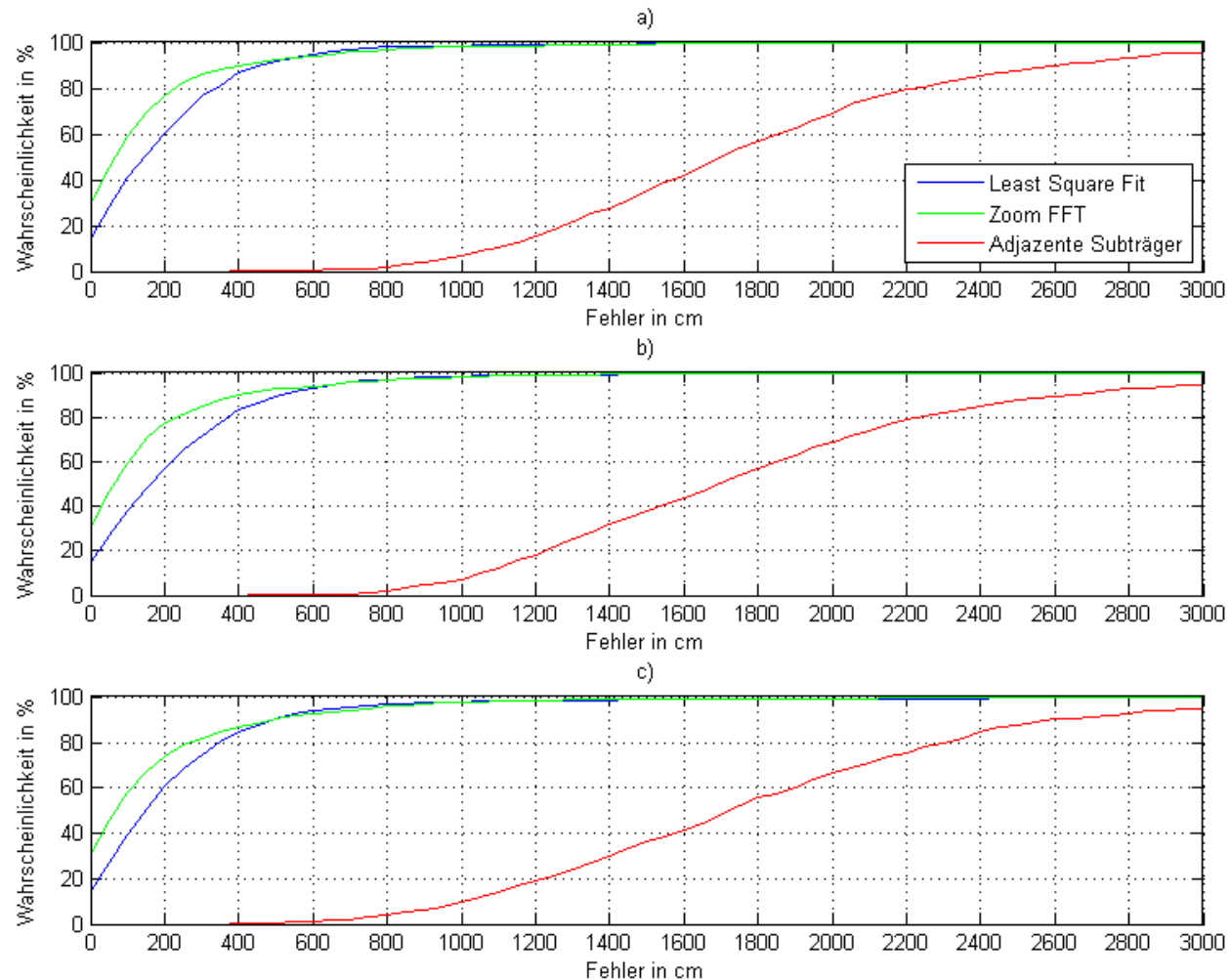
Matlab-Simulation des 5-GHz-Kanals

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



s. Diplomarbeit T. Ohlemüller

Matlab Simulation der Ergebnisse bei 5 GHz



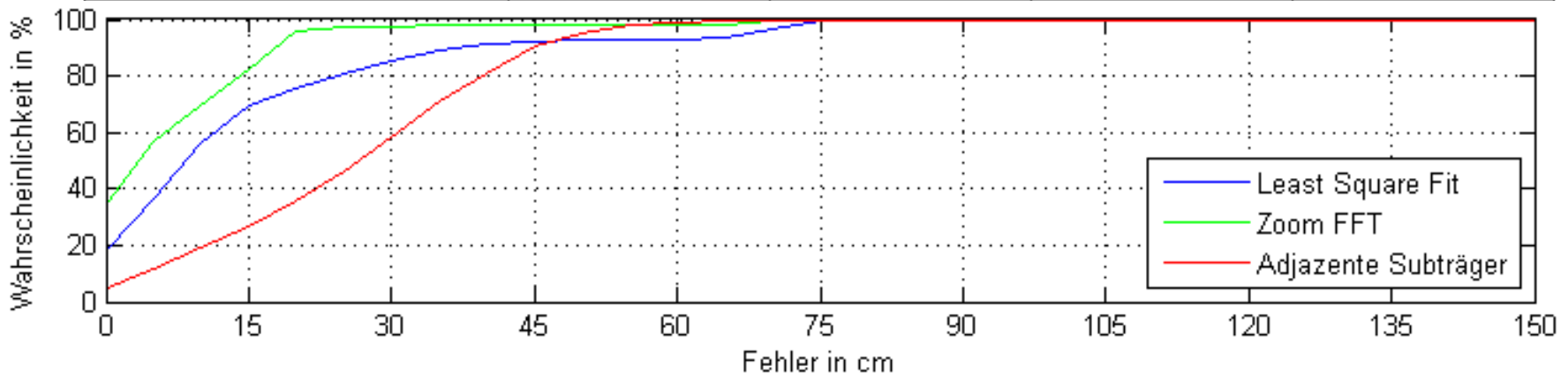
IHP 5 GHz Mehrwege-Kanalmodell für SNR a) 50 dB, b) 30 dB und c) 10 dB

Simulation results – 60 GHz

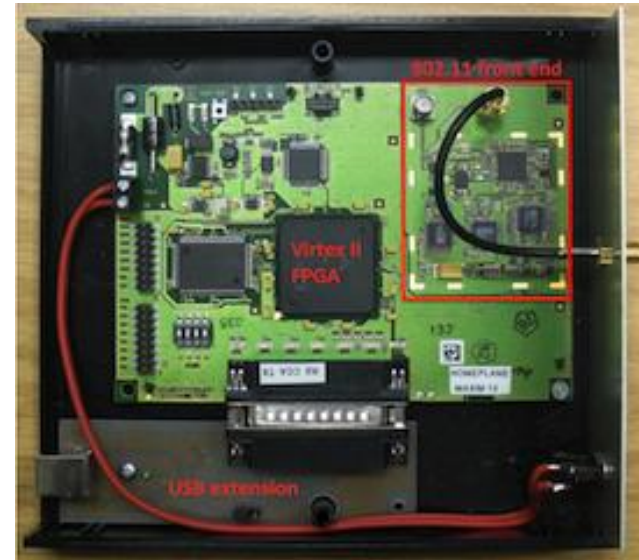
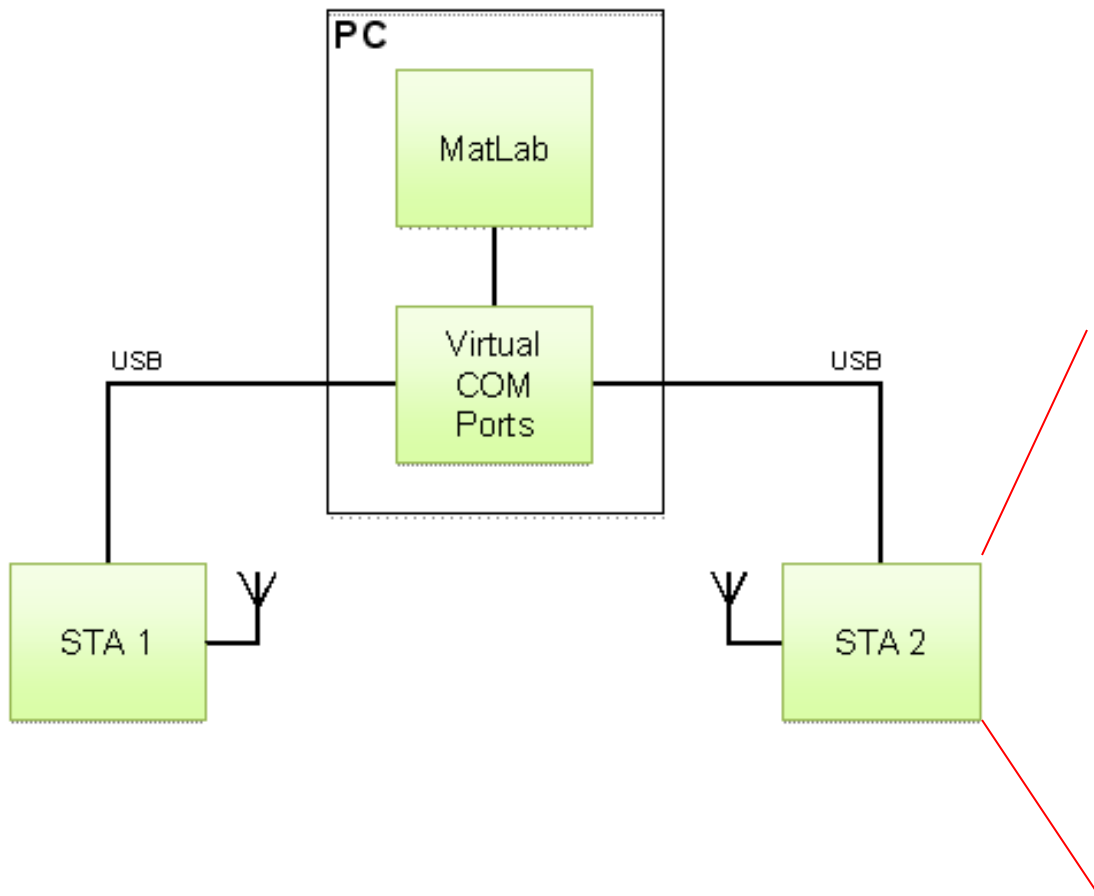
IHP 60 GHz channel model (Vivaldi) – 1000 measurements

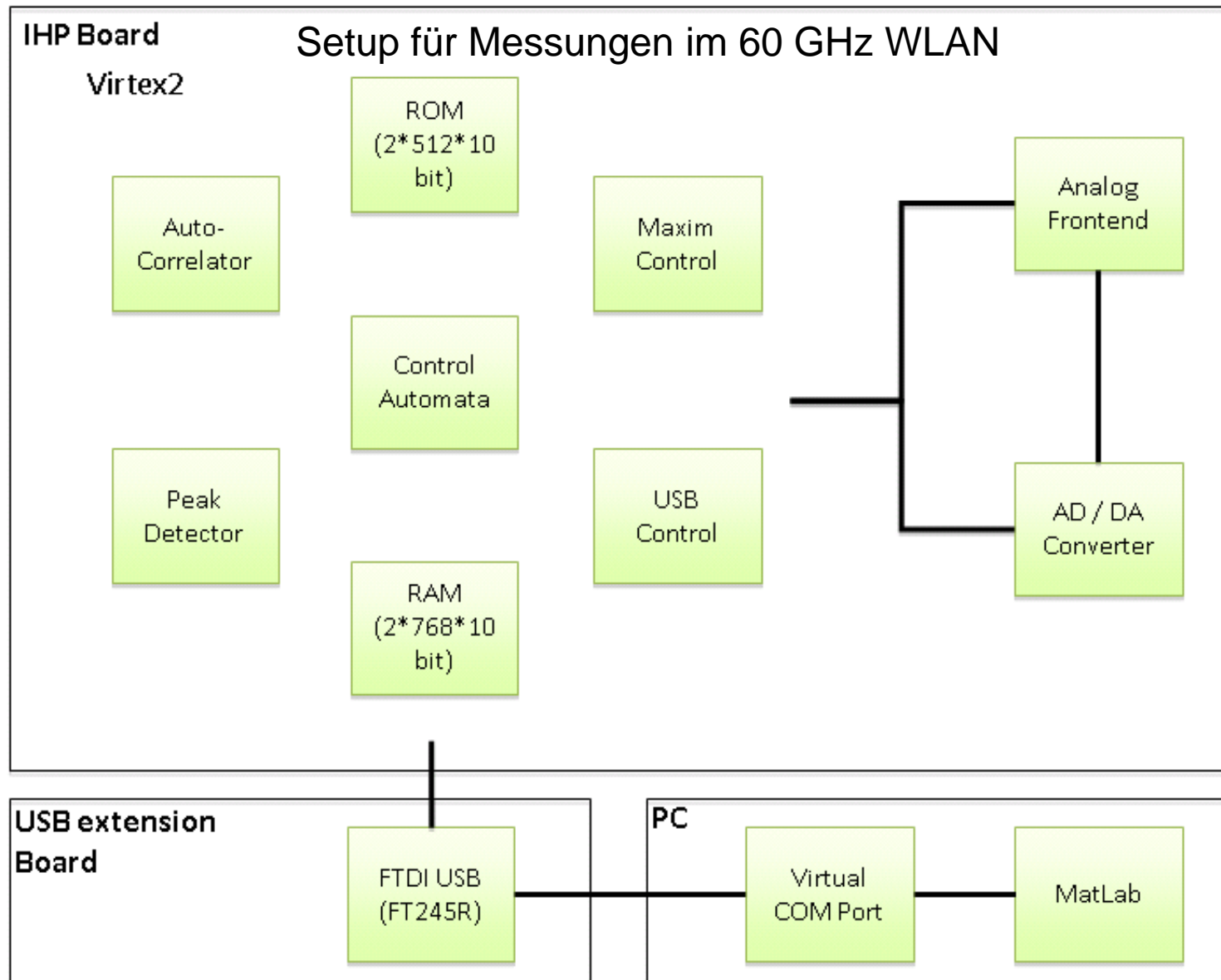
RMSE - Root mean square error, MAE – Mean absolute error (both in **cm**)

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

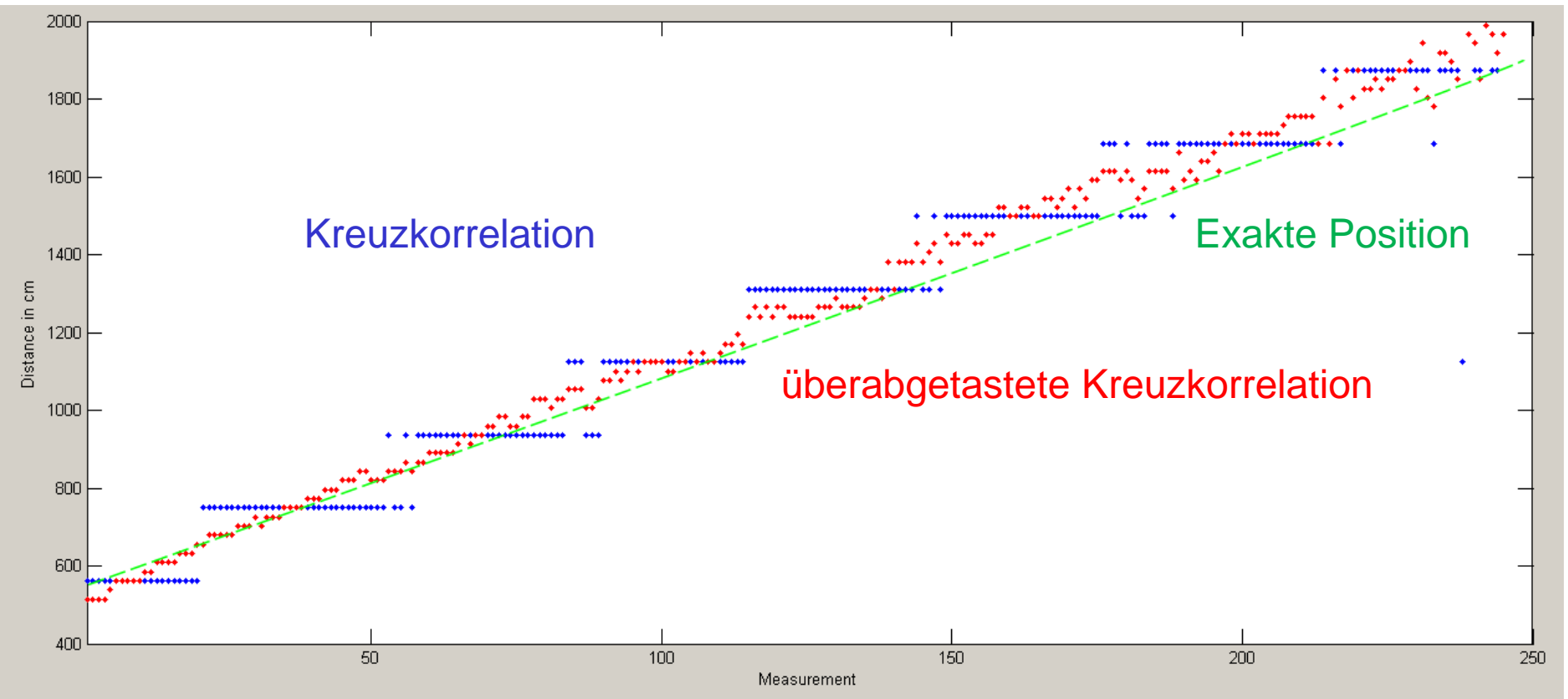




Messungen im großen Hörsaal



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