

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)

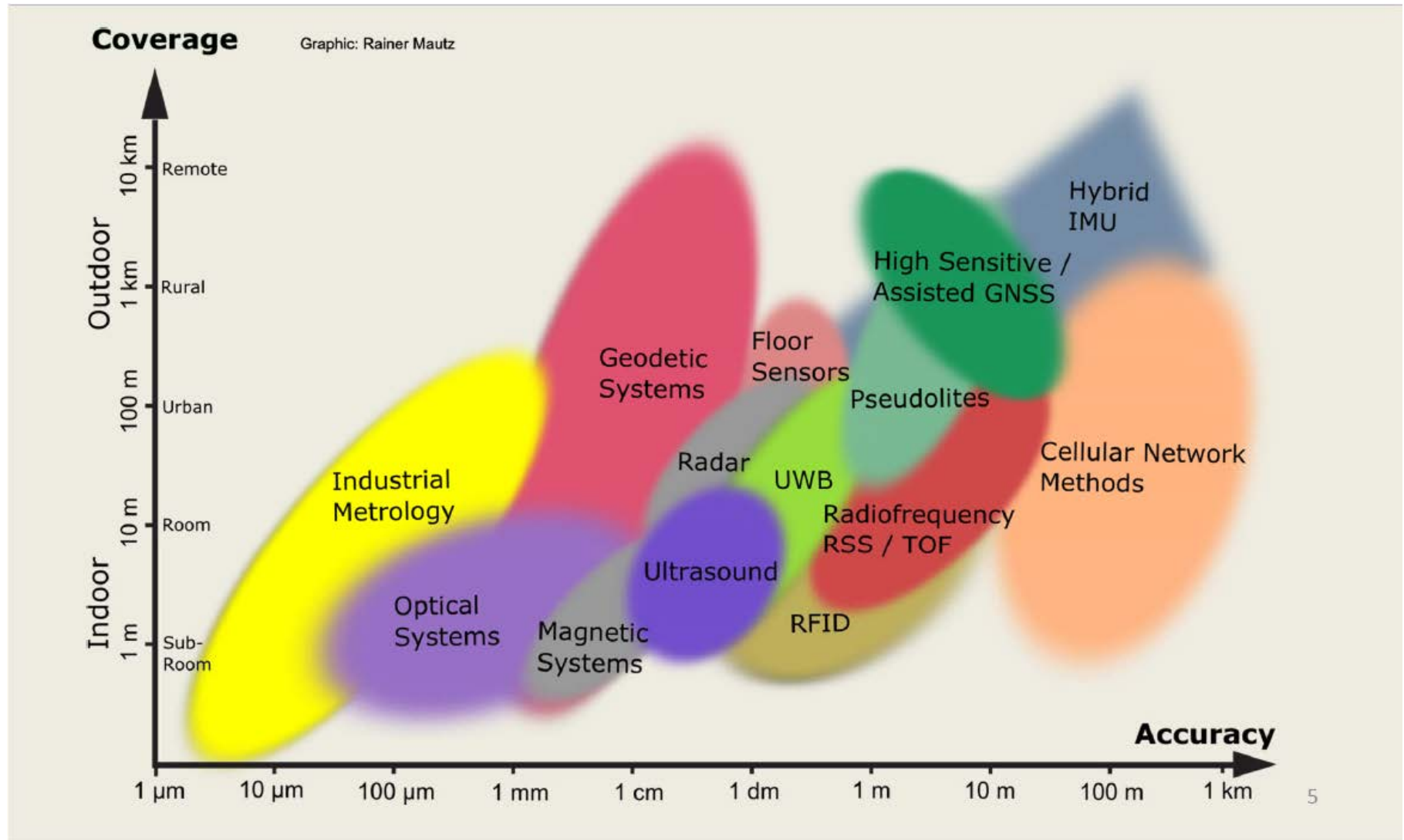
Voraussetzung

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

HU-Kooperationen:

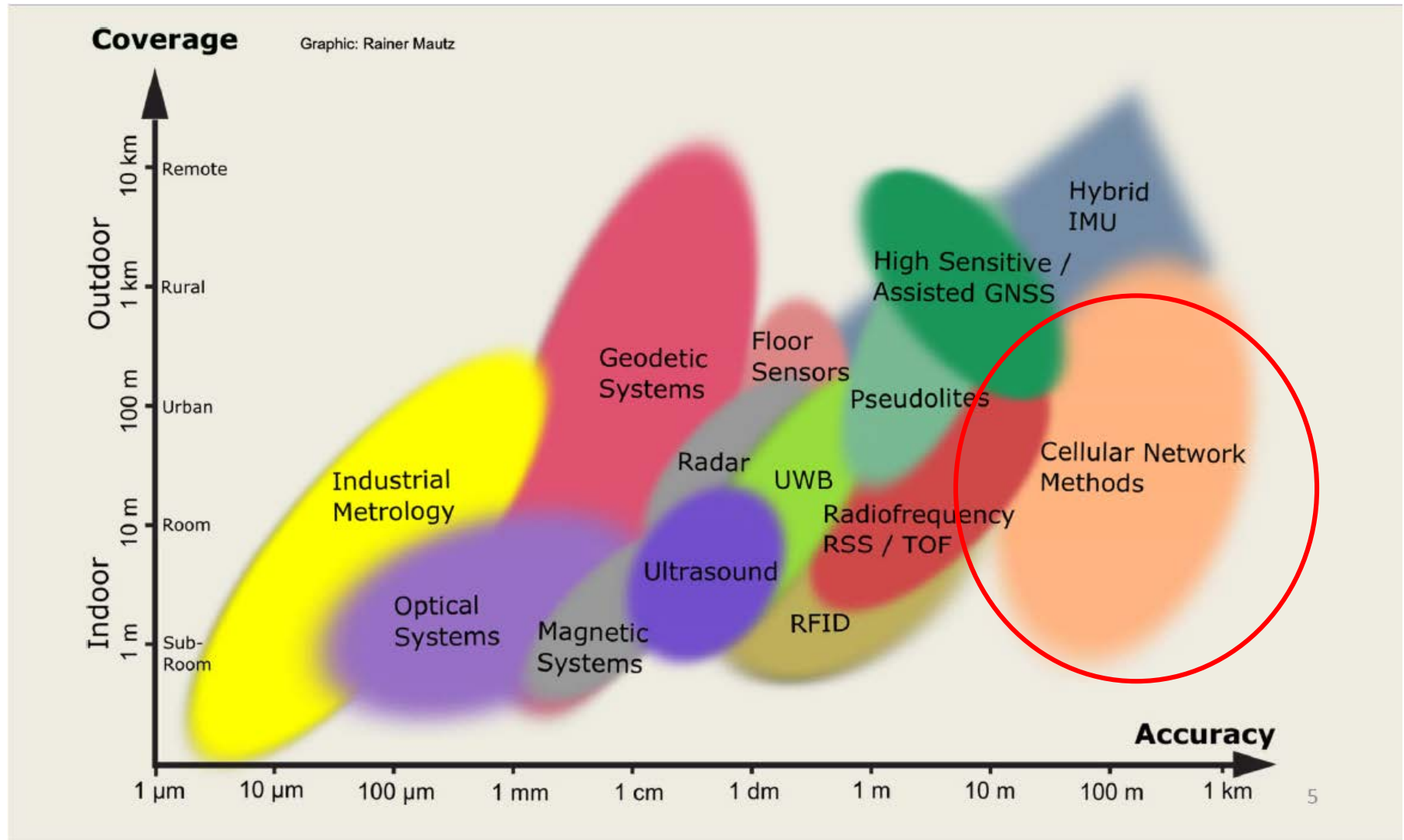
IHP Microelectronics Frankfurt/Oder

Breitbandkommunikation - Lokalisierung



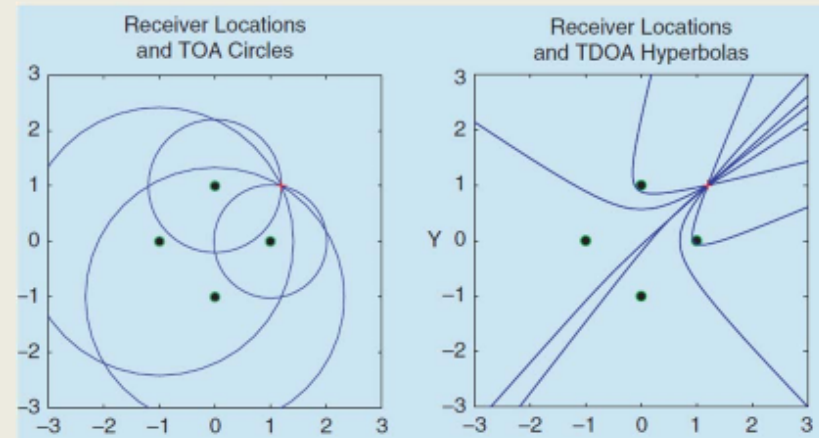
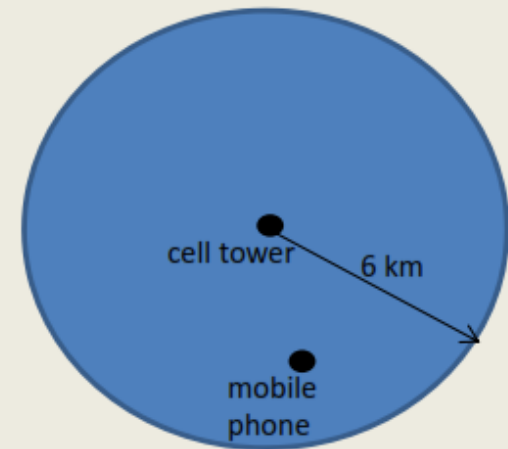
Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

Breitbandkommunikation - Lokalisierung



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

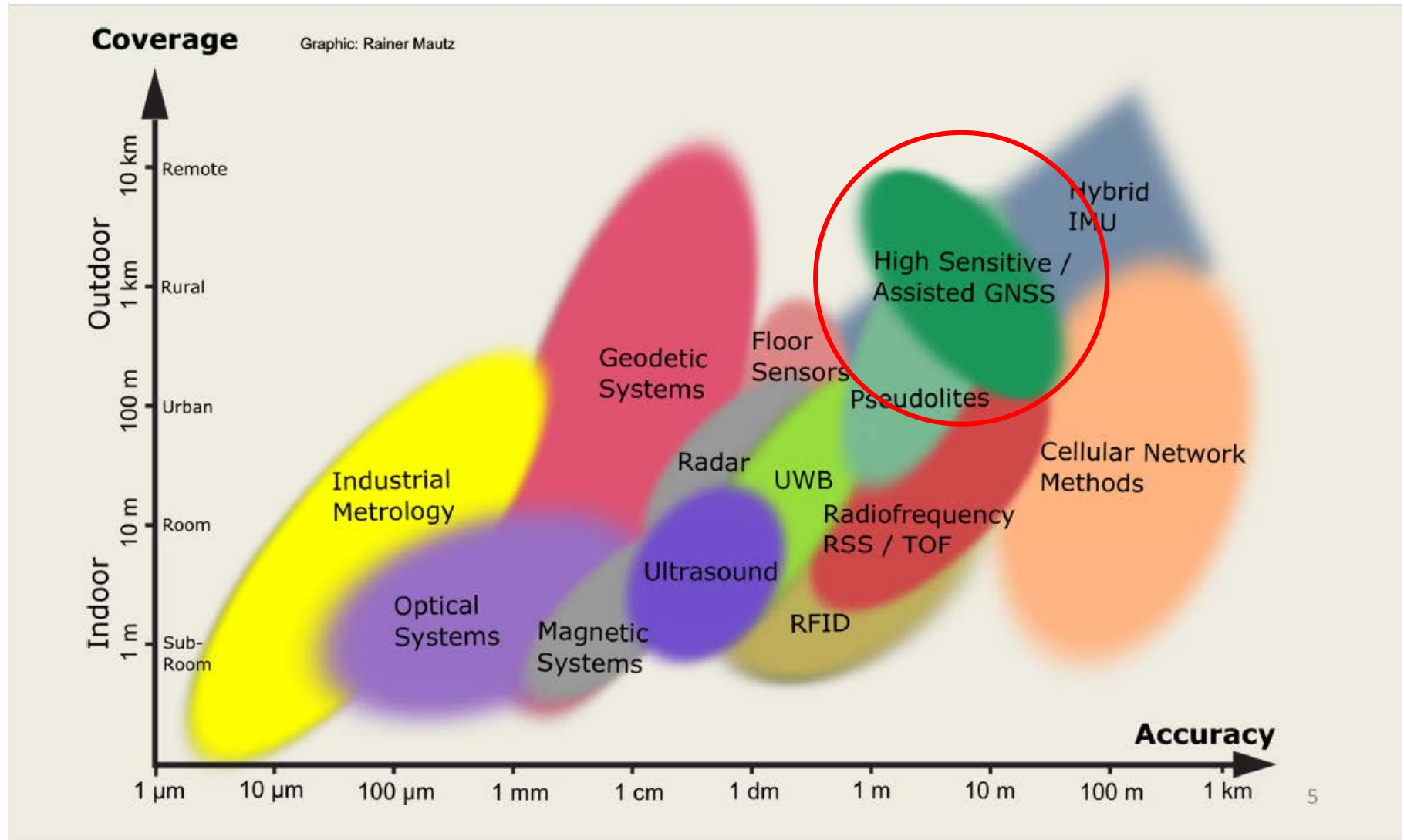
| | |
|-------------------------|-------------------------------|
| Measuring Principle | Cell ID, ToA, TDoA, RSSI, AoA |
| Accuracy | 20 m – 1000 m |
| Coverage | > km - scalable |
| Required Infrastructure | base stations |
| Application | navigation, LBS |
| Strengths | coverage, standard devices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



Gustafsson and Gunnarsson (2005)

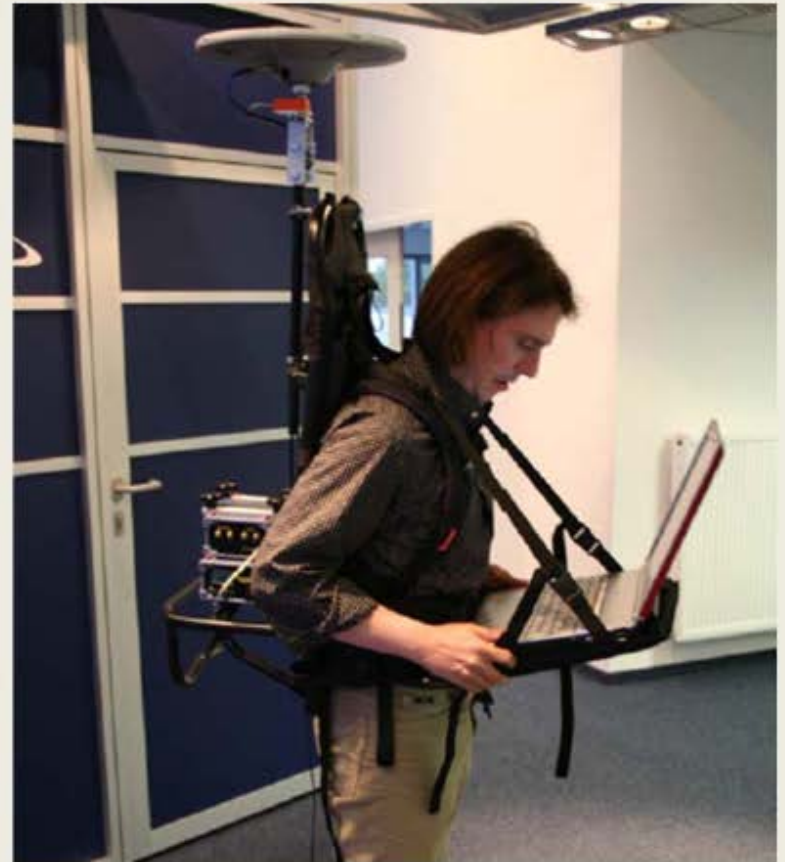
7

Breitbandkommunikation - Lokalisierung



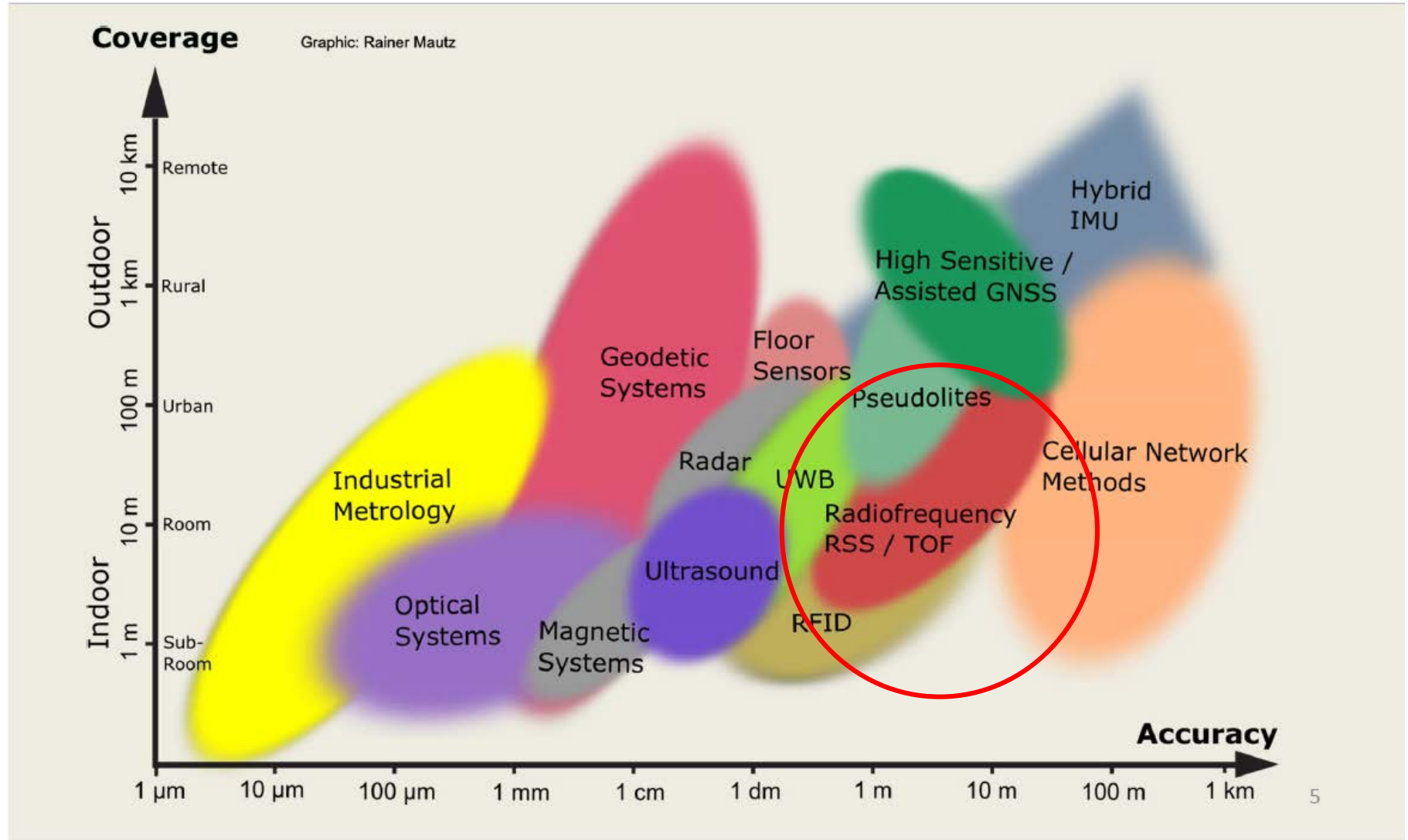
Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

| | |
|-------------------------|---|
| 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)

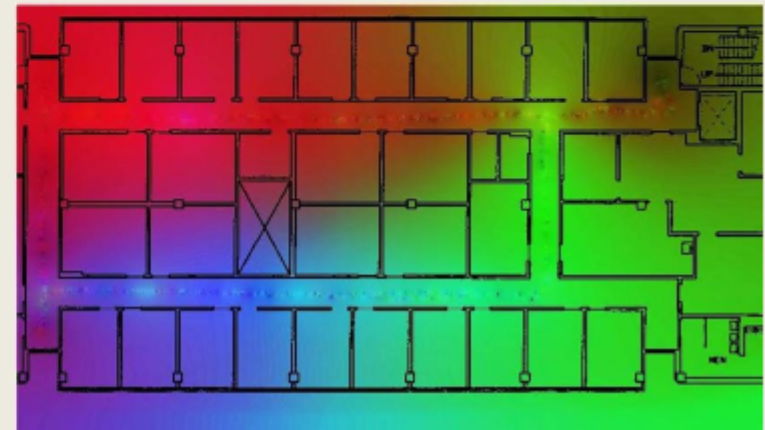
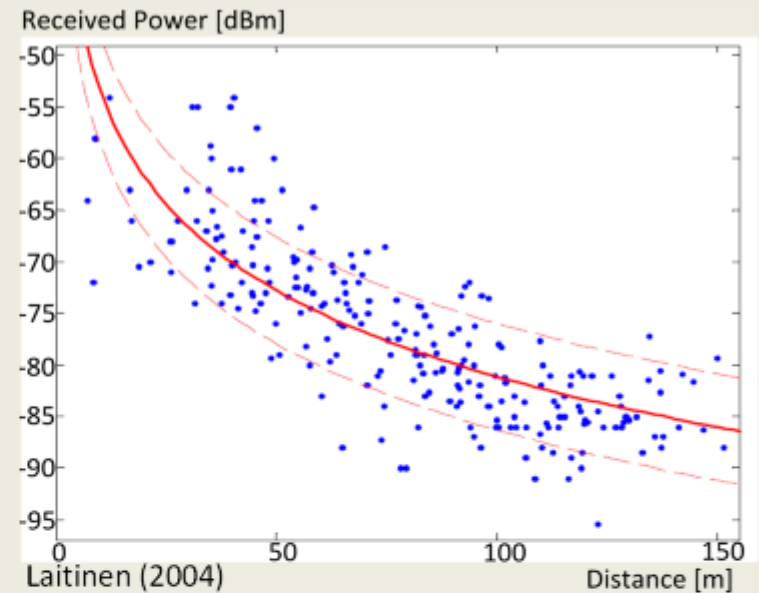
Breitbandkommunikation - Lokalisierung



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 |

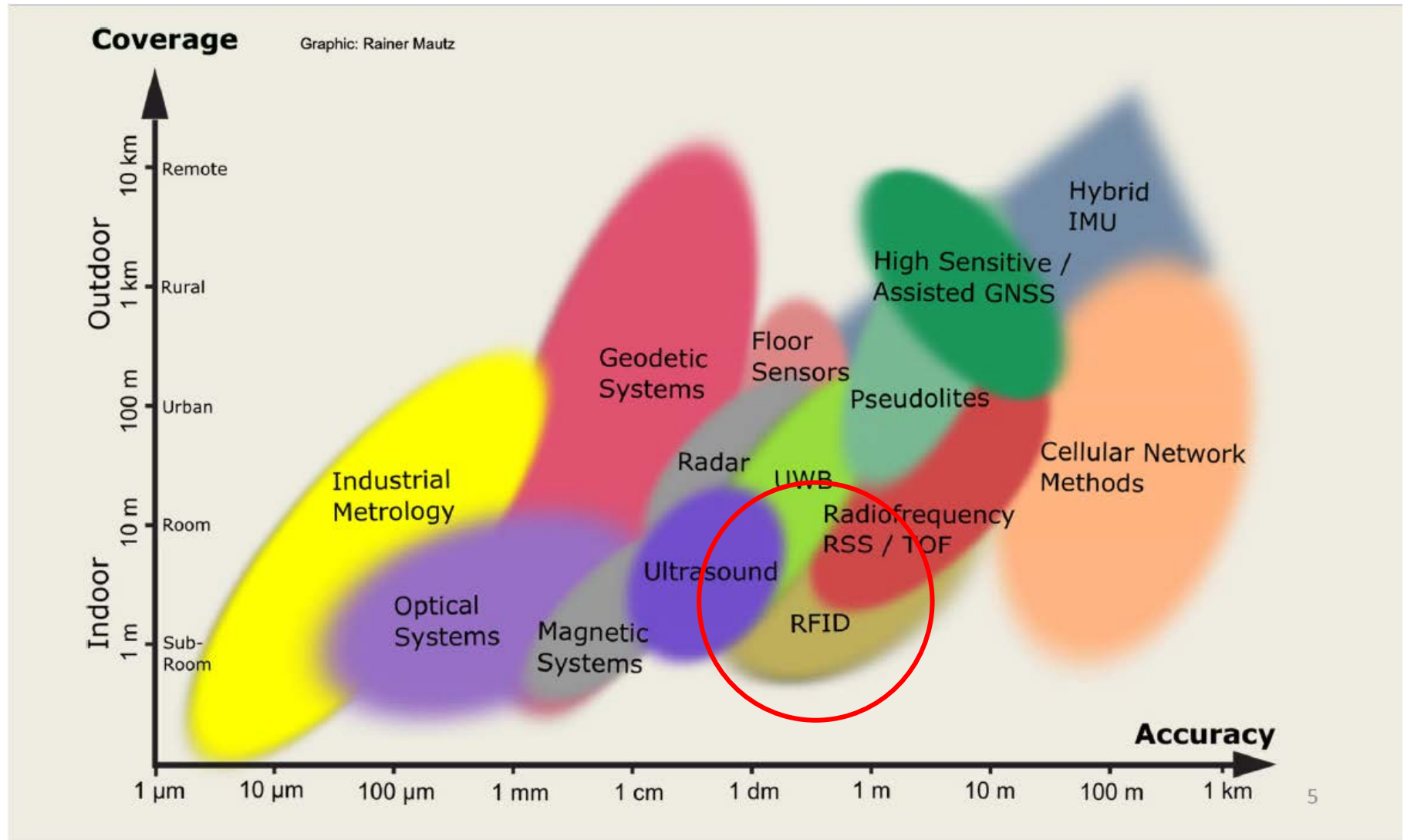


USC Robotics Research Lab

15

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

Breitbandkommunikation - Lokalisierung

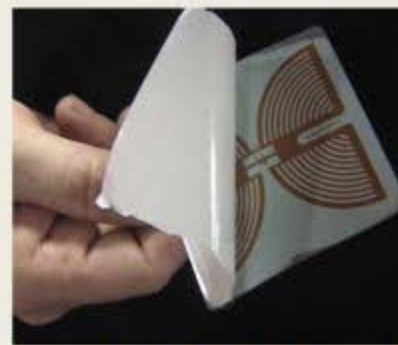


Rainer Mautz, Overview of Indoor Positioning Technologies IPIN 2011 Guimarães, 21. September 2011

| | |
|-------------------------|--|
| 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 |

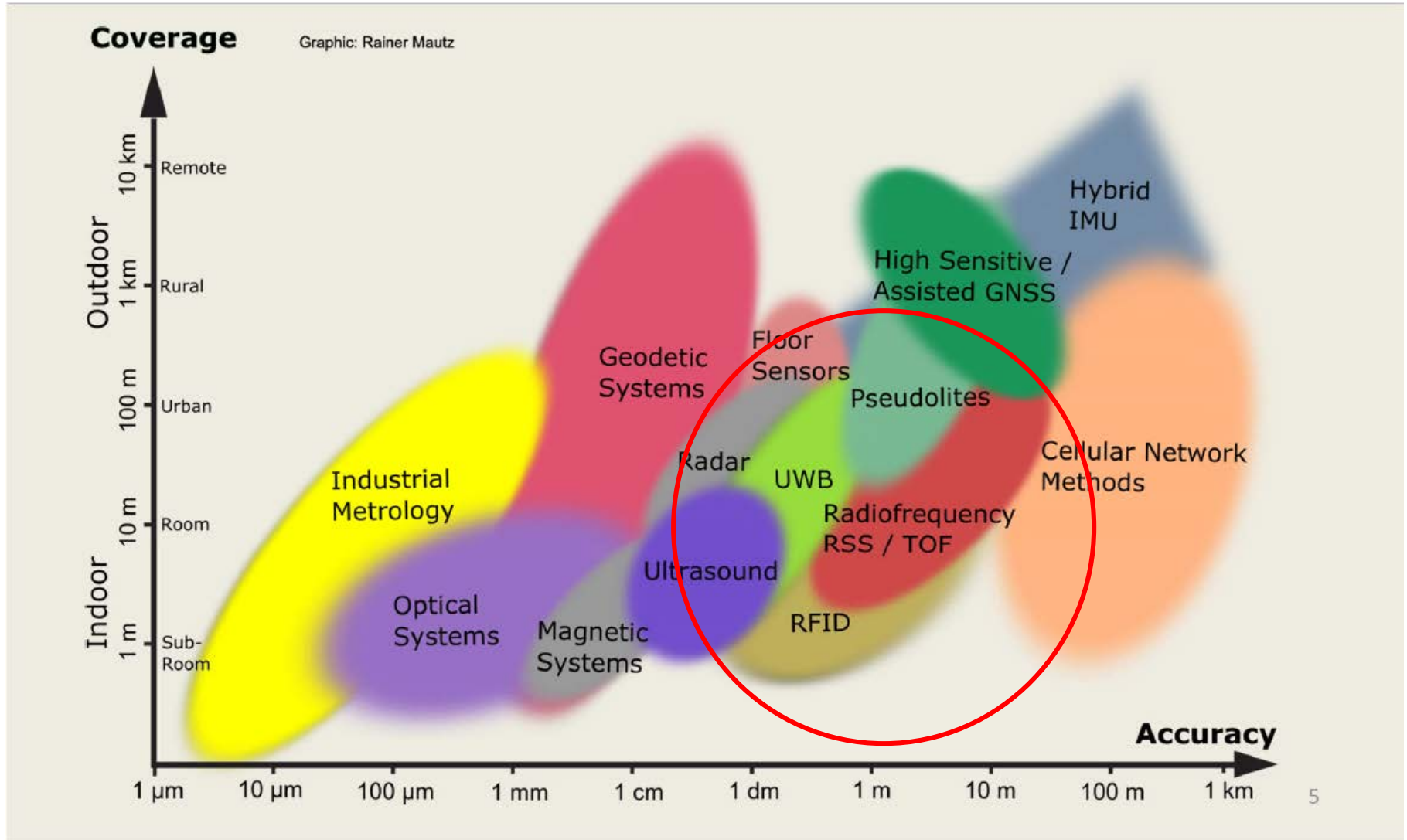


Active RFID Tag and Reader, Seco et al. (2010)



Passive RFID Tag, Bates (2007)

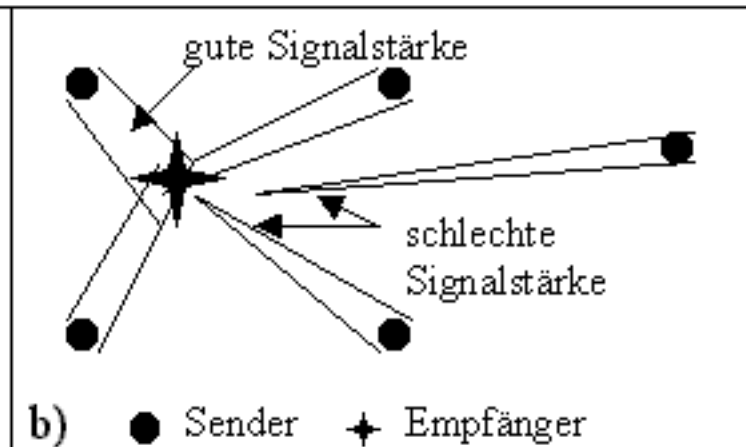
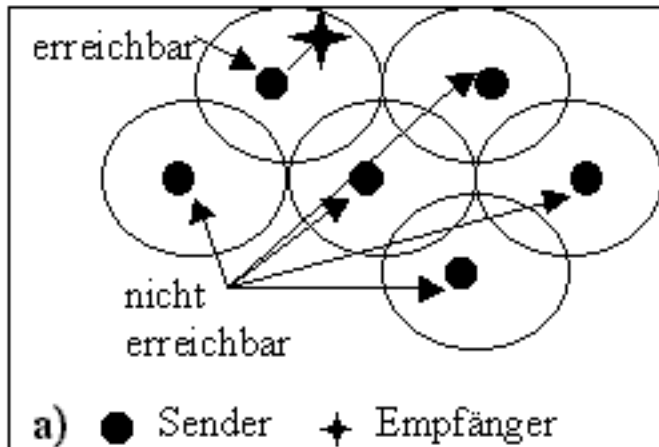
Breitbandkommunikation - Lokalisierung



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

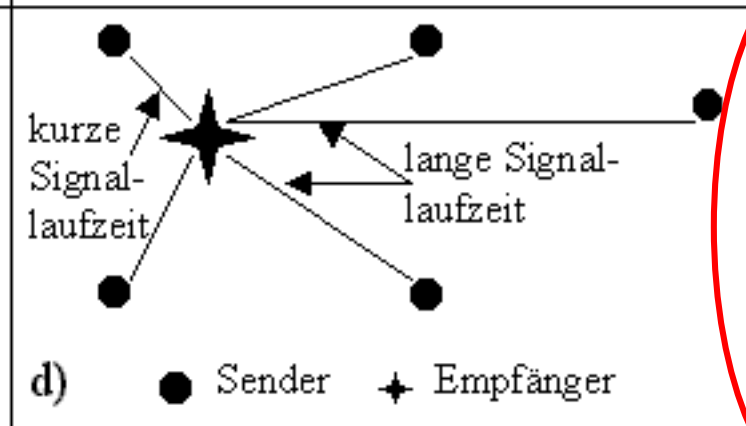
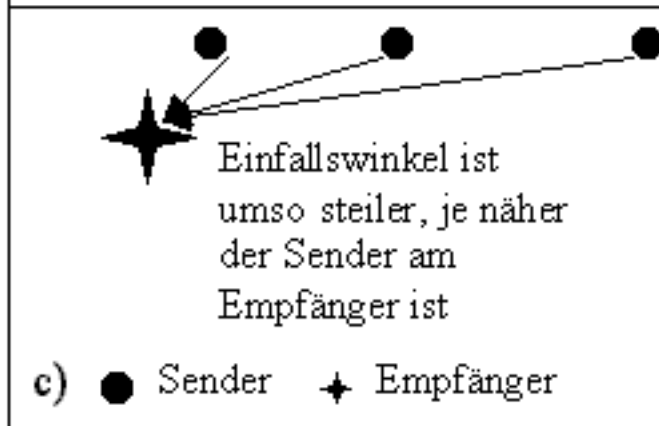
Funkbasierte Basistechniken

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:

$$s_i = c * t_i \quad \text{mit } c = \begin{array}{l} 299.792 \text{ km/s (Vakuum)} \\ 299.710 \text{ km/s (Bodennahe Luft, 99,97\%)} \\ 225.000 \text{ km/s (Wasser, 75\%)} \end{array}$$

3 m Weglänge => 10 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

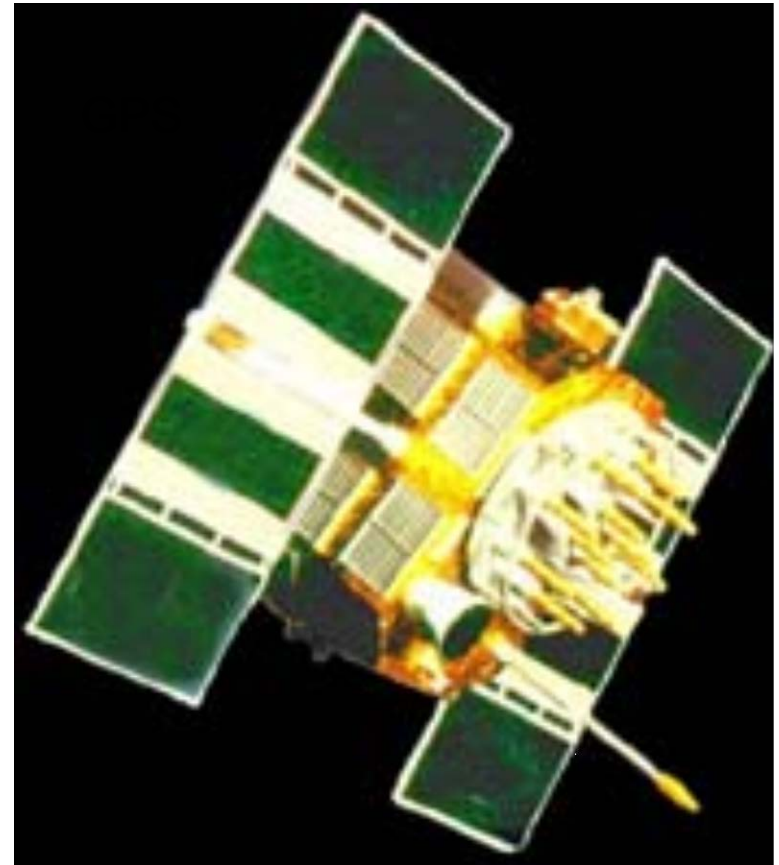
Cramer-Rao-Schranke

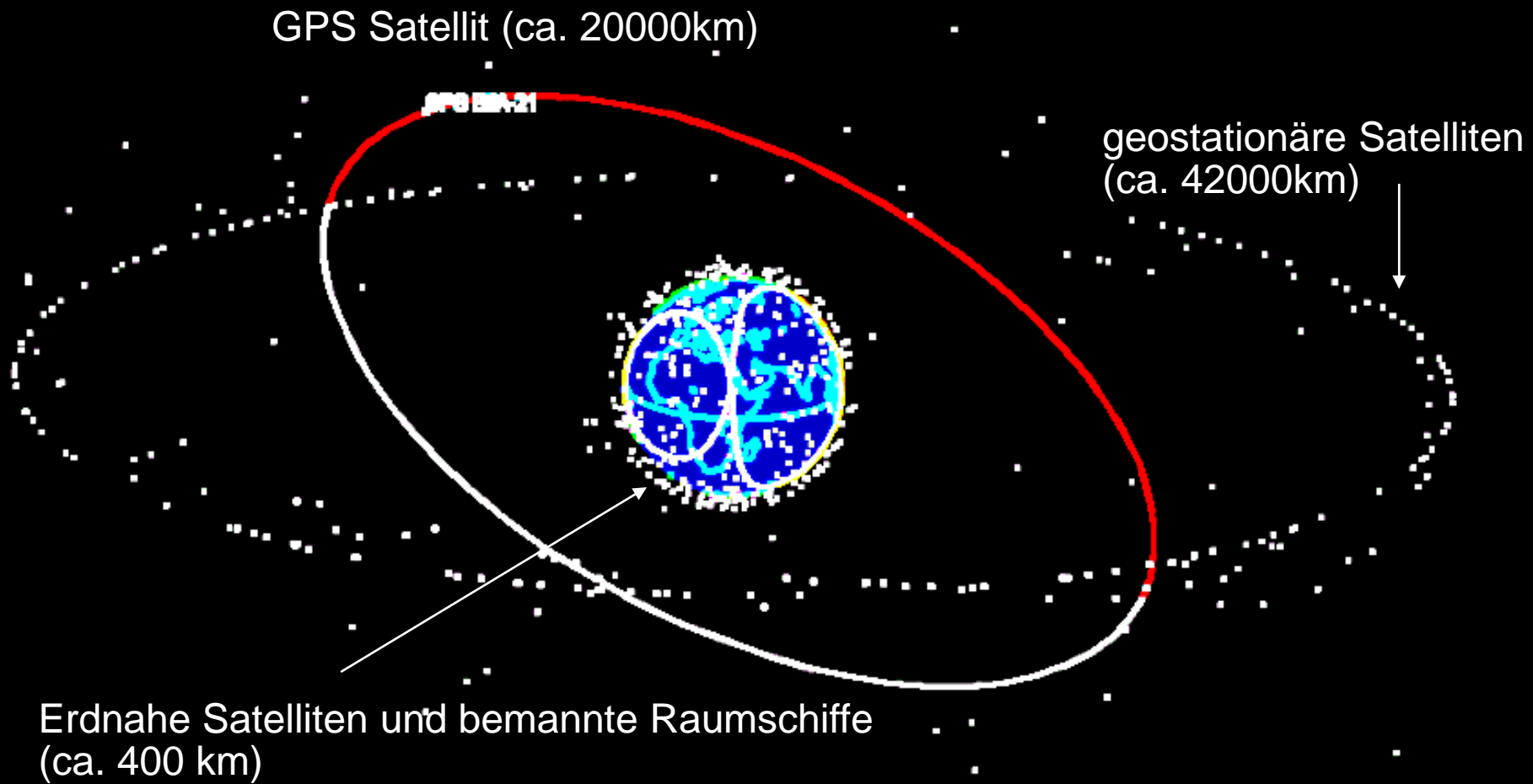
$$\sigma_{\text{CRLB}}^2 \approx \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot 2T \cdot \frac{P}{N_0} \int_{-\frac{B}{2}}^{+\frac{B}{2}} f^2 S(f) df}$$

- Mit zunehmendem Signalgeräuschverhältnis P/N_0 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 höhere Bandbreite B nimmt die Cramer-Rao-Schranke ab, d.h. die Laufzeitschätzung verbessert sich.
- Die Signalleistung sollte in den Bandgrenzen 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,





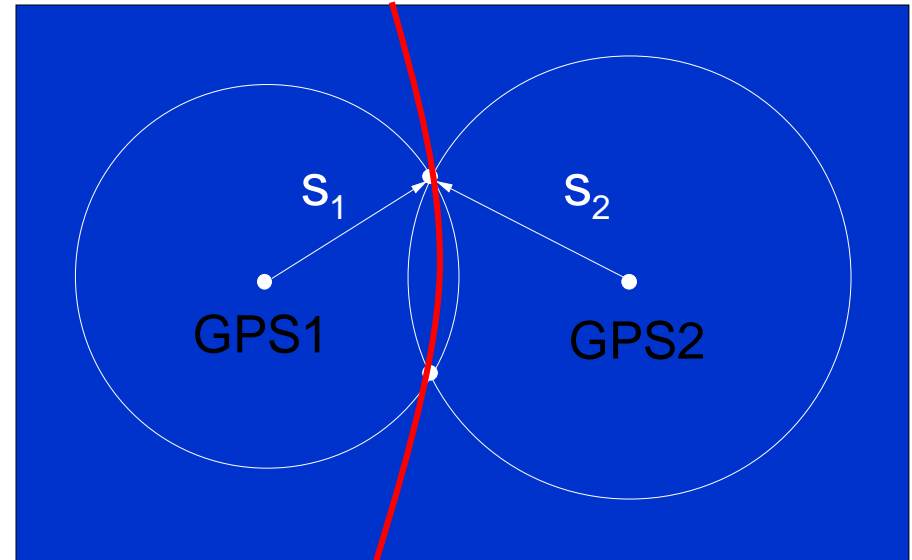
<http://science.nasa.gov/Realtime/JTRACK/3d/JTrack3D.html>

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 2D 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 synchronisierten Sendern (GPS) und einem Offset im Empfänger s_0 (infolge nicht genauer Empfängeruhr) können 3 Kreisgleichungen bei bekannten Mittelpunkten (x_i, y_i) , $i=\{1,2,3\}$ gelöst werden:

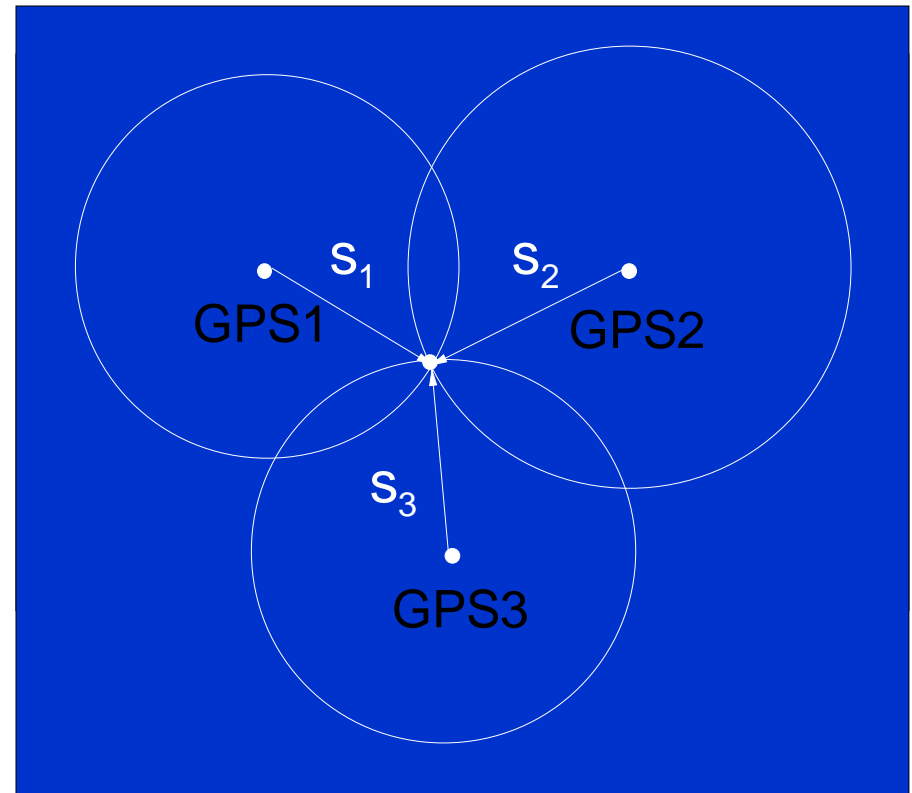
$$(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = (s_1-s_0)^2$$

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

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

und der Offset s_0 ist berechenbar.

- 3 m Weglänge = 10 ns



Absolute 3D Positionsbestimmung

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

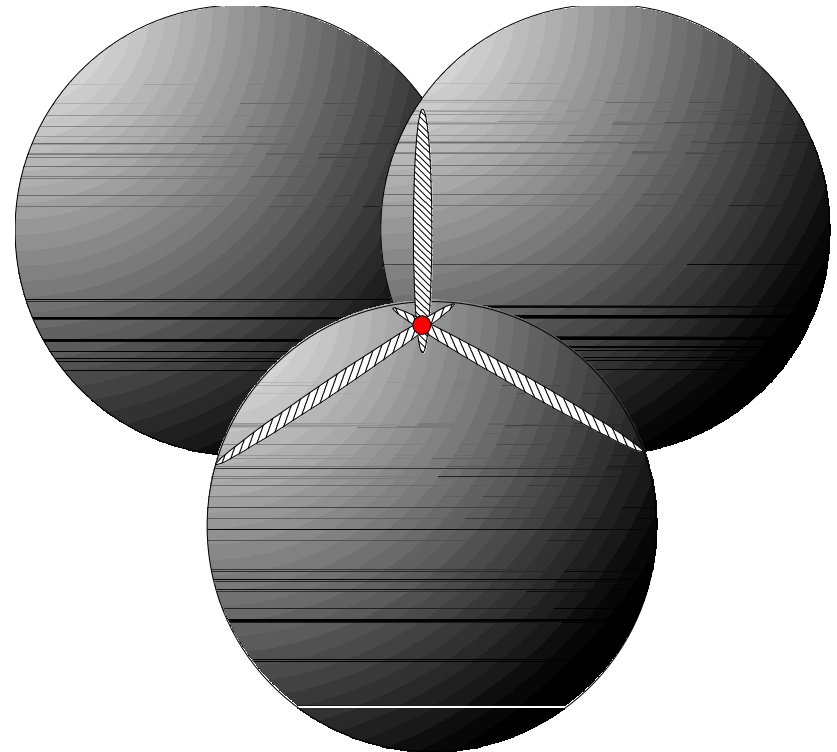
- 3 Satelliten im Raum:
Messung der drei Abstände
 s_1 , s_2 und s_3

Räumliche Darstellung:
Schnittlinie (ideal: Schnittpunkt)
dreier Kugeloberflächen

$$\begin{aligned}(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 &= (s_1-s_0)^2 \\(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 &= (s_2-s_0)^2 \\(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 &= (s_3-s_0)^2\end{aligned}$$

- Tritt wieder ein Zeit- bzw.
Längenoffset im Empfänger auf,
erfordert die Lösung des
Gleichungssystems mindestens
einen 4. Satelliten.

$$(x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2 = (s_4-s_0)^2$$



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

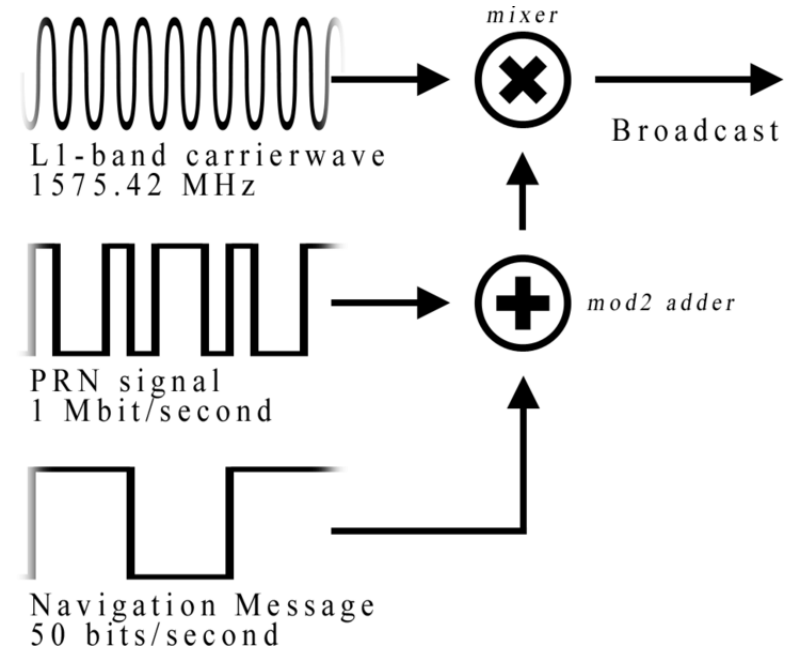
- **L1:** C/A (Coarse/Acquisition)
- Trägerfrequenz 1575,42 MHz (Aus Caesium-Uhr abgeleitet)
- Spread Spectrum Modulation
- Chips: 1023 bit @ 1ms (1023 Mcps)
- Gold Code
$$G1 = 1 + x^3 + x^{10}$$
$$G2 = 1 + x^2 + x^3 + x^6 + x^8 + x^9 + x^{10}$$

-> 32 (up to 200) useful code shiftings between G1, G2 with low cross correlation
- Message: 50 bit/s
- low bandwidth (1 μ s 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>



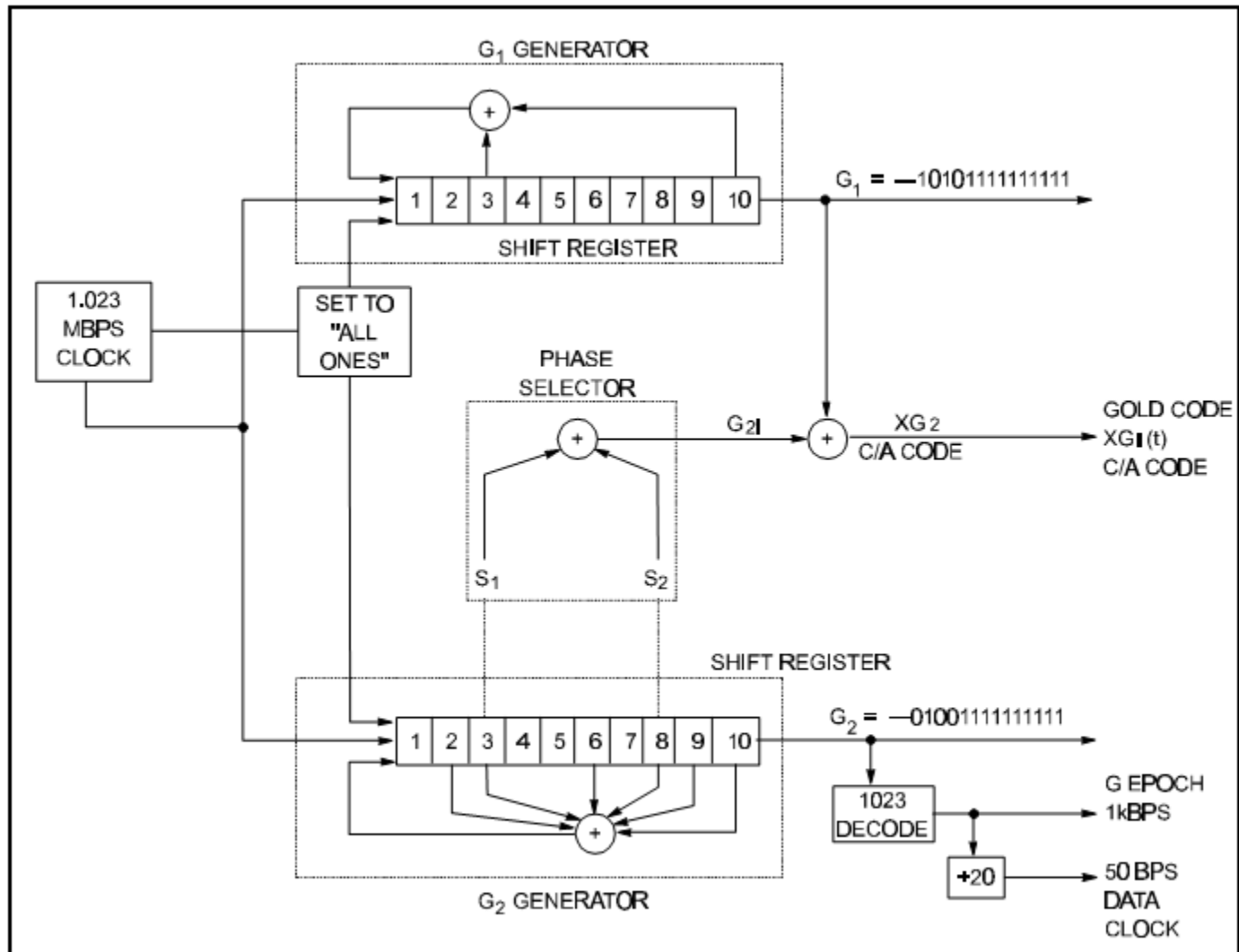


Figure 2-4. C/A-Code Generation

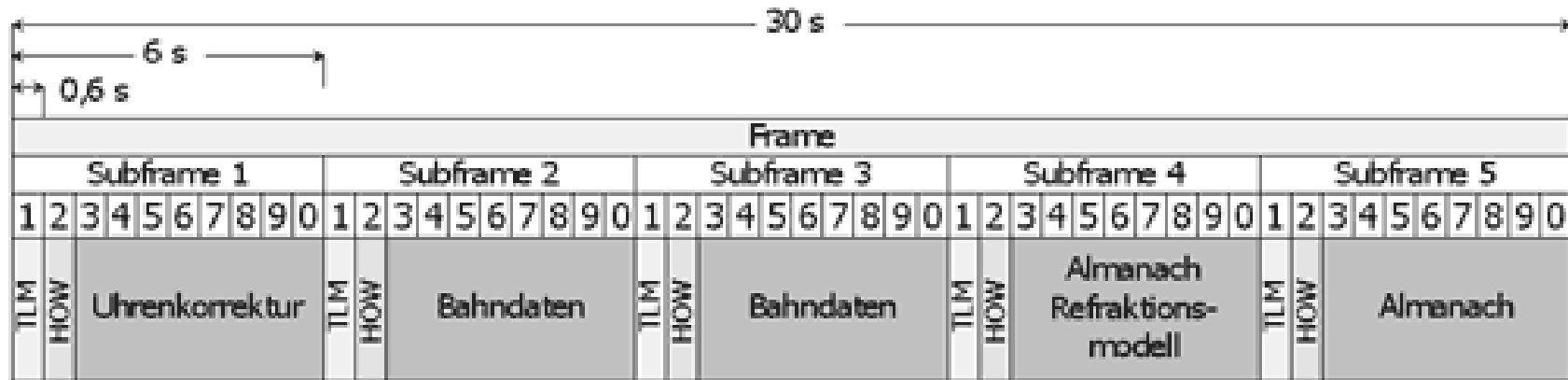
GPS Signals

Das Datensignal ist in 25 Blöcke (frames) mit jeweils $5 * 30 = 1500$ 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), $HOW = TOW / 4$

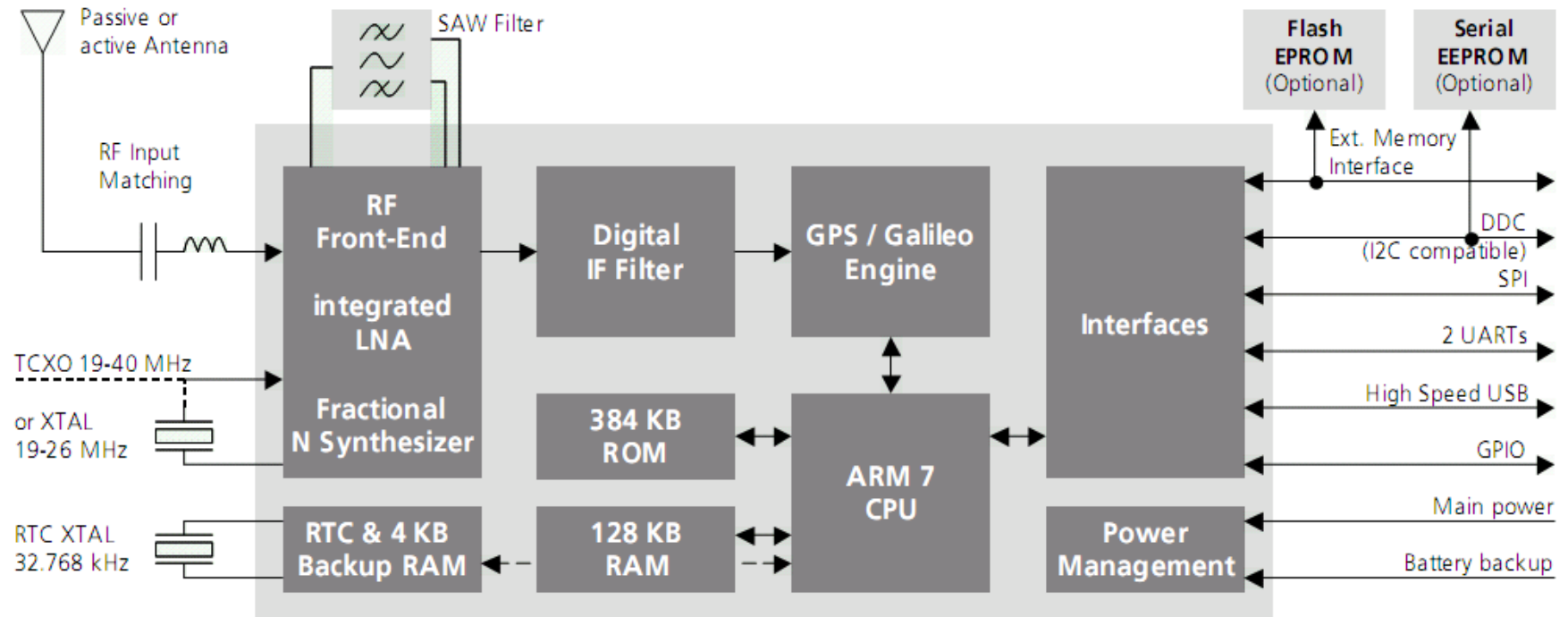
Subframe 4/5: Satellitenpositionen (Almanachdaten)



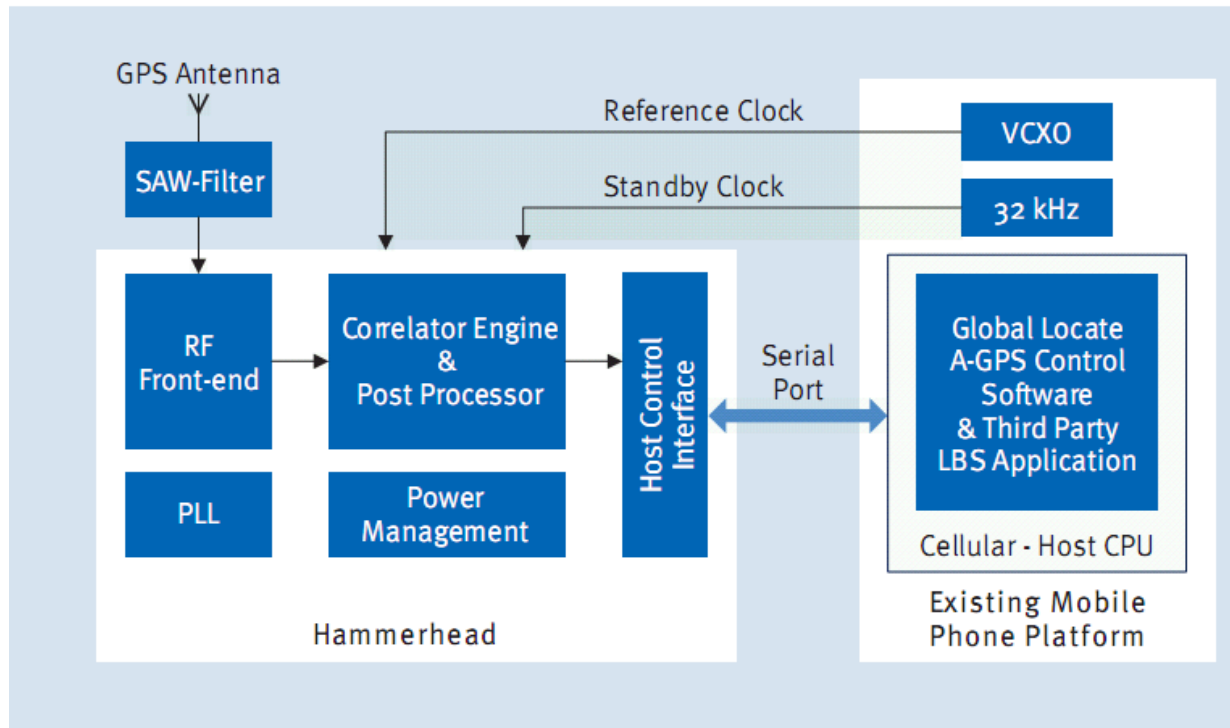
Aufbau eines Frames (<http://www.kowoma.de/gps/Signalaufbau.htm>)

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

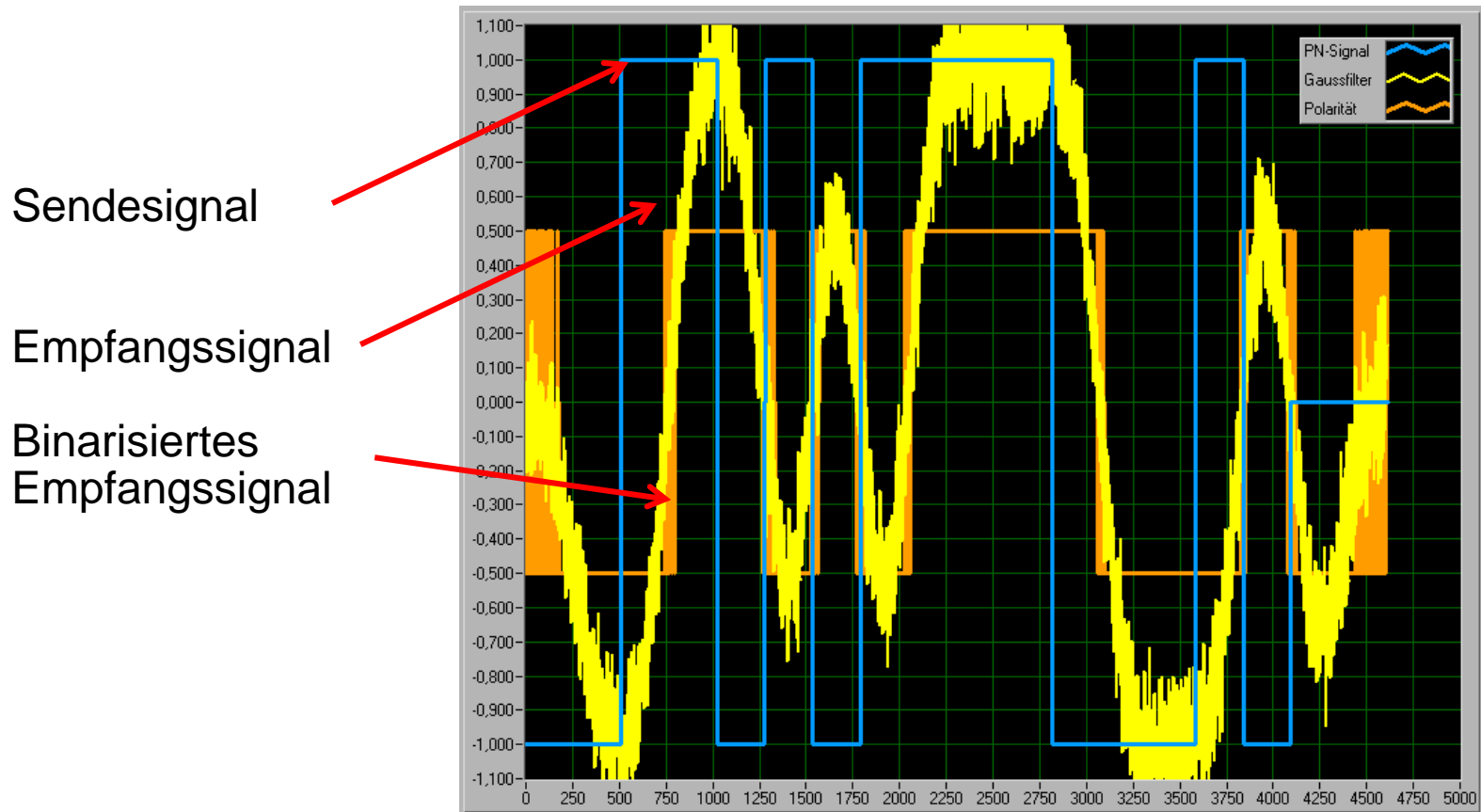
Block Diagram



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



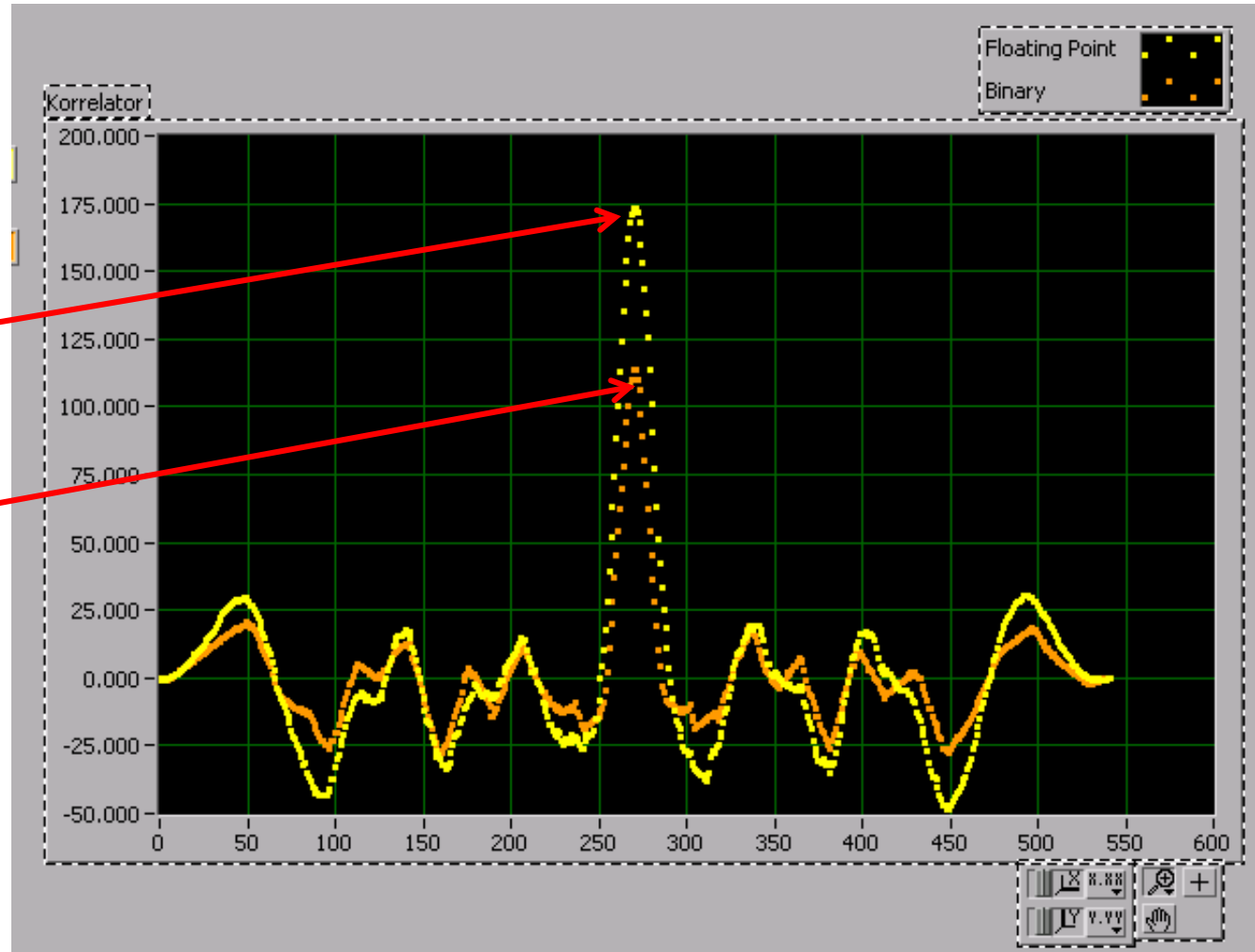
Empfänger für laufzeitbasierte Verfahren



Empfänger

Korrelation
Empfangssignal

Binarisiertes
Empfangssignal



Übertragung des GPS Prinzips auf Innenräume:

Basisstationen:

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

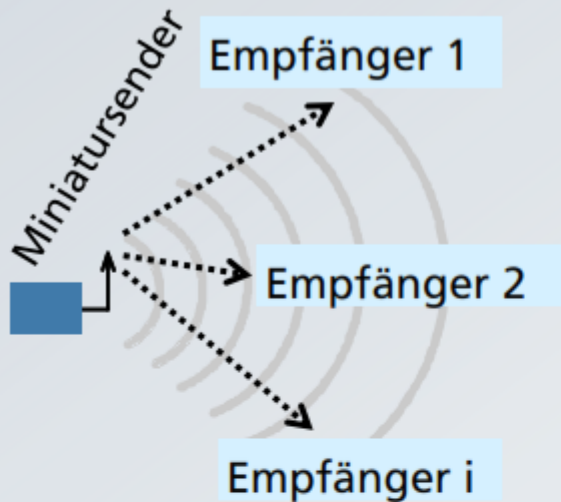
Mobilteil:

- beweglich im Raum,
ggf. handover zu angrenzenden Nebenräumen

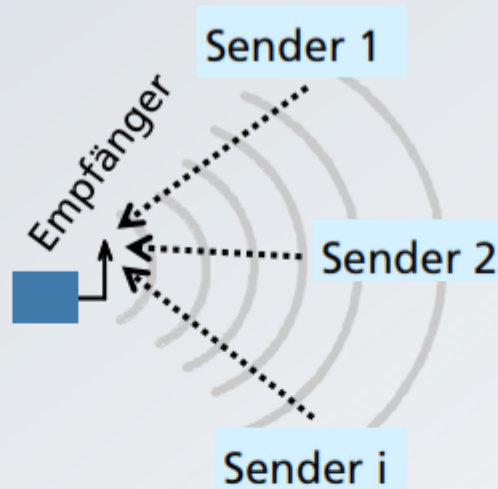
Herausforderungen :

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

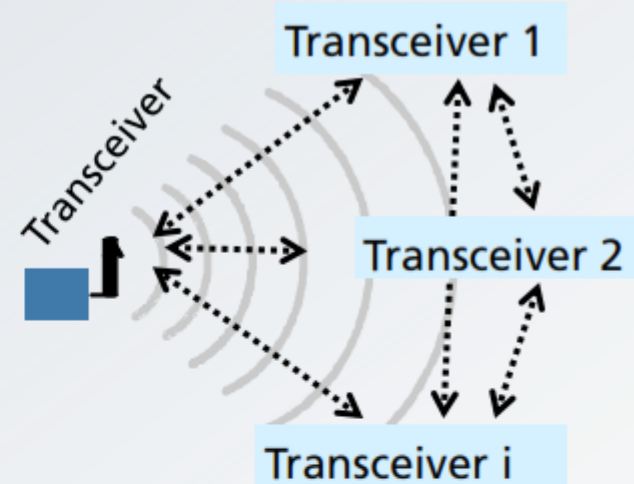
Breitbandkommunikation - Lokalisierung




- TOA oder TDOA
- Einwege-funkübertragung
- Positionsbestimmung in der Infrastruktur



- TOA
- Einwege-funkübertragung
- Positionsbestimmung im Mobilteil

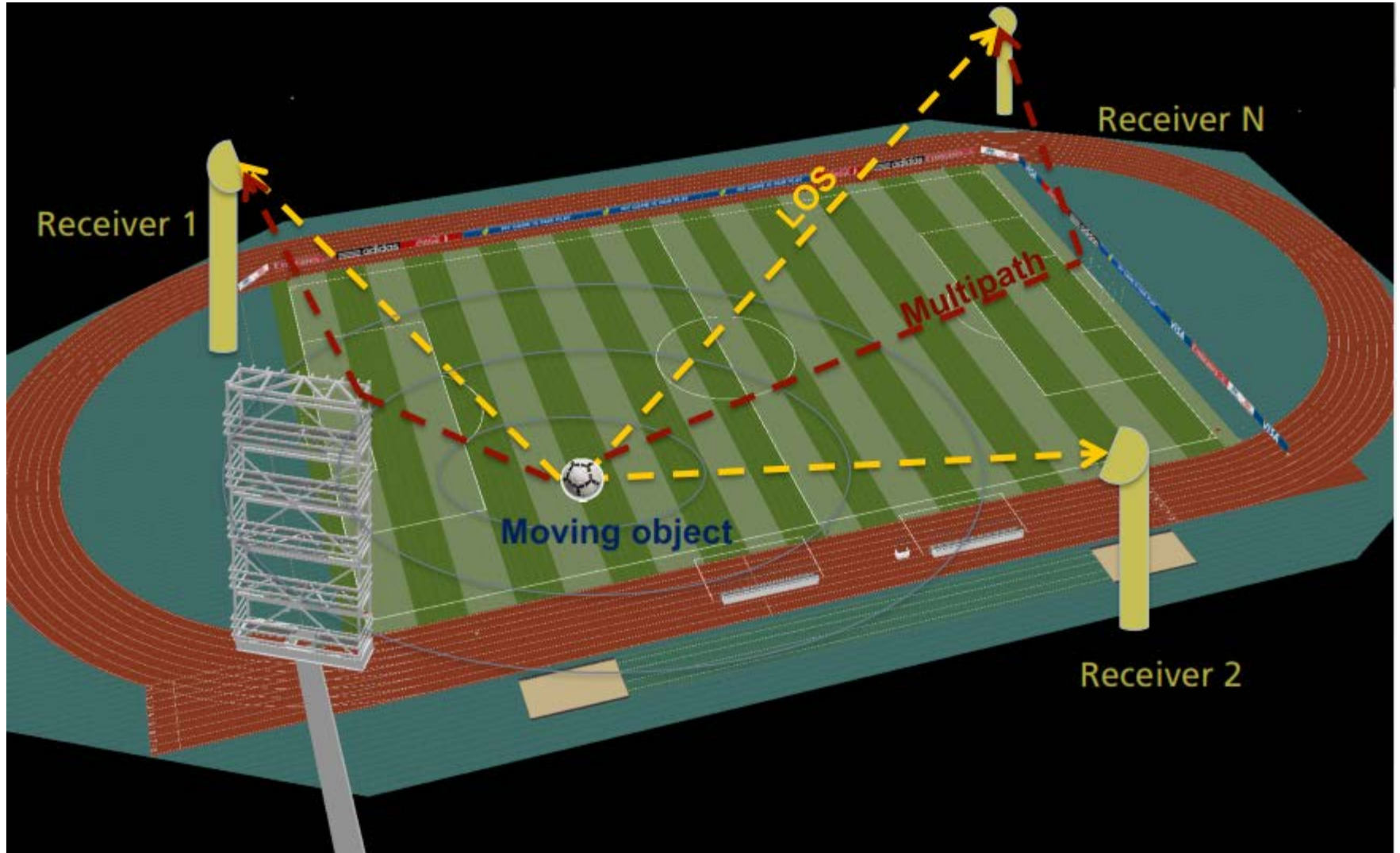


- RTT
- Zweiwegefunk
- Übertragung der gemessenen Abstände an einen Positionsrechner

 Mobiles Ortungsobjekt

Anker i Infrastruktur

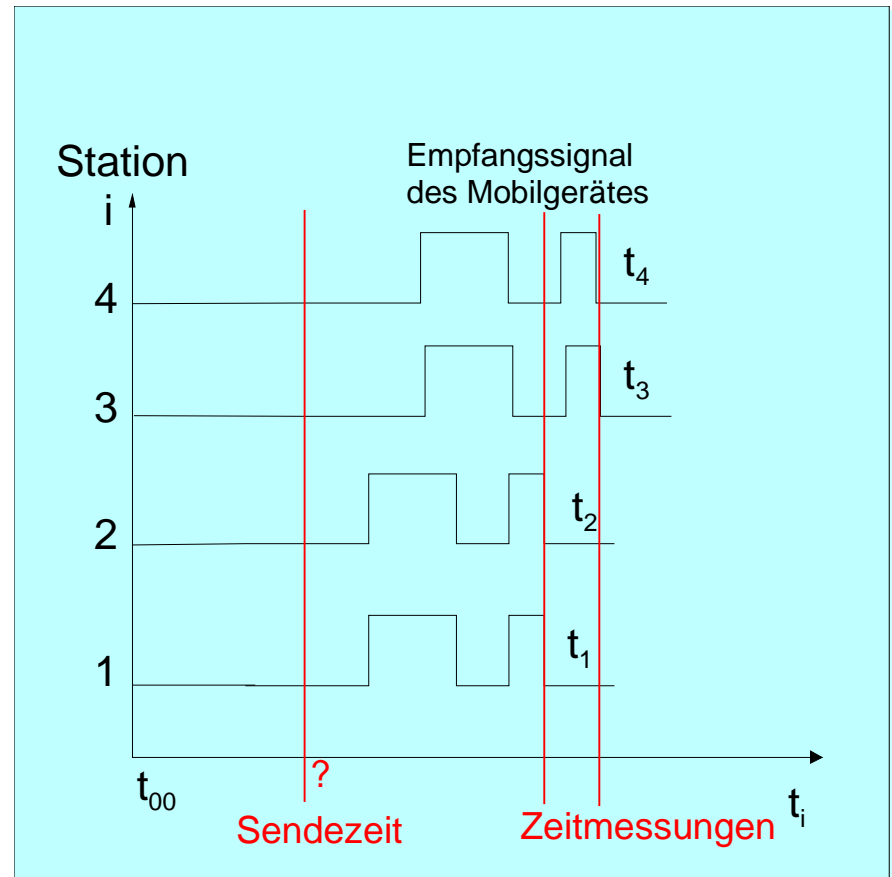
Quelle: N. Franke, Technologische Grundlagen der lauffzeitbasierten Funkortung 2013



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!



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

Vorgabe

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

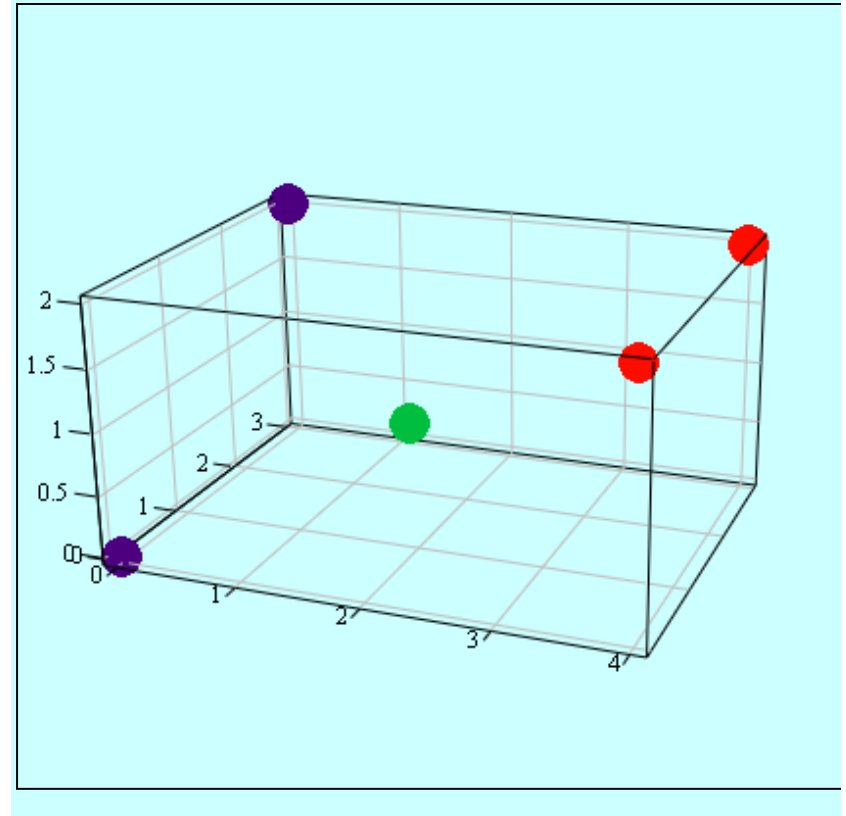
$$(X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 - (S + S_2)^2 = 0$$

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

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

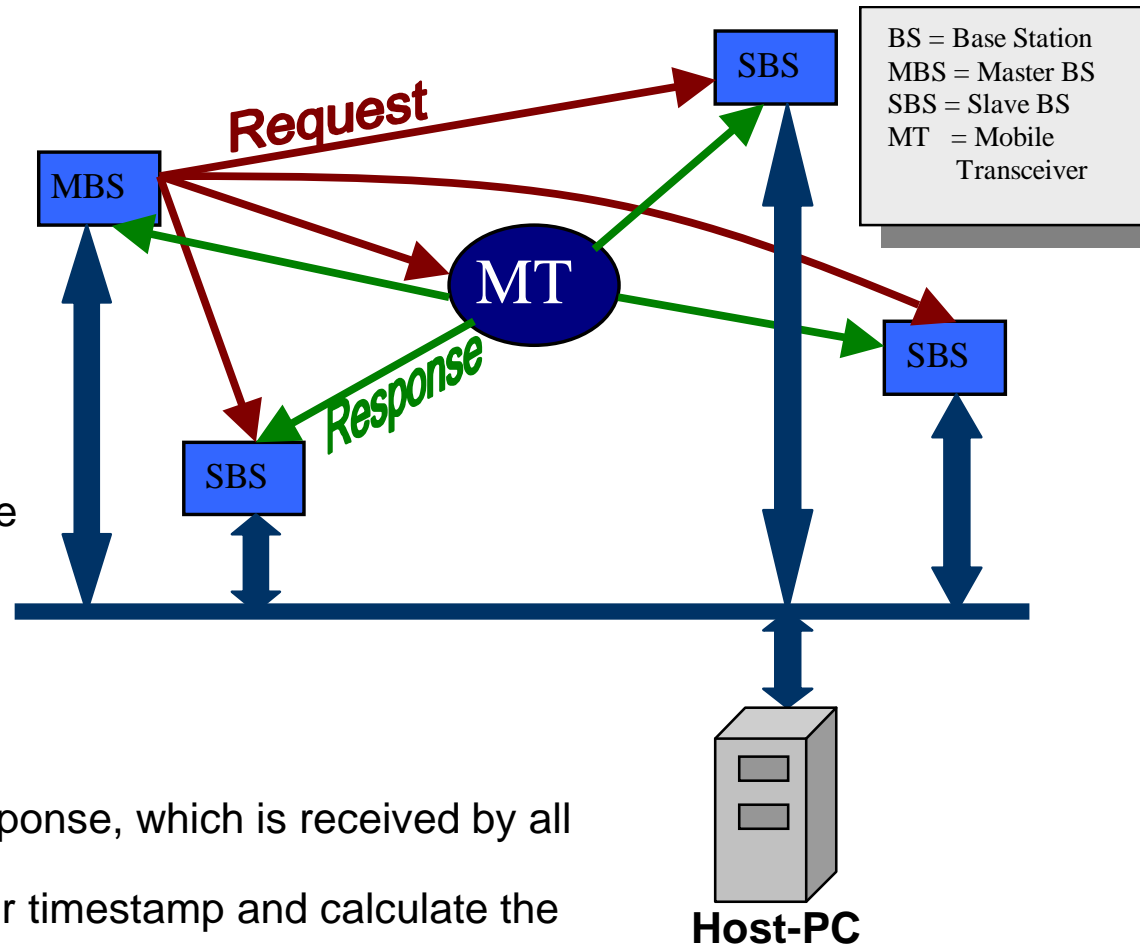
P := suchen(X,Y,Z,S)

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



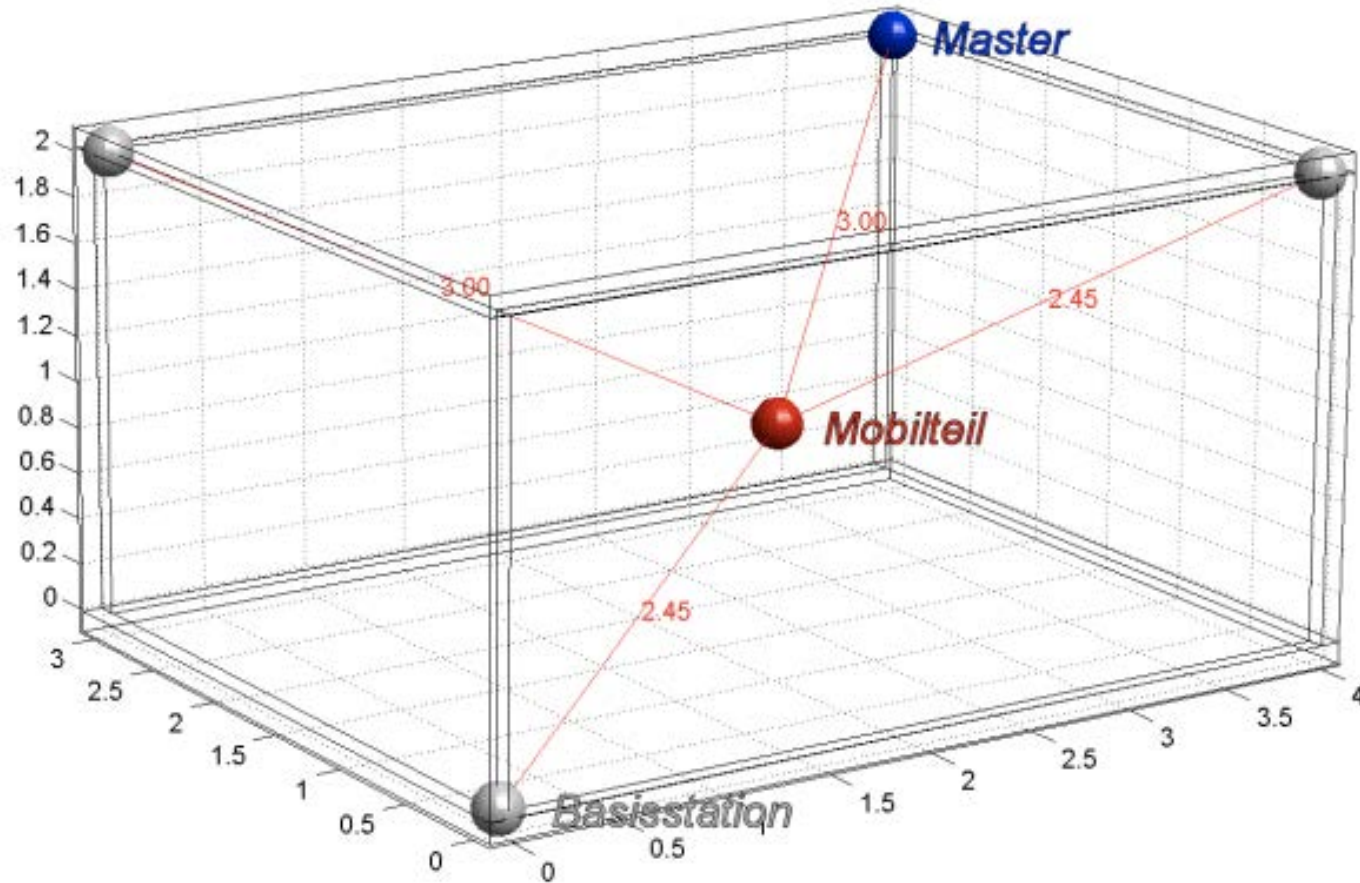
DTDOA Algorithm

(HU Berlin,
Diplomarbeit E. Fischer)

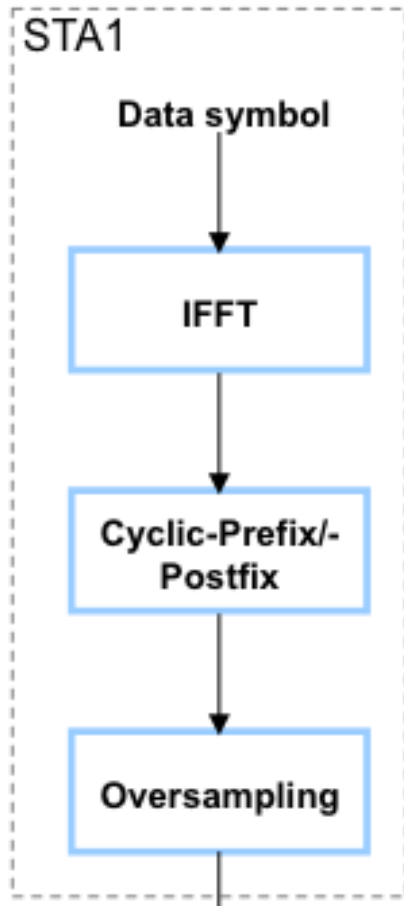


- First - Request:
 - Request is sent by the Master
 - all slaves and the mobile device receive this request
 - the slaves store a timestamp of the arrival
- Second – Response:
 - the mobile device sends a Response, which is received by all slaves and the master
 - the base stations store a further timestamp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

Simulationsmodell für MATLAB



Matlab Simulation

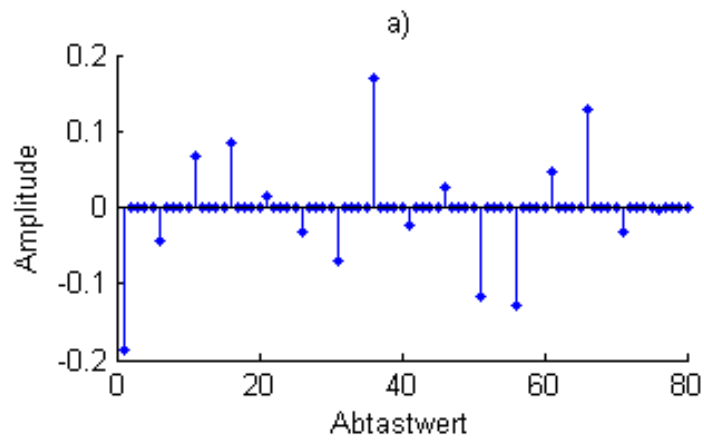


```

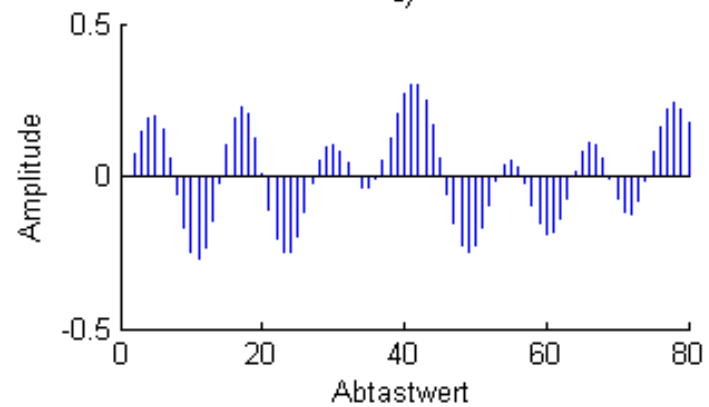
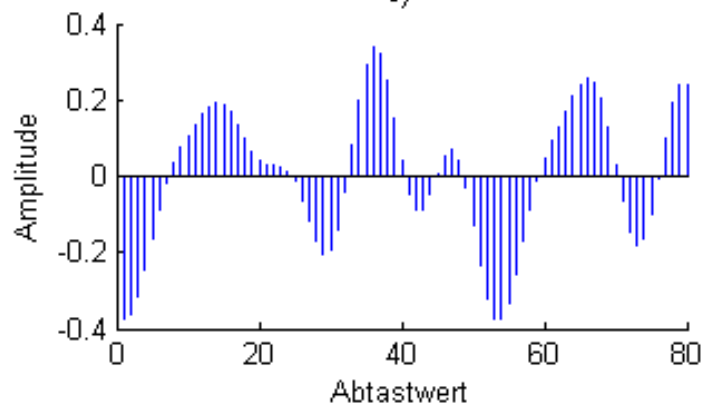
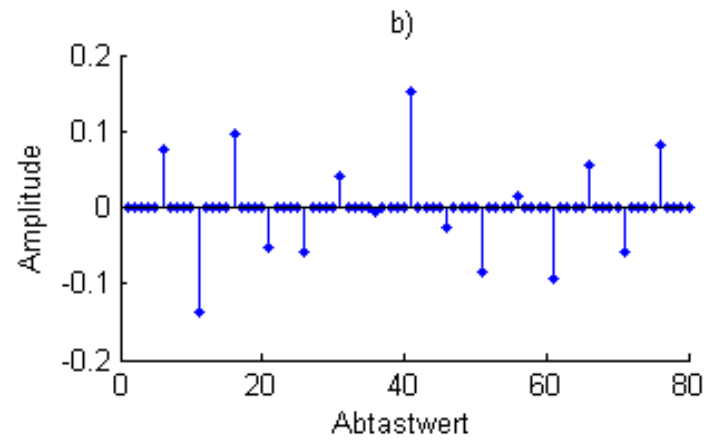
% long preamble symbol 802.11a
longPreambleSymbol = [0 0 0 0 0 0 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1
-1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 0 1 -1 -1 1 1
-1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1
-1 0 0 0 0 0];
% perform inverse FFT to get time domain symbol
iLongPreambleSymbol = ifft(longPreambleSymbol);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

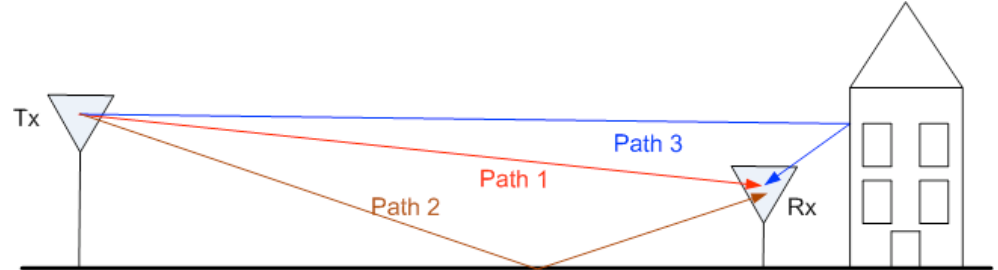
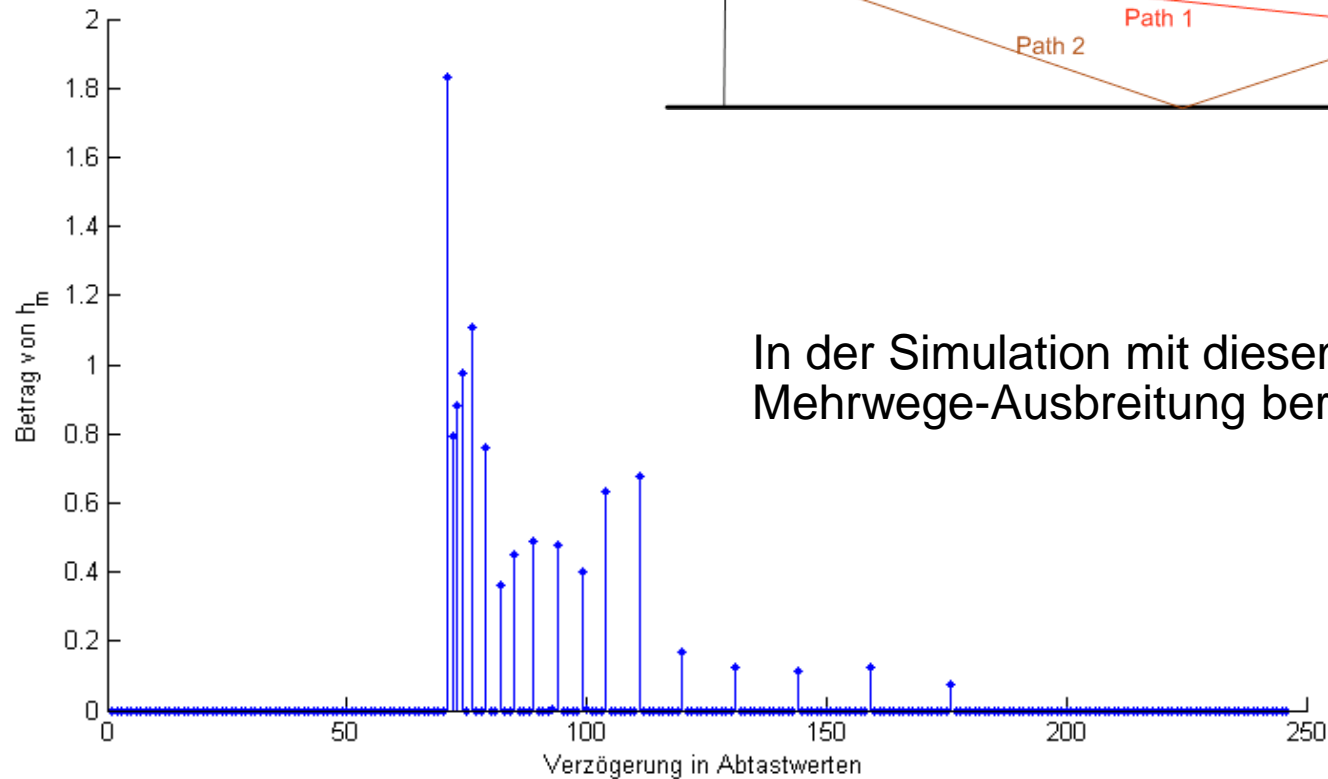
Realteil



Imaginärteil



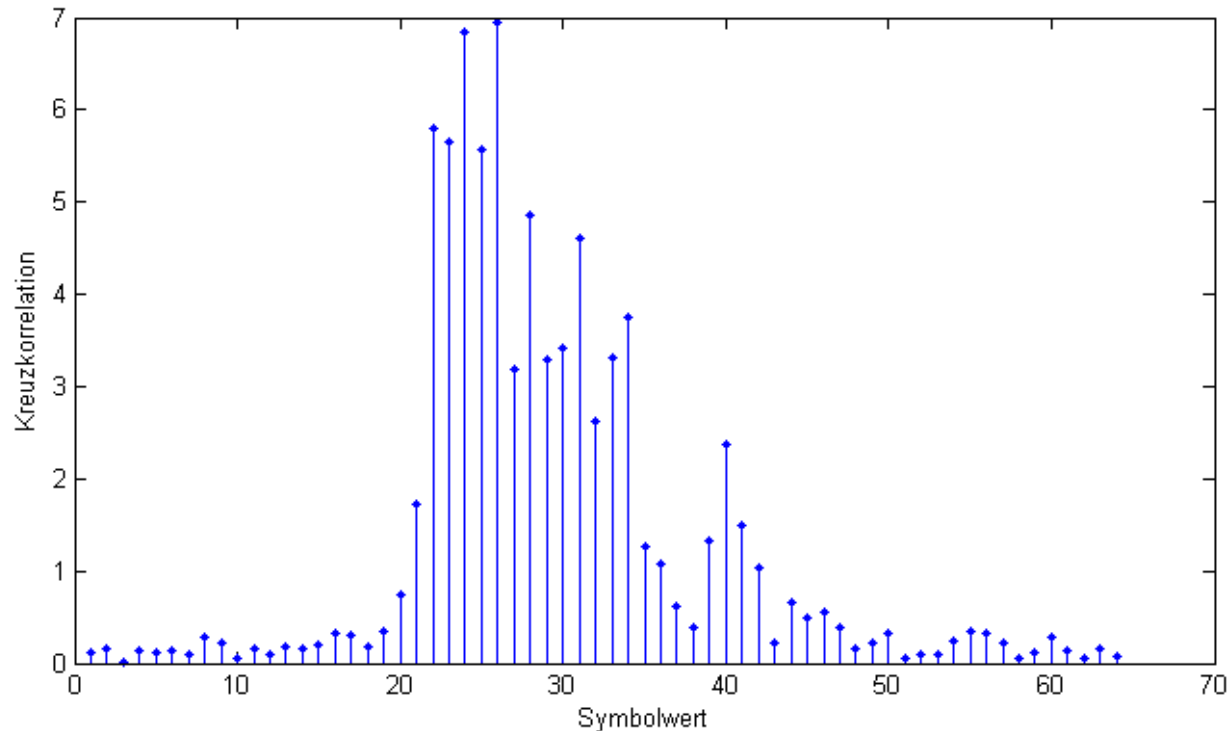
Matlab Simulation des 5 GHz Kanals



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

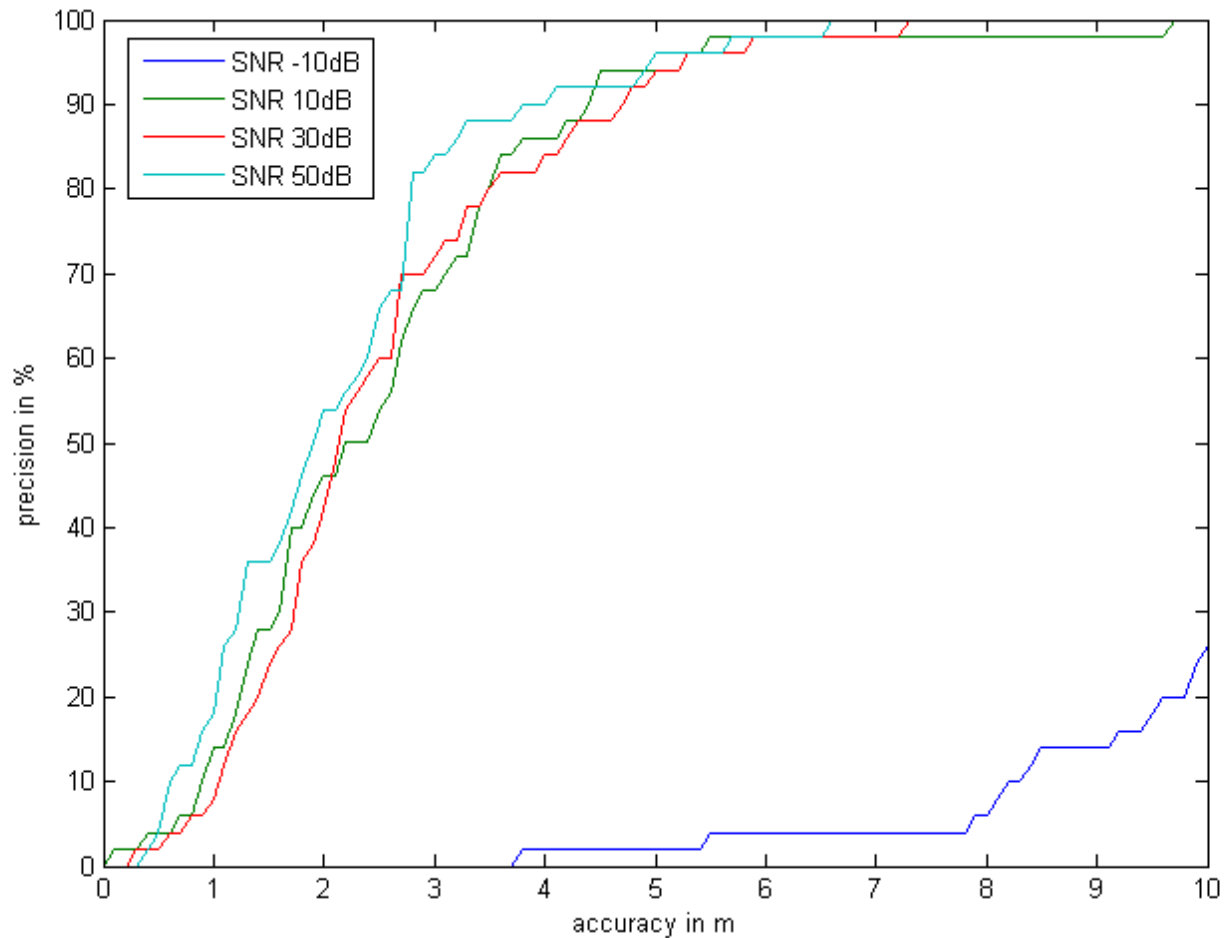
Matlab-Simulation des 5-GHz-Kanals

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



s. Diplomarbeit T. Ohlemüller

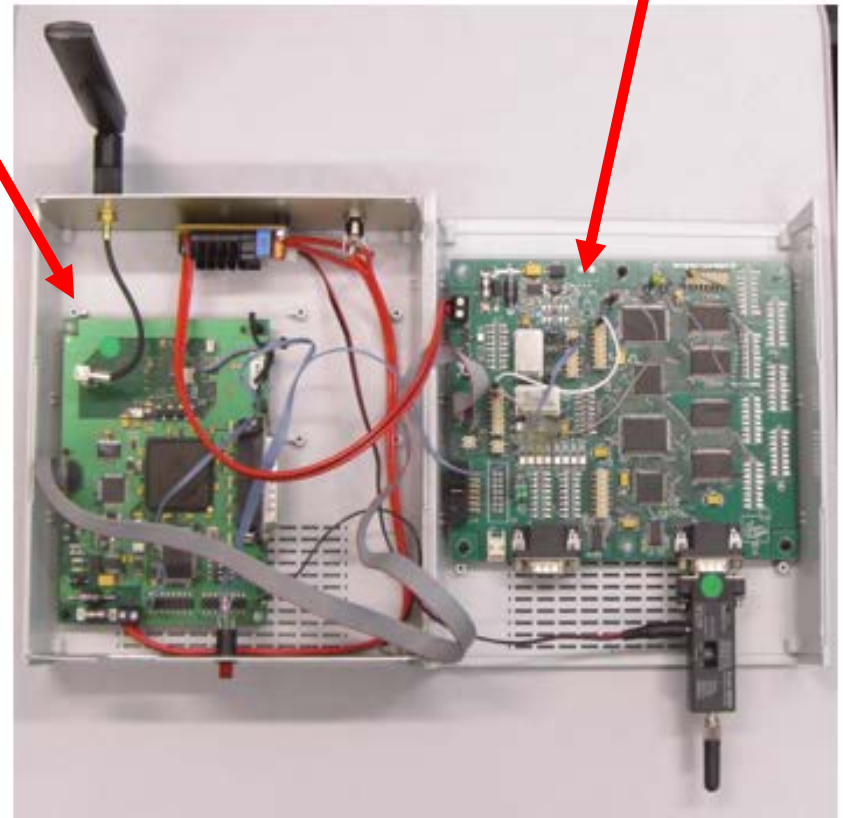
MATLAB Simulationsergebnisse (5 GHz)



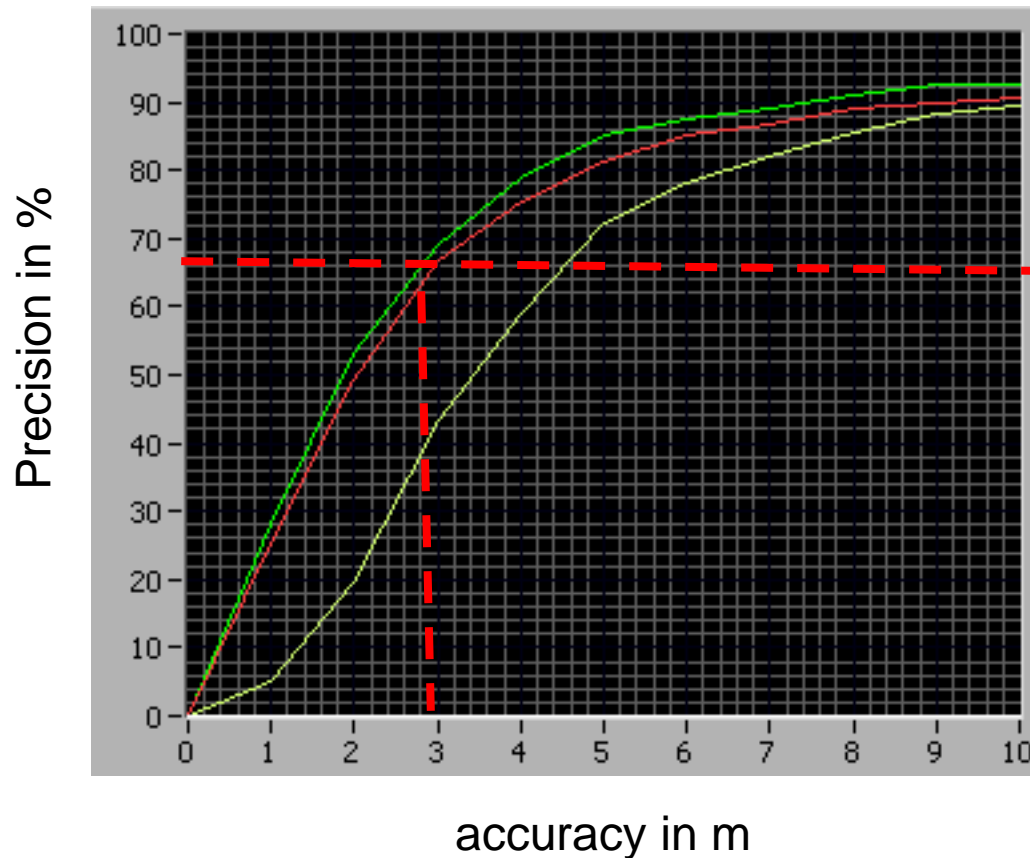
Testaufbau

WINDECT-Board (IHP)

Korrelator-LEON-Board (HUB)



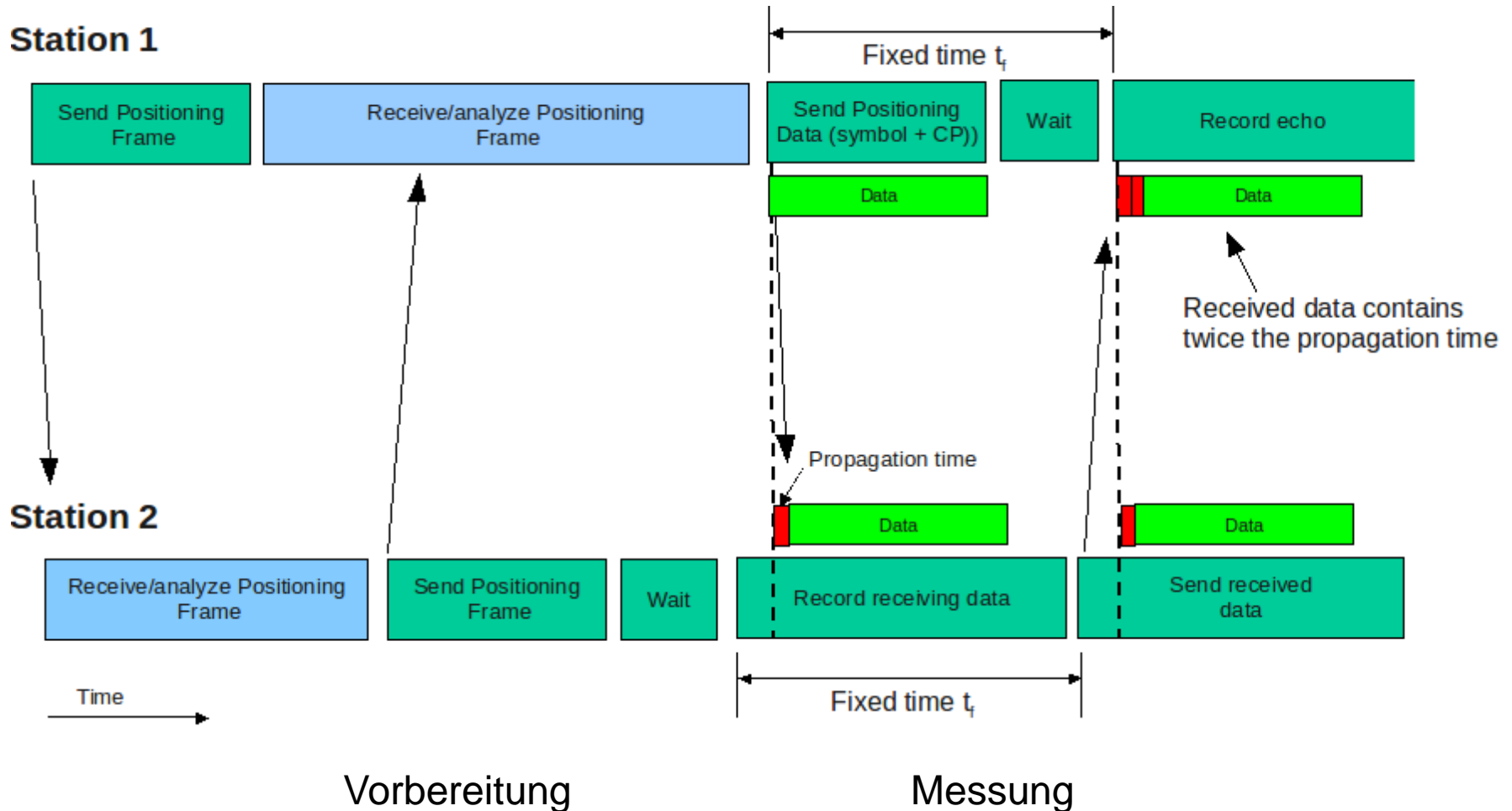
Messergebnisse



X, Y, Z

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

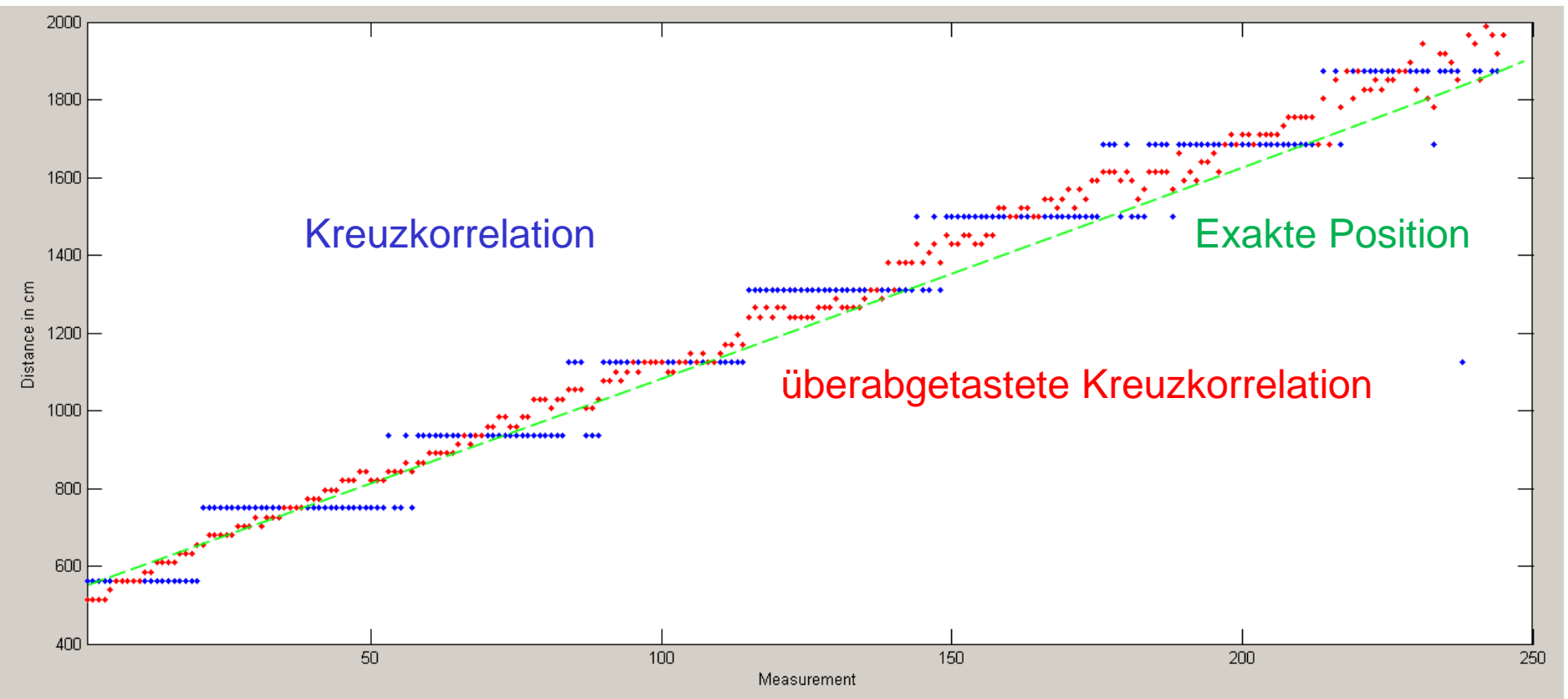
Verbesserung: Round Trip Phase



Messungen im großen Hörsaal



Messergebnisse im großen Hörsaal

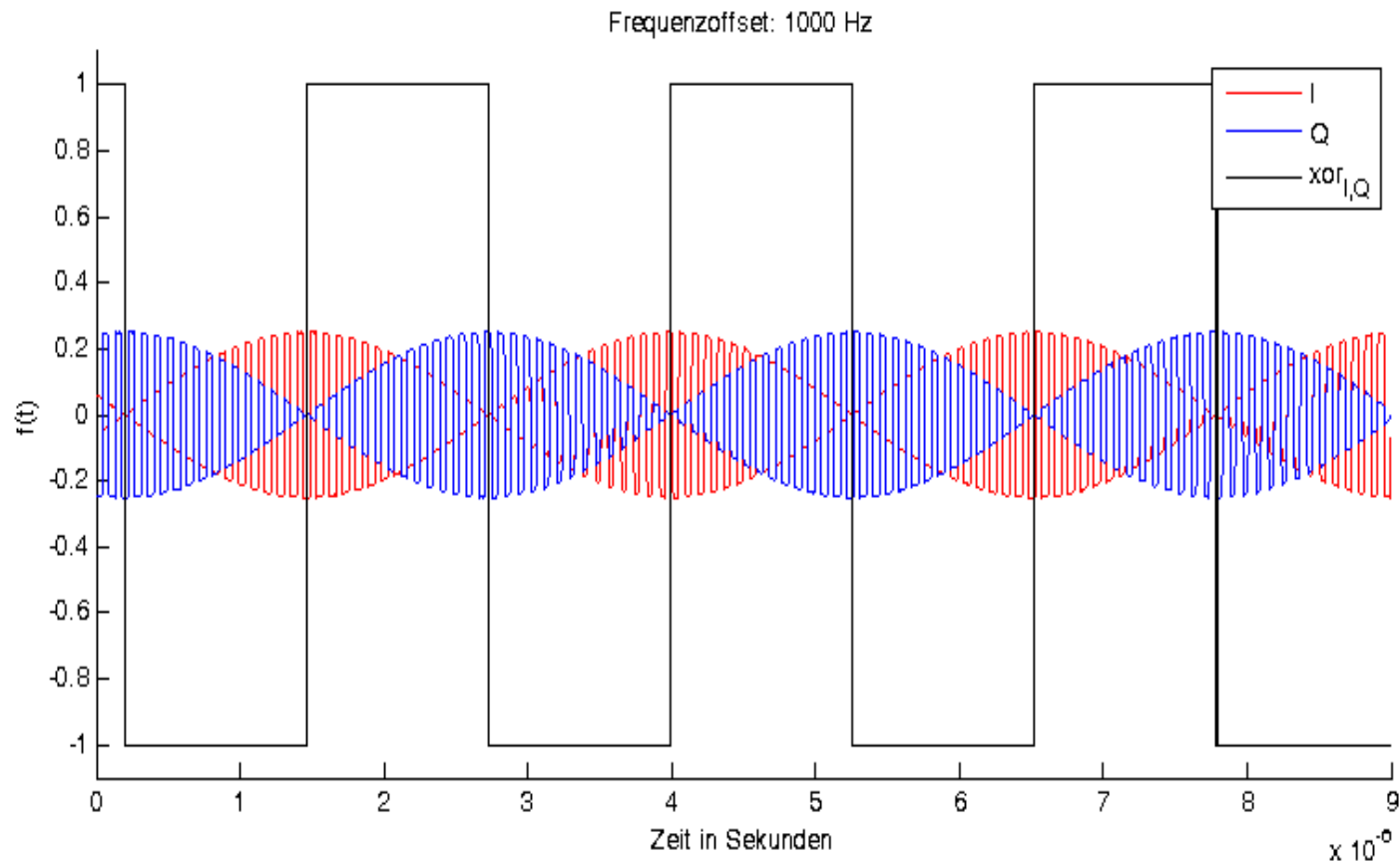


HU Arbeitsschwerpunkte:

- Lokalisierung und Kommunikation im 60-GHz-Band
- ns-genaue Synchronisation von Basisstationen
- Phasenauswertung der Signale

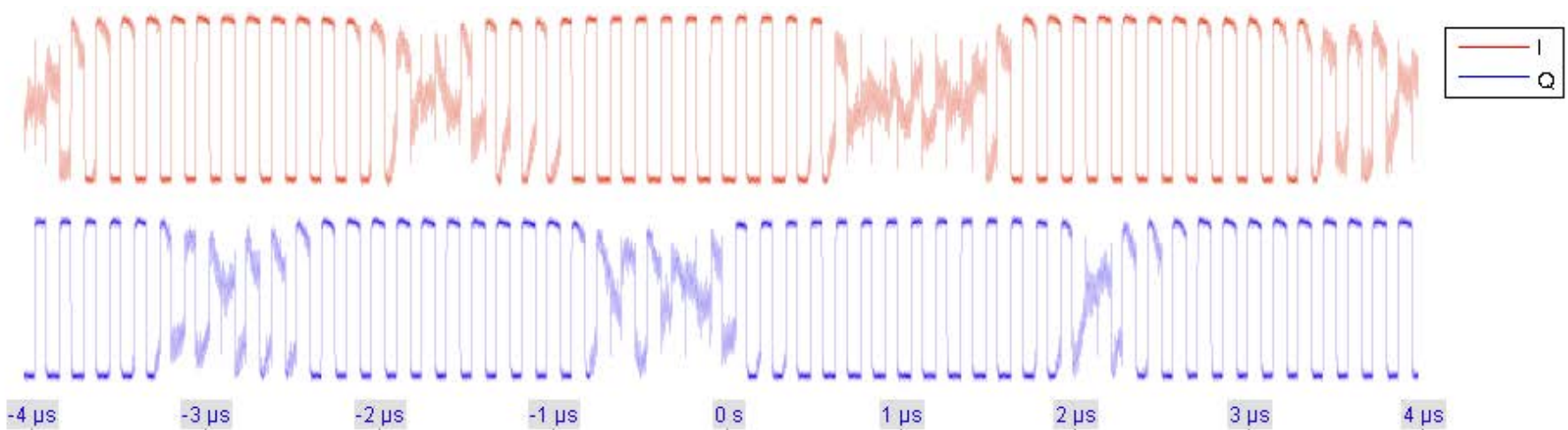
(dazu noch 2 Ergänzungsfolien)

Auswirkung eines Frequenzoffsets von 1000 Hz bei der Übertragung eines Sinussignale auf dem I-Kanal:



Auswirkung eines Frequenzoffsets von 1000 Hz bei der Übertragung eines Sinussignals auf dem I-Kanal

Oszilloskopmessung (nach Quantisierung)



Dasselbe Bild ergibt sich bei einer linearen gleichförmigen Verschiebung zwischen Sender und Empfänger.

