

Radar-Verfahren

Beispiele einer vernetzten Sensorik im Automobil-Bereich

Stefan Lindenmeier

Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik
Universität der Bundeswehr München



Inhalt

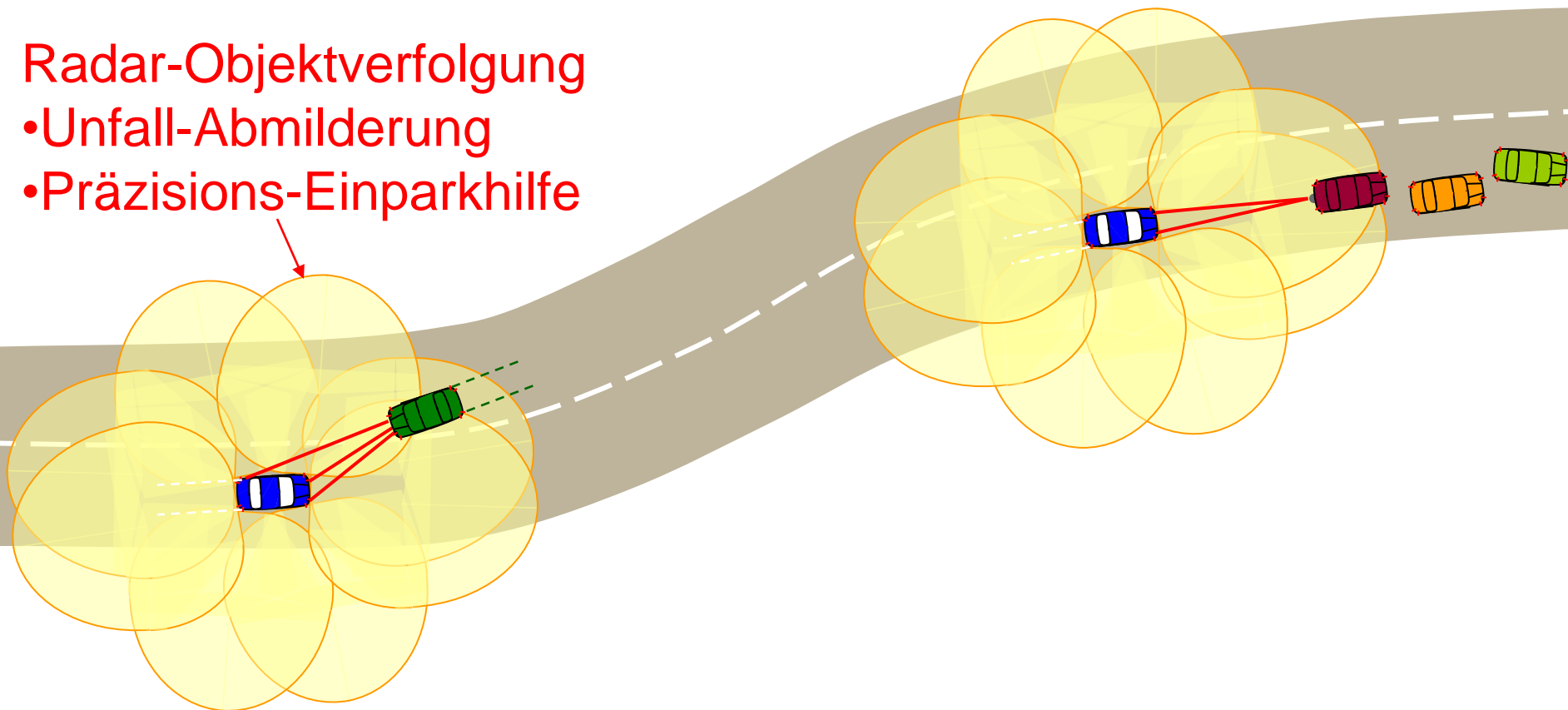
- Motivation
- Sensornetzwerk
- Radarkonzepte
- Signalauswertung am Beispiel eines PN-codierten Radar
- Störausblendung mit intelligenten Antennen
- Hochauflösendes Radar
- Zusammenfassung

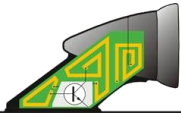


- Motivation**
- 5ms Aktivierungszeit für Airbags
 - 150ms Aktivierungszeit für Gurtstraffer
 - 60% Unfallverhütung bei Vorwarnzeit 1/2s
 - 90% Unfallverhütung bei Vorwarnzeit 1s

Radar-Objektverfolgung

- Unfall-Abmilderung
- Präzisions-Einparkhilfe

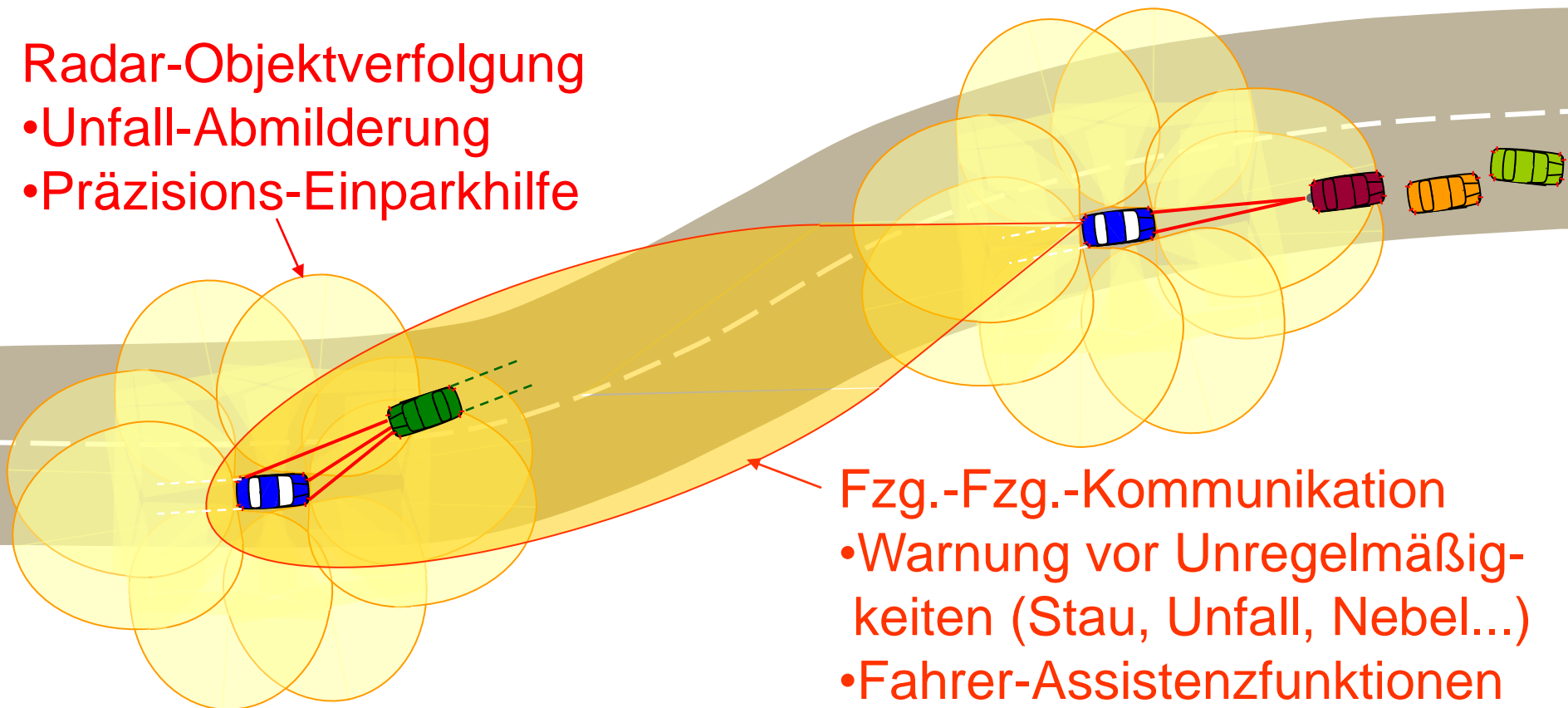




- Motivation**
- 5ms Aktivierungszeit für Airbags
 - 150ms Aktivierungszeit für Gurtstraffer
 - 60% Unfallverhütung bei Vorwarnzeit 1/2s
 - 90% Unfallverhütung bei Vorwarnzeit 1s

Radar-Objektverfolgung

- Unfall-Abmilderung
- Präzisions-Einparkhilfe





Sensorfusion: Vernetzung unterschiedlicher Sensoren Möglichst bereits auf Rohdatenebene

Radar:

Abstands- und Geschwindigkeitsmessung
mit Richtungserkennung,
Materialklassifikation durch Polarimetrie

Optische Sensorik:

Bildmuster- und Richtungserkennung für
Fußgänger- und Objekterkennung
Richtungs- und Abstandserkennung

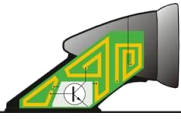
Ultraschall:

(Abstandserkennung im Ultra-Nahbereich)



Anwendungen:

- **Blind Spot Detection**
- **Pre Crash, Collision Mitigation**
(Airbag Vorbereitung, Gurtstraffer...)
- **Spurwechsel-Assistent**
- **Adaptive Cruise Control ACC**
- **Stop & Go**
- **Einparkhilfe (zusammen mit Ultraschall)**
- **Straßenzustandserkennung (mit Polarimetrie)**
- **Fußgängererkennung (nur zusammen mit optischen Sensoren und Polarimetrie)**

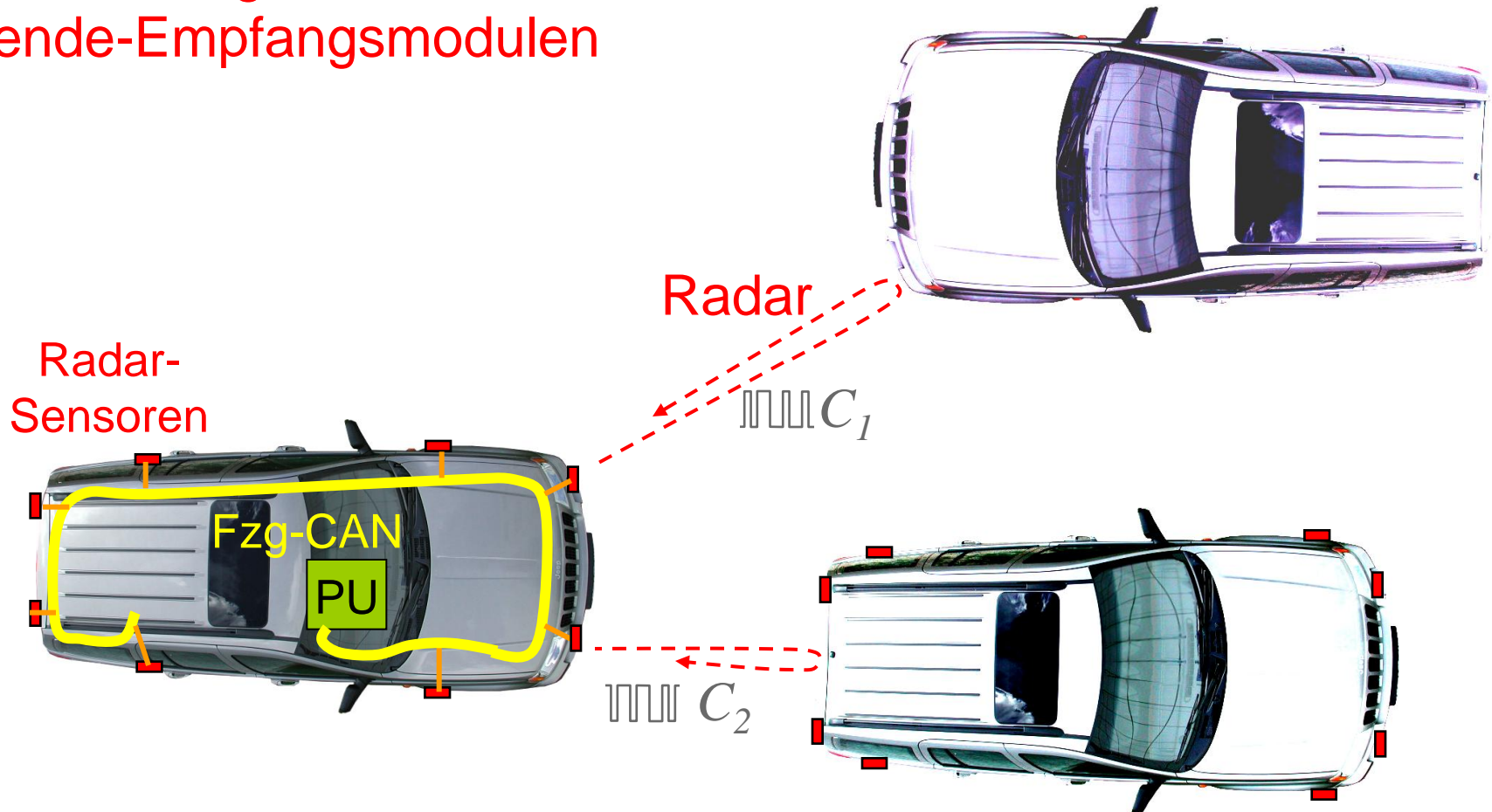


Warum Radarsensorik für die Umgebungserfassung:

- **Unabhängig von Wetter und Beleuchtung**
- **Verschmutzungsresistent**
- **Genaue Geschwindigkeitsdetektion über
Dopplerauswertung**
- **Genaue Abstandsdetektion über großen
Entfernungsbereich**

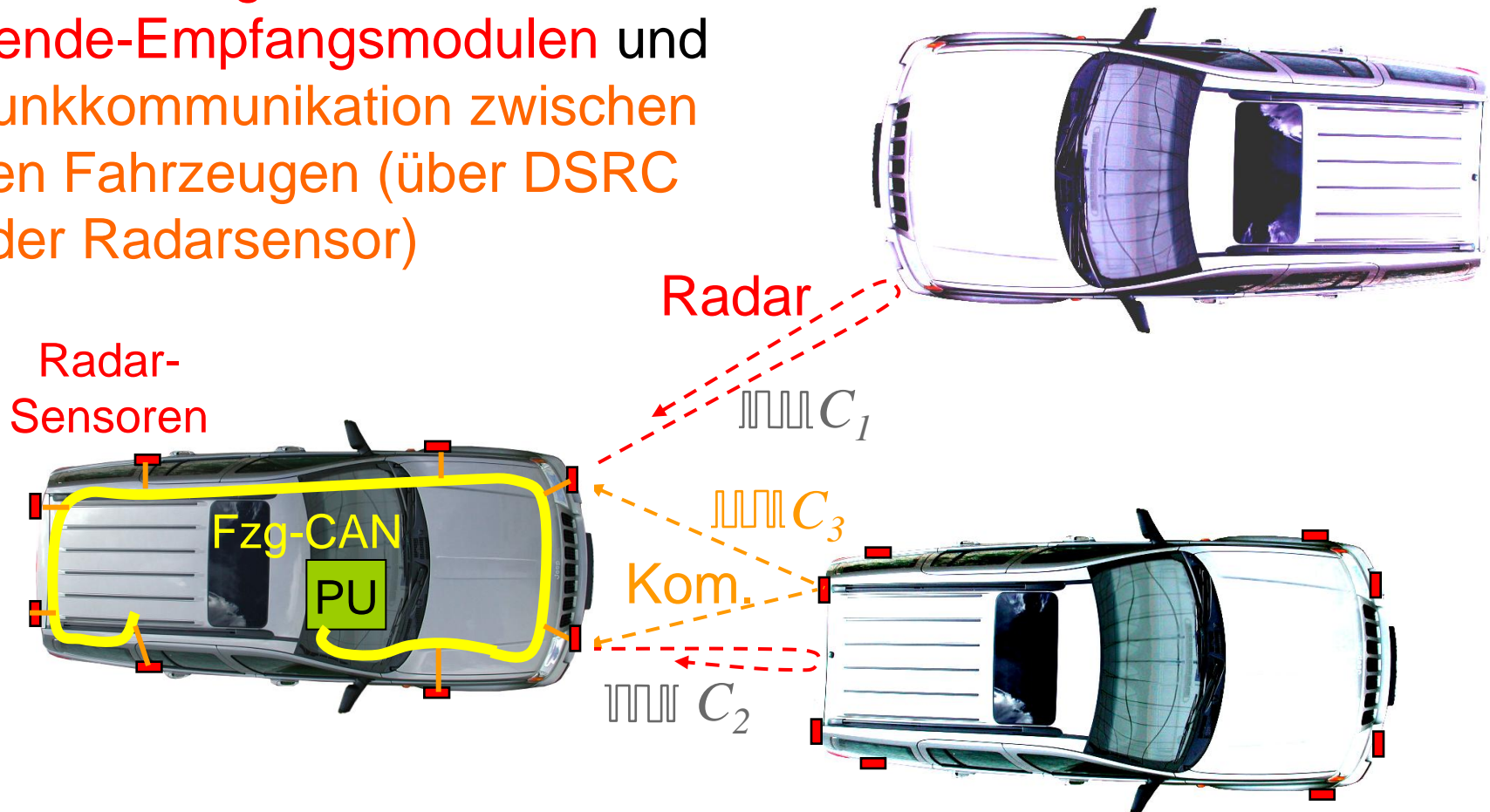


Sensornetzwerk aus mehreren im Fahrzeug vernetzten CDMA- Sende-Empfangsmodulen



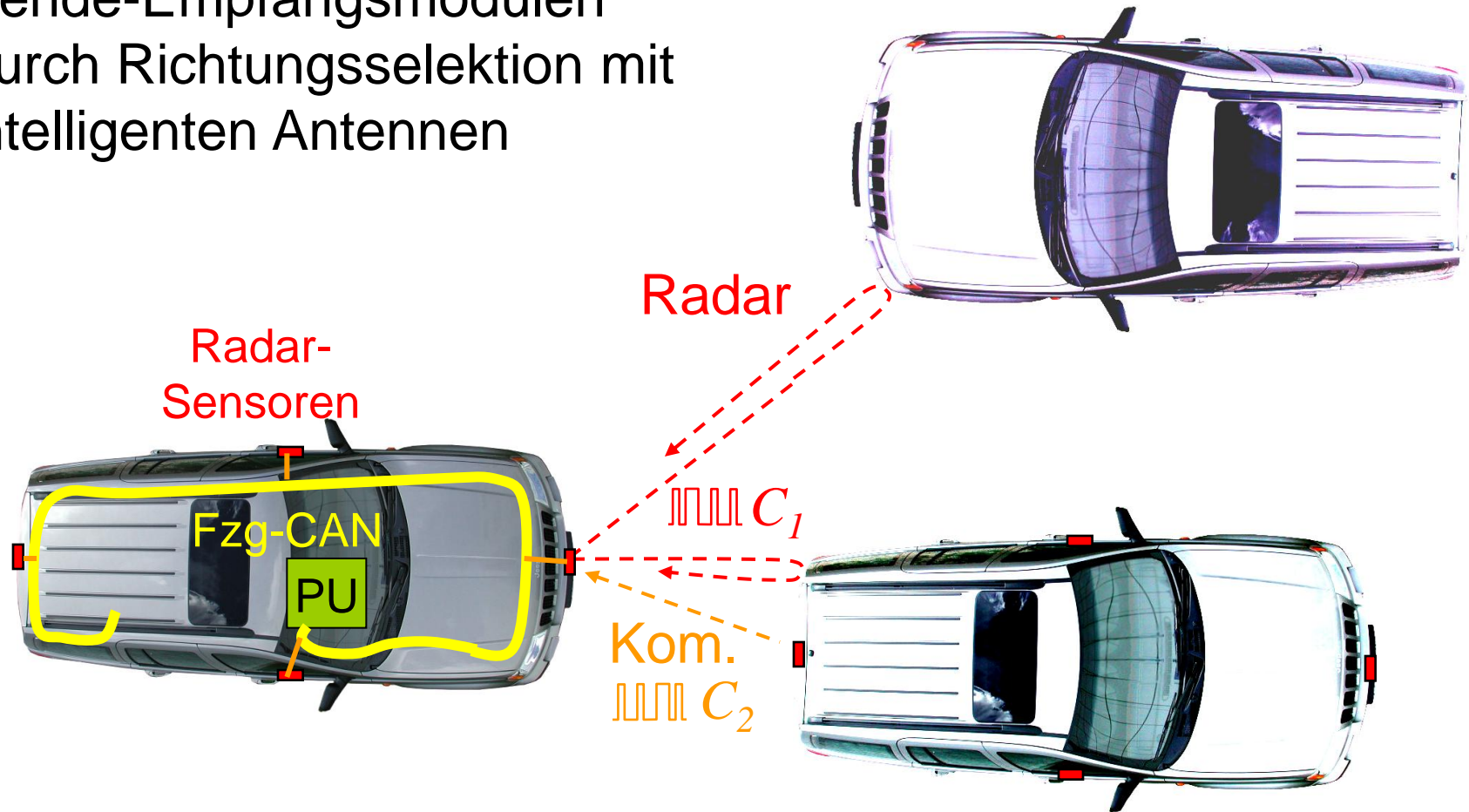


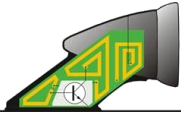
Sensornetzwerk aus mehreren
im Fahrzeug vernetzten CDMA-
Sende-Empfangsmodulen und
Funkkommunikation zwischen
den Fahrzeugen (über DSRC
oder Radarsensor)



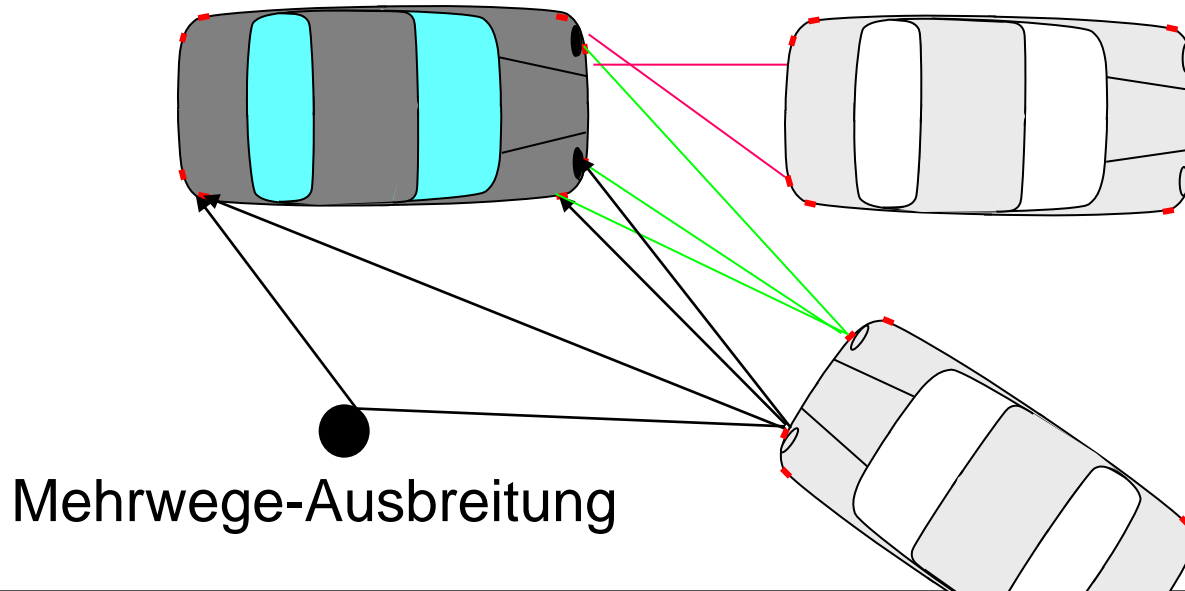


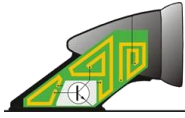
Verringerte Anzahl von CDMA-Sende-Empfangsmodulen durch Richtungsselektion mit intelligenten Antennen





Systemkomponenten	für Radar	& Kommunikation
Messung der Code-delays	Objektortung	Daten-Synchronisation
Je ein Code für jeden Funkkanal	Kanaltrennung & höhere SNR	CDMA-Kanaltrennung & höhere SNR
Vernetzung verteilter Sende-Empfänger	Rundumsicht	Fading-Unterdrückung mit Antennendiversity
Intelligente Antennen	Richtungs-erkennung	SDMA-Kanaltrennung & höhere SNR

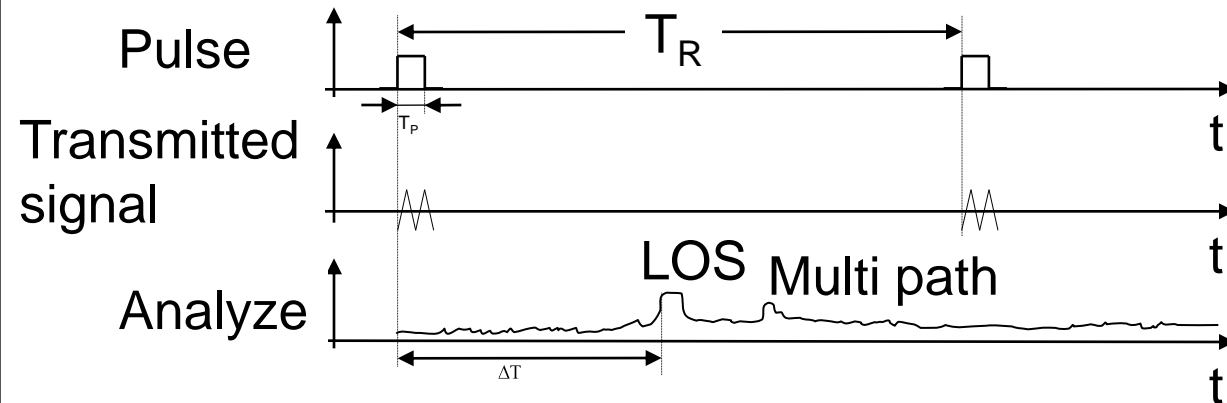
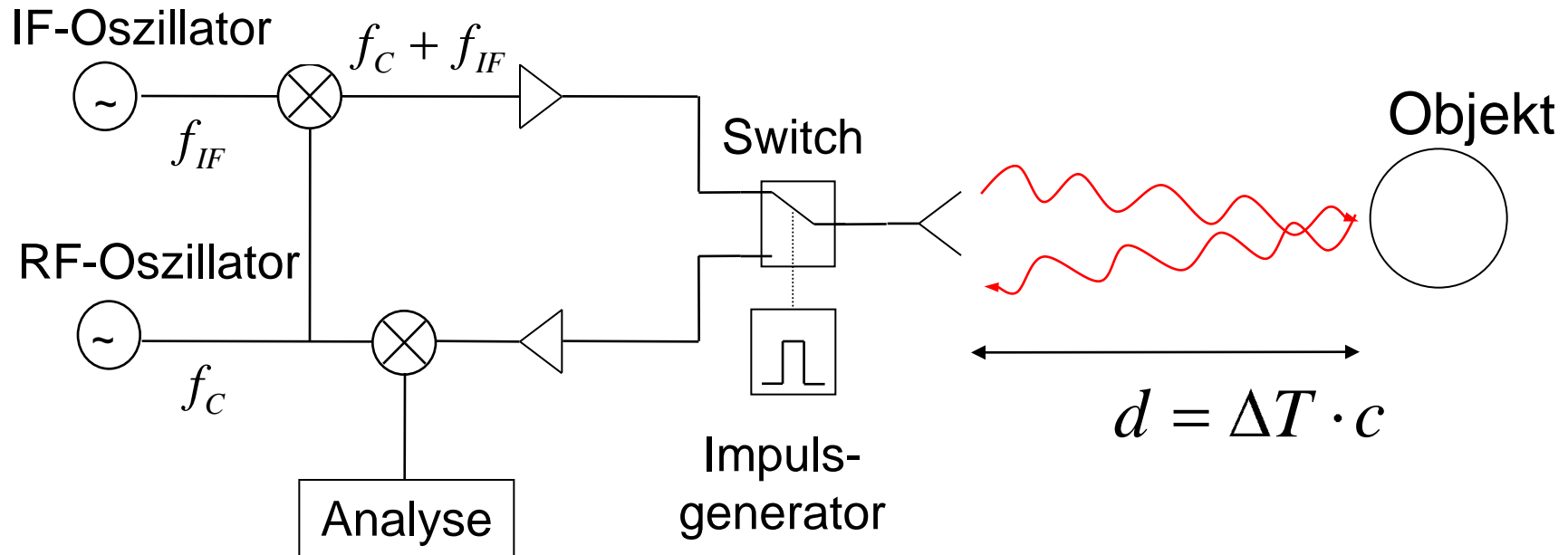




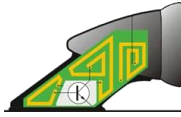
\adar konzept e und i gnal auswer t ung



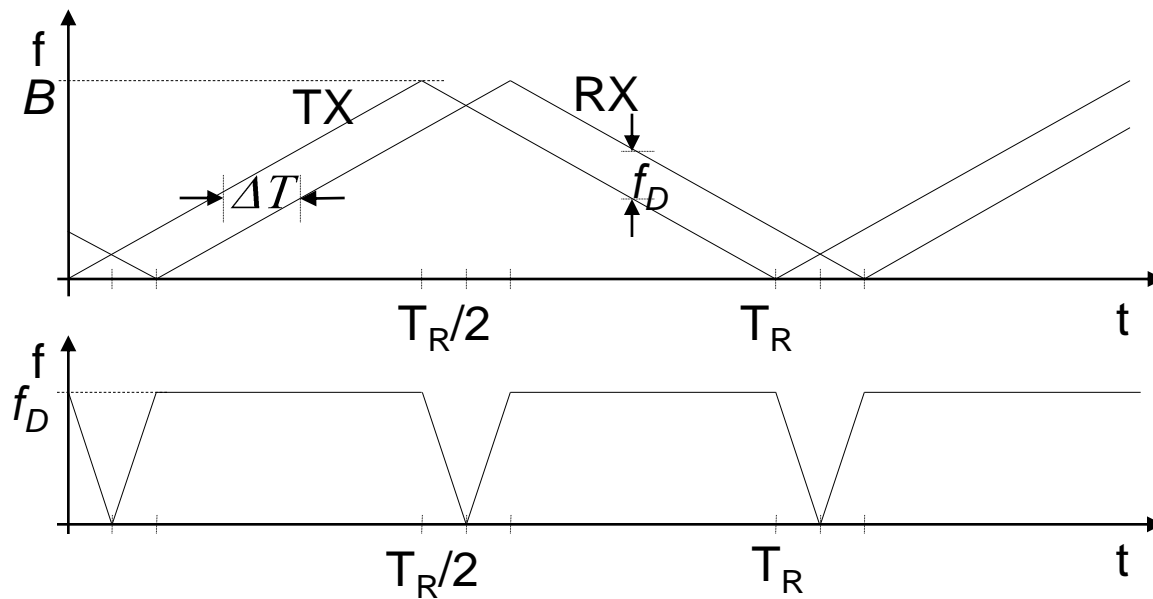
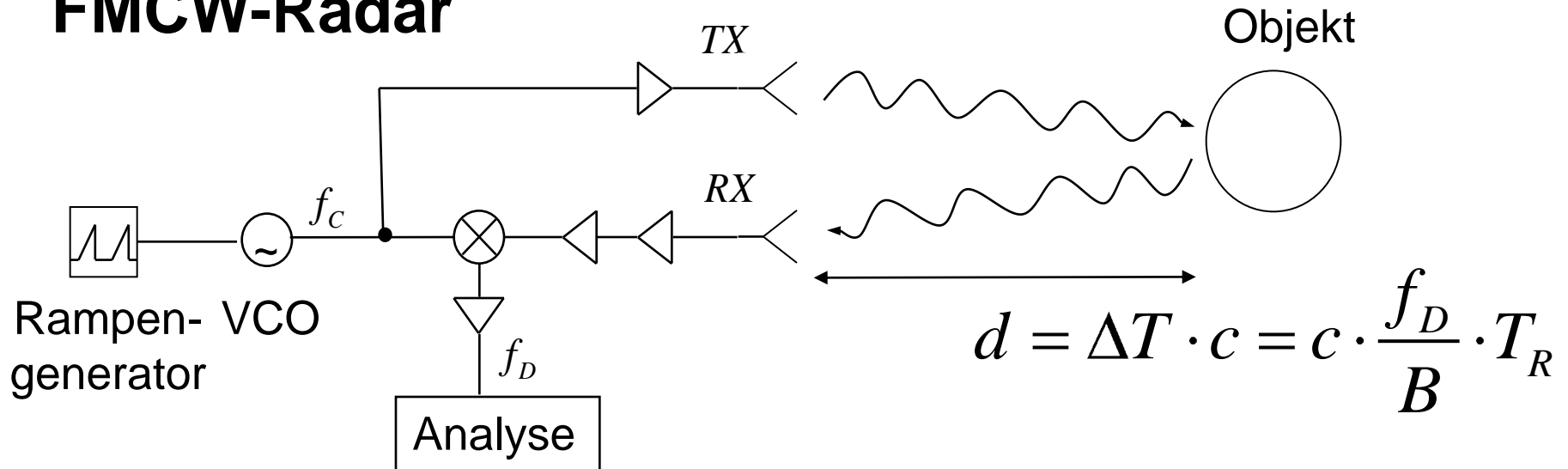
Impulsradar



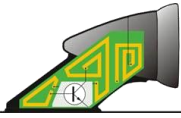
- easy to realize
- long lasting experience
- widely-used in military applications



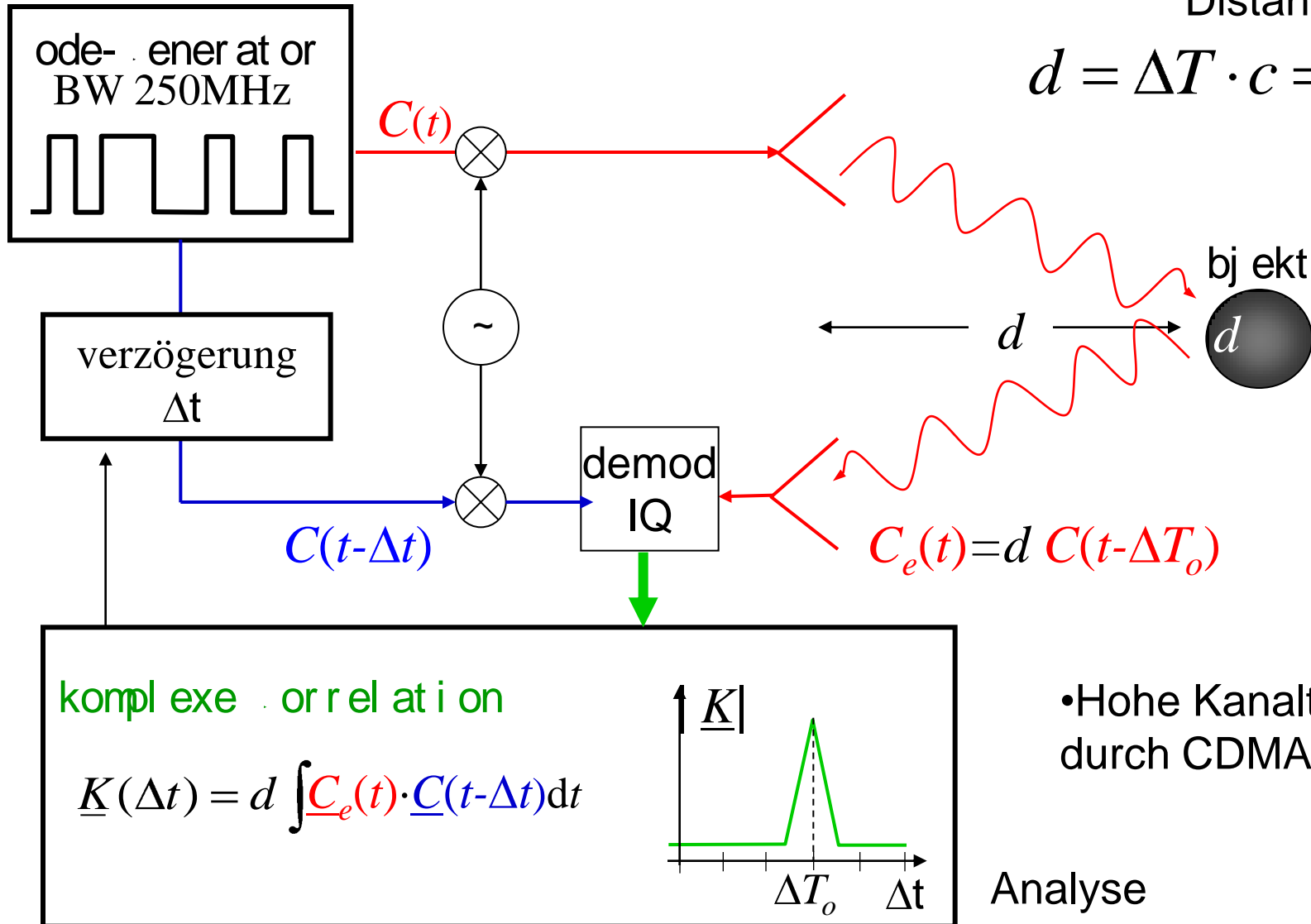
FMCW-Radar



- Lower emitting energy as for an pulse radar with an equivalent sensitivity
- With this technique local positioning systems are realized

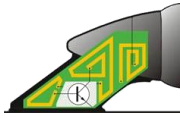


Pseudo-Noise-kodiertes Radar



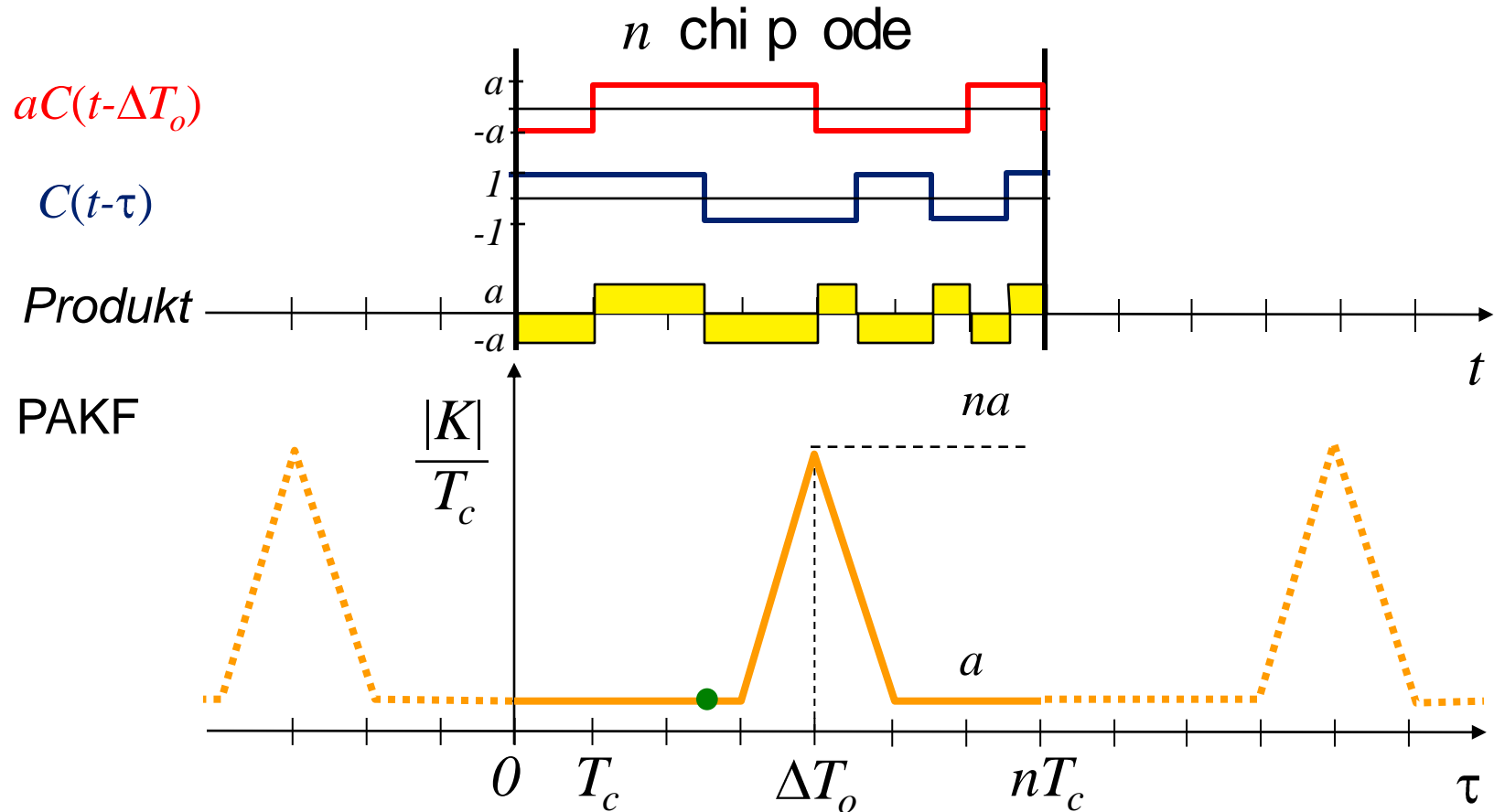
- Hohe Kanaltrennung durch CDMA-Konzept!

Analyse



Korrelation; Periodische Autokorrelationsfunktion PAKF

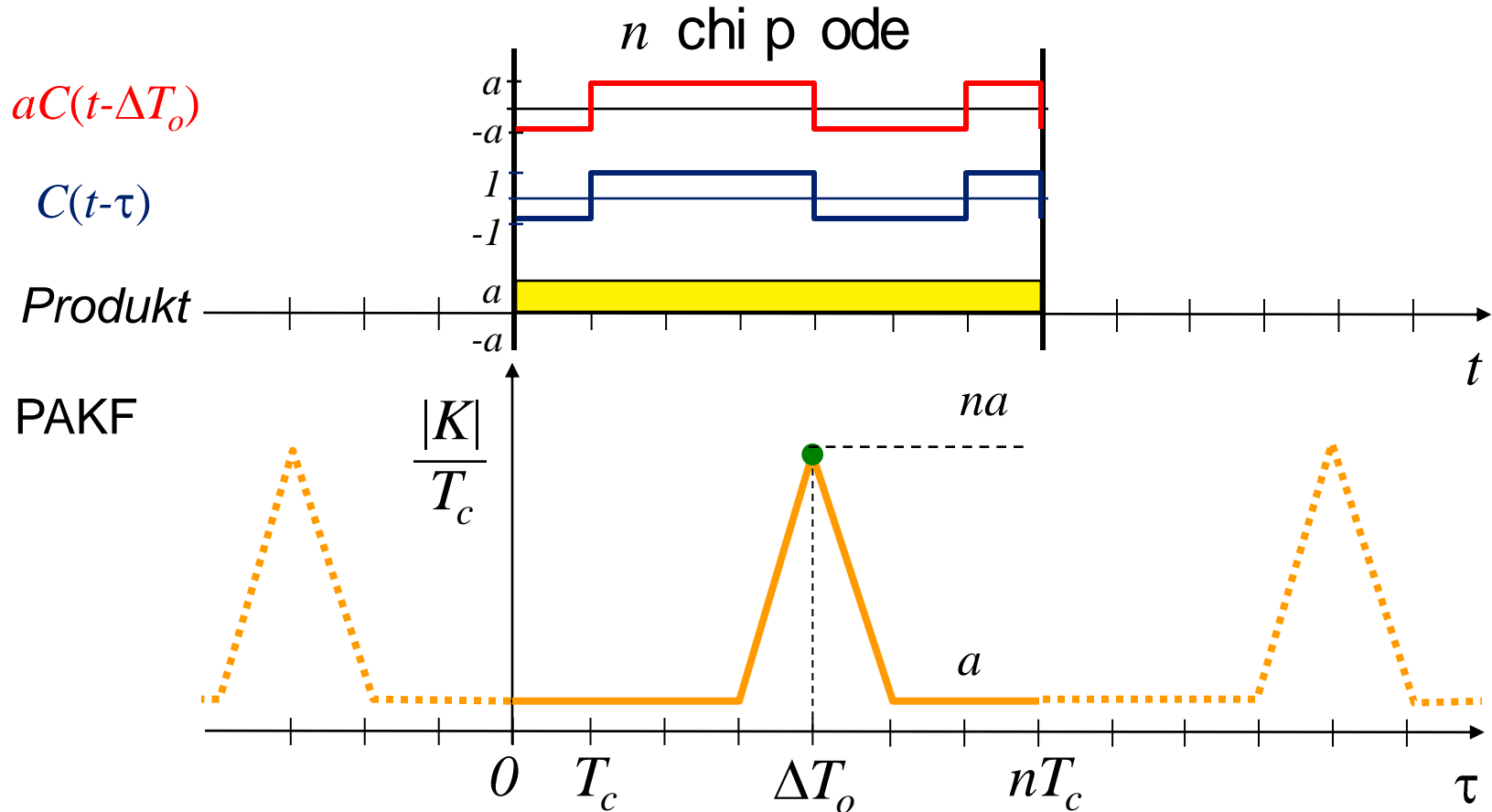
$$K(\tau) = \int_0^{nT_c} C(t-\tau) \cdot C(t-\Delta T_o) \, dt$$

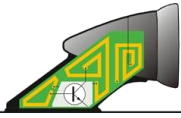




• orrelation;
• eriodische utokorrelationfunktion

$$K(\tau) = \int_0^{nT_c} C(t-\tau) \cdot C(t-\Delta T_o) \, dt$$





Vergleich verschiedener Radar Konzepte

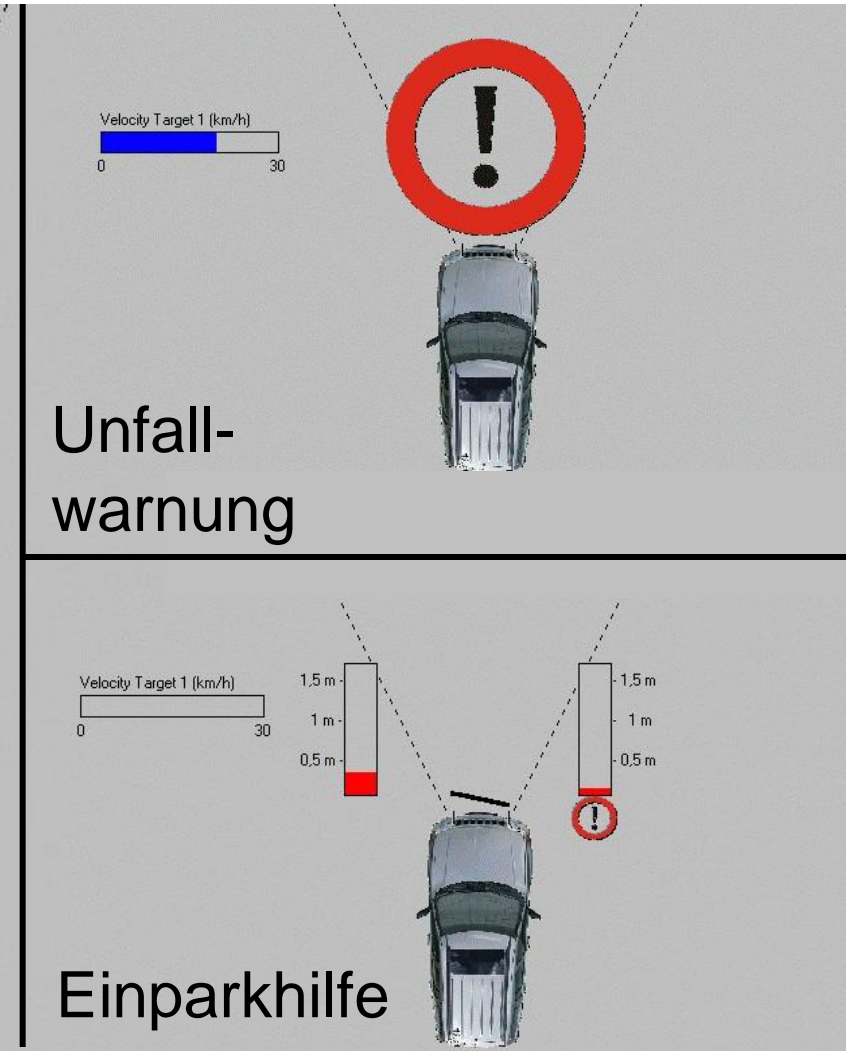
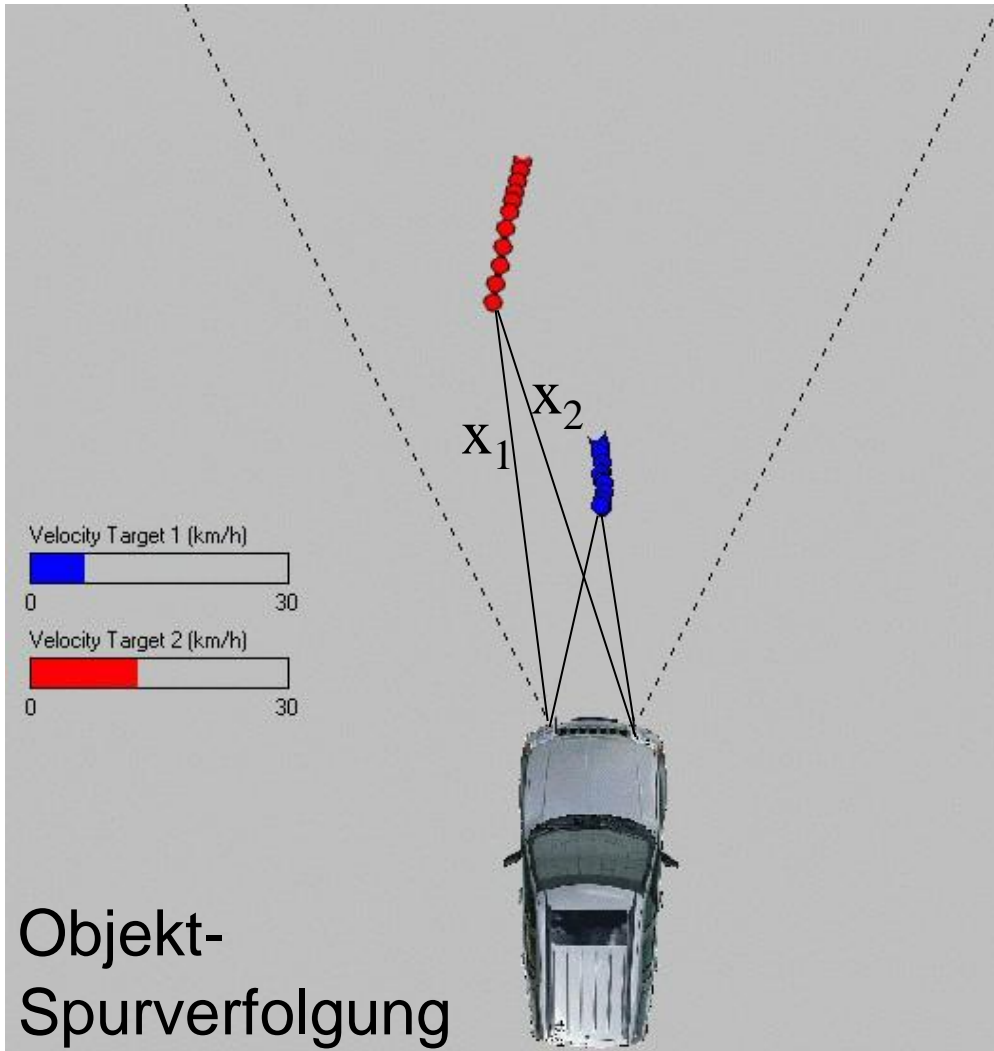
Vorteile eines PN-codierten Radar für Automotive Anwendungen:

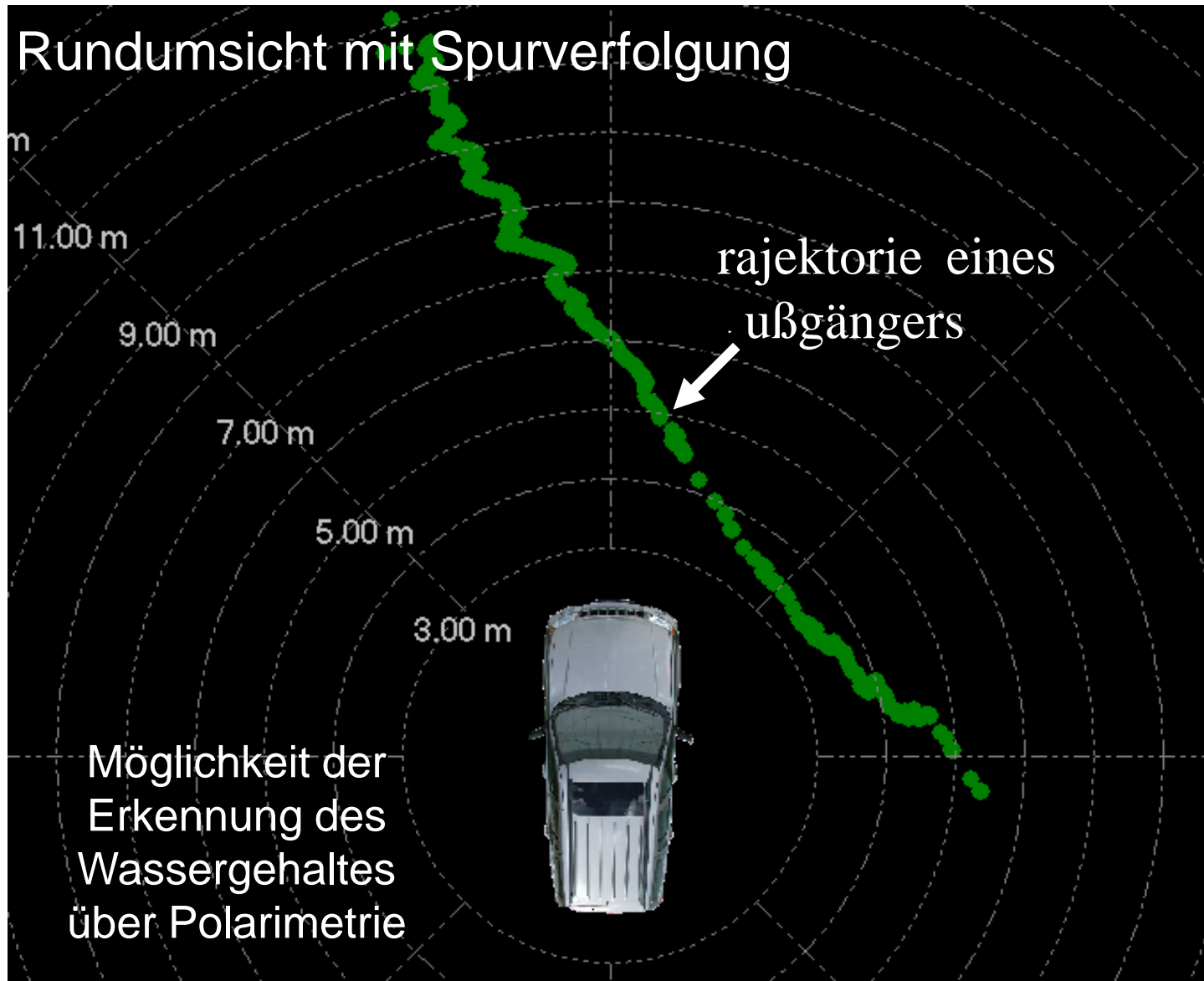
- Hoher Korrelationsgewinn $10 \cdot \log_{10}(N_C)$
- Gute Kanaltrennung zwischen verschiedenen Anwendern (CDMA)
- Kleine Signalleistung
- Einfache Signalverarbeitung
- Großer Eindeutigkeitsbereich

For car applications PN-coded radars are especially advantageous because of the channel separation against other radar appliers in the traffic scenario, the high immunity against noise and a wide unambiguity range



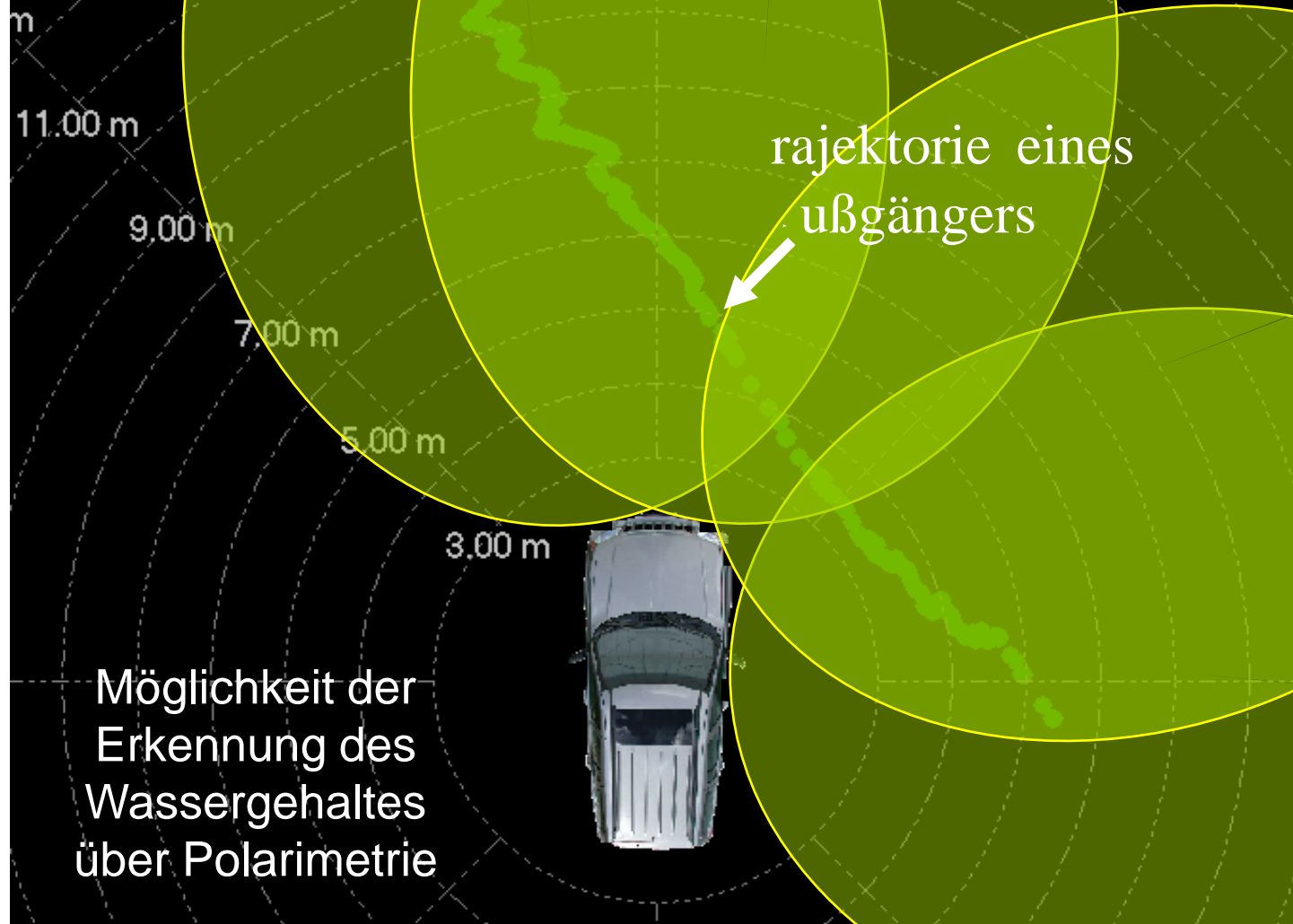
Signalauswertung mit automatischer Umschaltung für verschiedene Szenarios



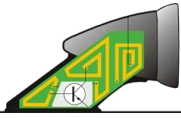




Rundumsicht mit Spurverfolgung



Möglichkeit der
Erkennung des
Wassergehaltes
über Polarimetrie



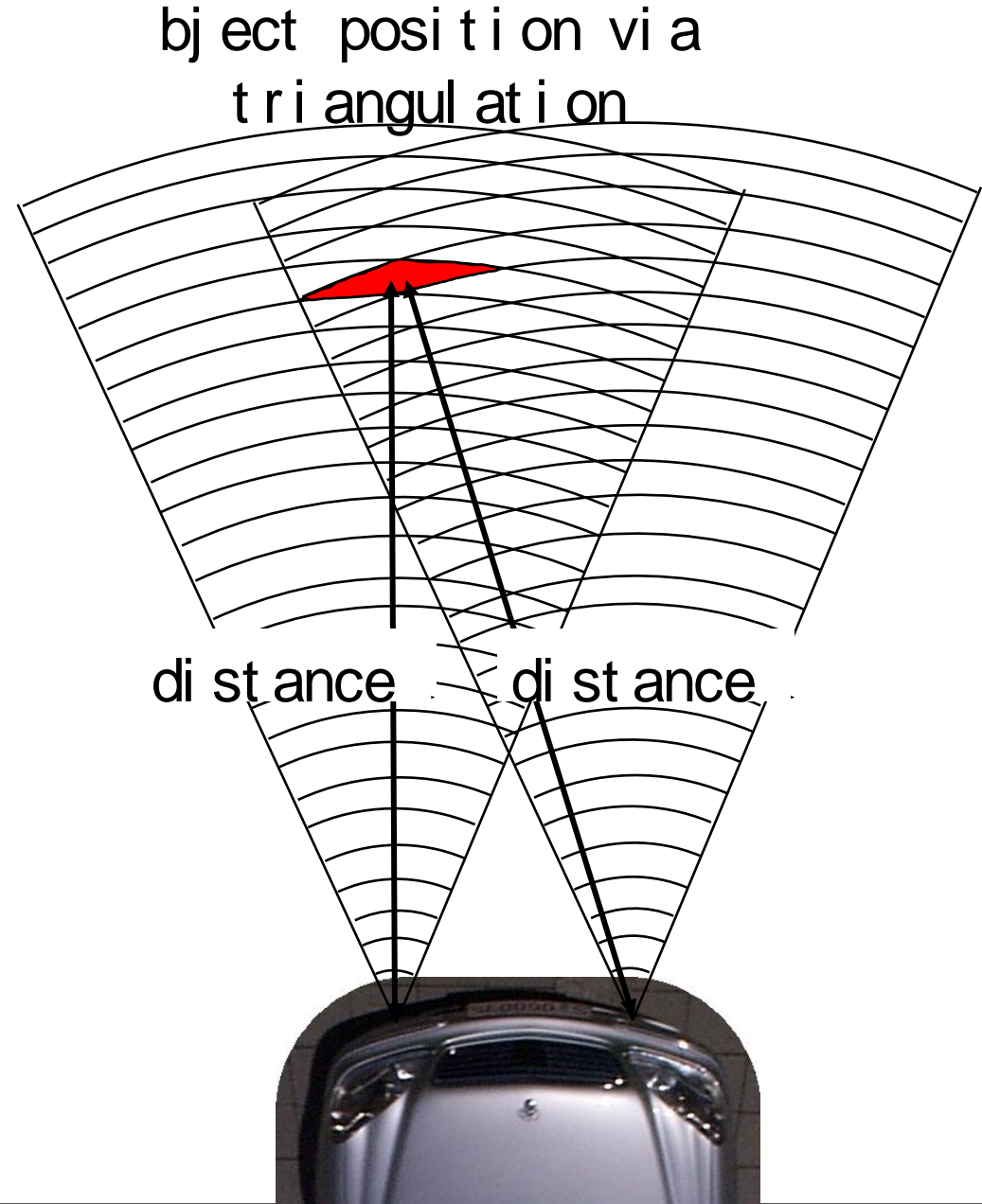
typische Systemparameter eines \undumsichtradar mit
vernetzten Sensoren (typisch: 1 Stück):

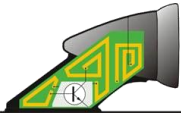
- Carrier frequency 24.1 GHz
- Maximum range: >100 m (communication), >10 m (radar)
- Range accuracy: ± 2 cm
- Angle resolution: appr. $\pm 5^\circ$
- Range resolution: Fast range scan: 132 cm, Object tracking: 33 cm
- Unambiguous range: 340 m
- Multi-target capability
- Peak efficient intrinsic radiated power: 0 dBm maximum
- Range rate accuracy: ± 0.5 m/s
- Update-Rate: switchable 10-60 Hz
- Cover bracket (3dB Beamwidth): 40° Azimuth, 10° Elevation



object position via triangulation

- position of obstacles are shown in a display
- tracking algorithms are implemented
- moving targets can be monitored
- ell distance can be changed via software

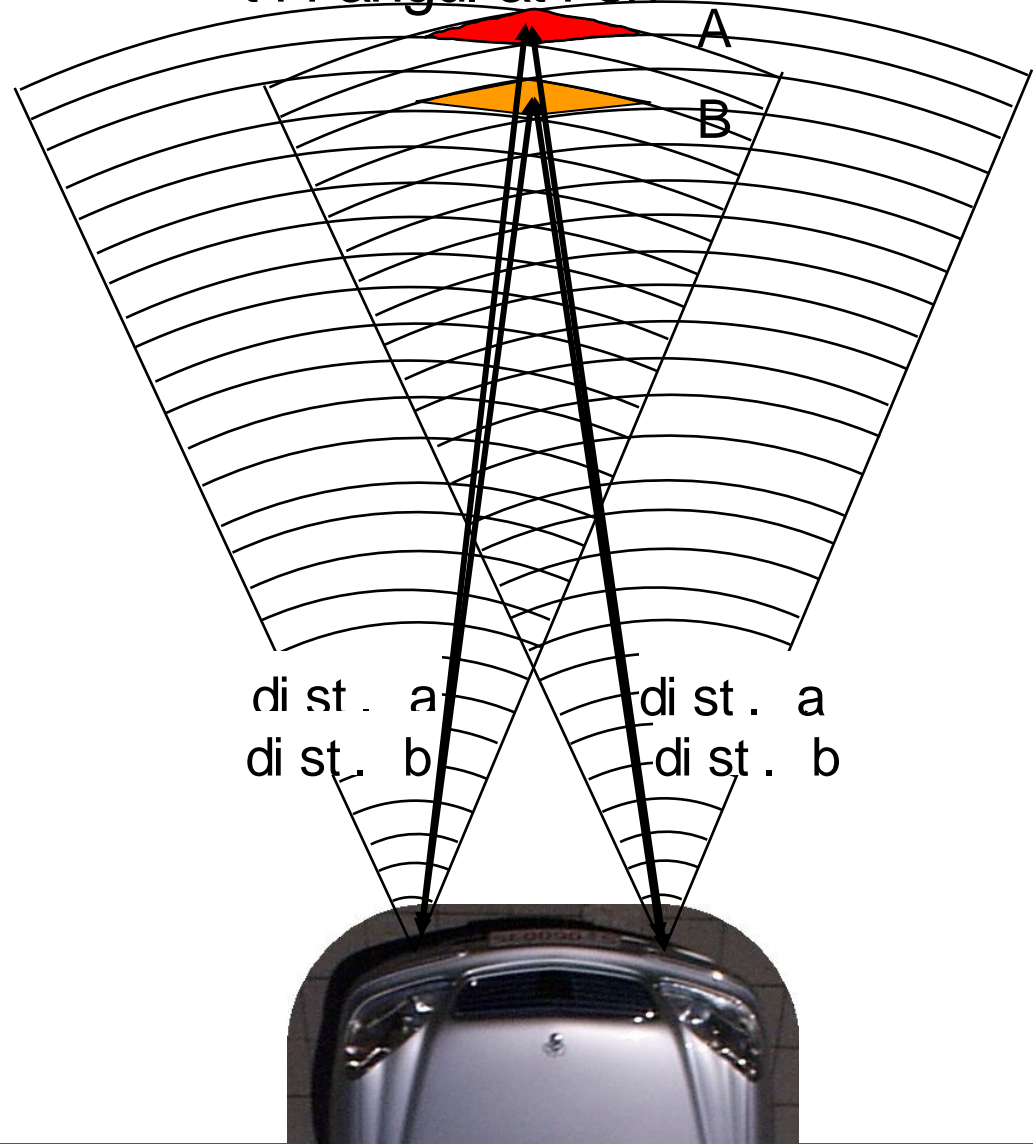


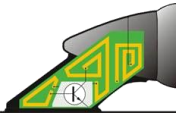


obstacle display

- position of obstacles are shown in a display
- tracking algorithms are implemented
- moving targets can be monitored
- ell distance can be changed via software

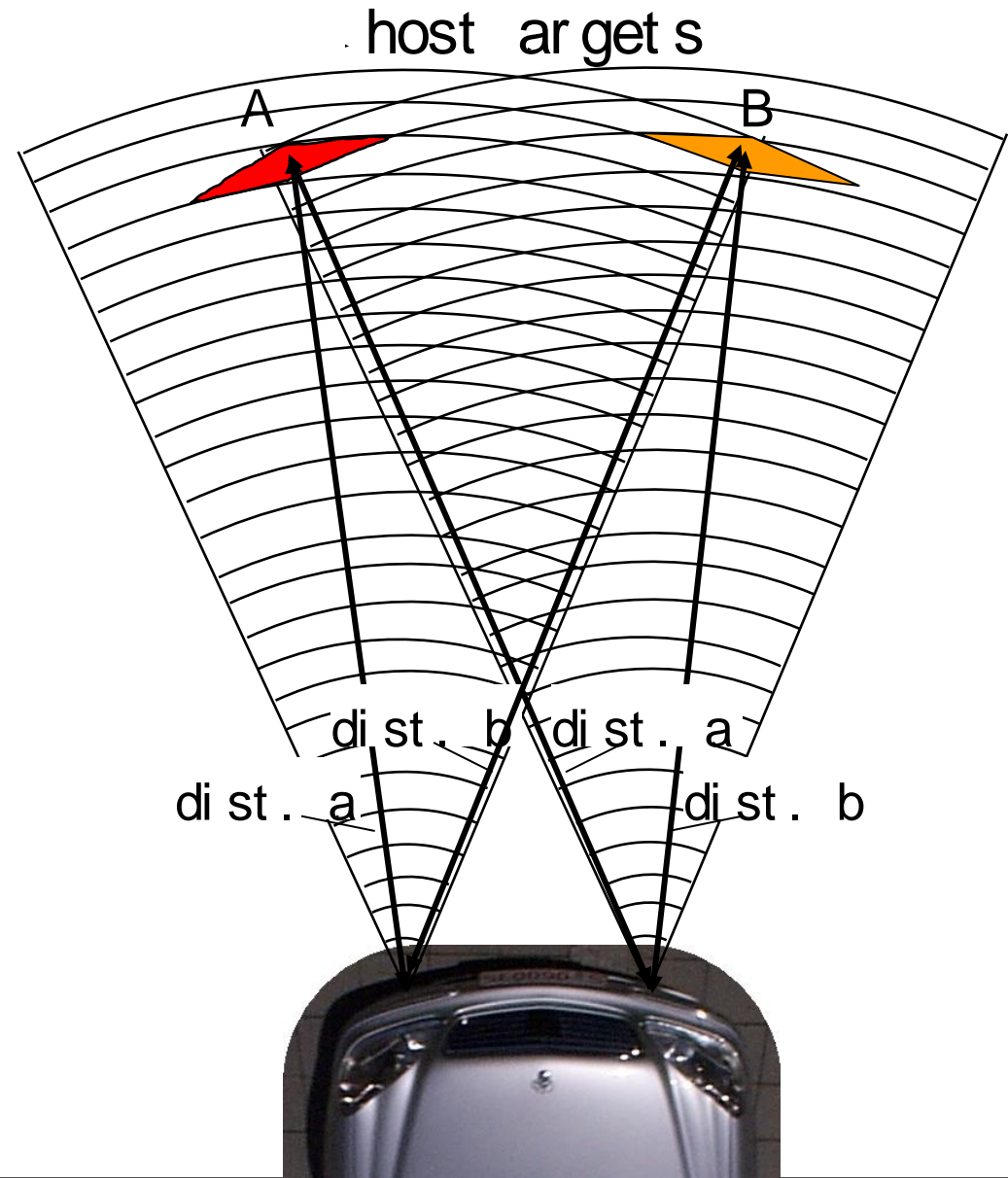
object position via triangulation

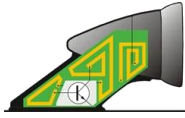




bst acl e di spl ay

- osi ti on of
obst acl es are
shown i n a di spl ay
- r acki ng al gor i t hms
are i m p l e m e n t e d
- . ovi ng t ar get s can
be m o n i t o r e d
- e l l d i s t a n c e can
be c h a n g e d
v i a o f t w a r e





törausblendung bei

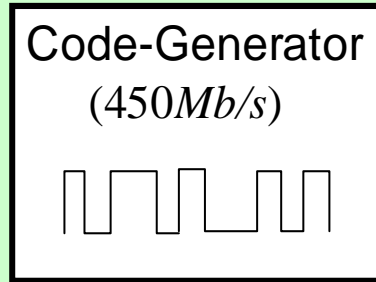
· · -basierter · unkübertragung



ende-mpfänger

24 GHz

\adar zi el



$C(t)$

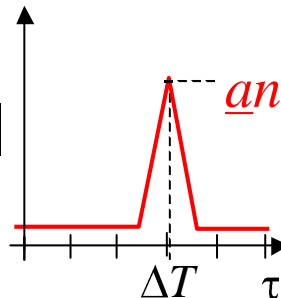
Variable Zeit-
verzögerung τ

τ

$C(t-\tau)$

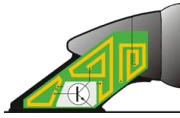
$$\underline{K}(\tau) = \int C(t-\tau) \cdot \underline{S}_r(t) dt$$

Korrelation
 $|\underline{K}|$

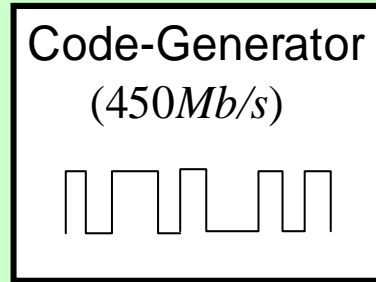


$$\underline{S}_r(t) = \underline{a}C(t-\Delta T)$$

$$\Delta T = 2x/c_o$$



ende-mpfänger



$C_I(t)$

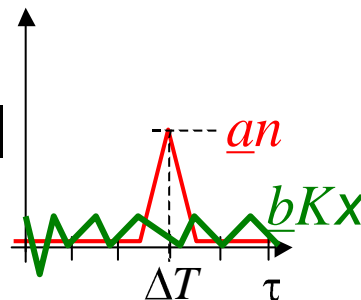
Variable Zeit-
verzögerung τ

τ

$C_I(t-\tau)$

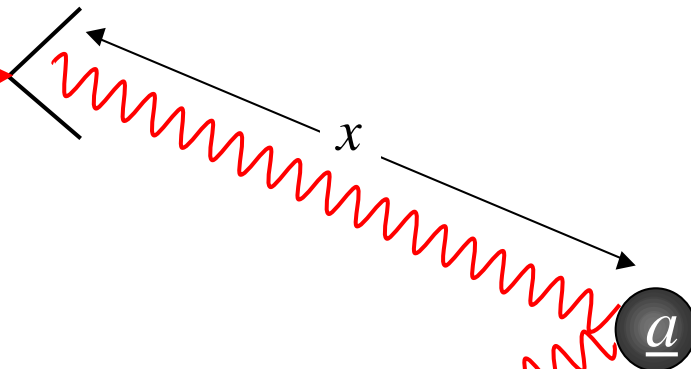
$$\underline{K}(\tau) = \int C_I(t-\tau) \cdot \underline{S}_r(t) dt$$

Korrelation
 $|\underline{K}|$



24 GHz

\ radar zi el



$$\Delta T = 2x/c_o$$

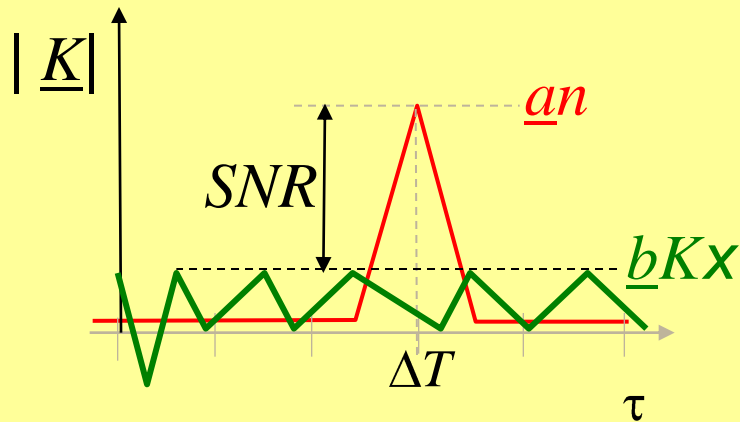
$$\underline{S}_r(t) = \underline{a}C_I(t-\Delta T) + \underline{b}C_2(t)$$

Externes
Störsignal

$bC_2(t)$

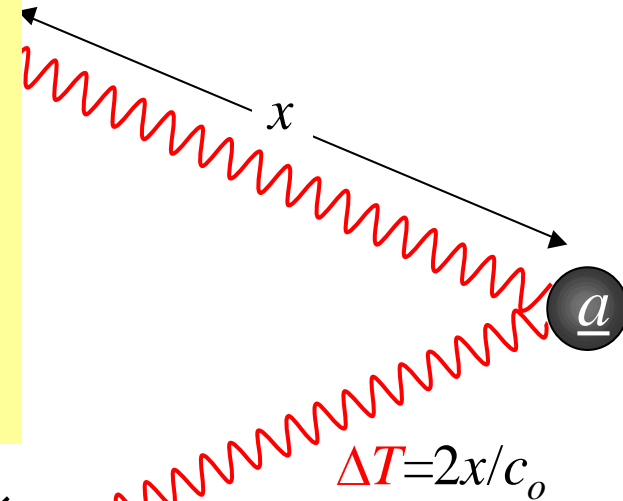


$$SNR = 20\text{dB} \log\left(\frac{a}{b}\right) + 24\text{dB}$$



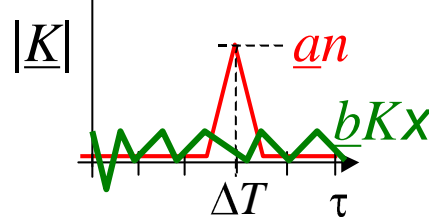
24 GHz

\adar zi el



$$\underline{K}(\tau) = \int \underline{C}_1(t - \tau) \cdot \underline{S}_r(t) dt$$

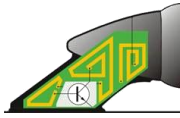
Korrelation



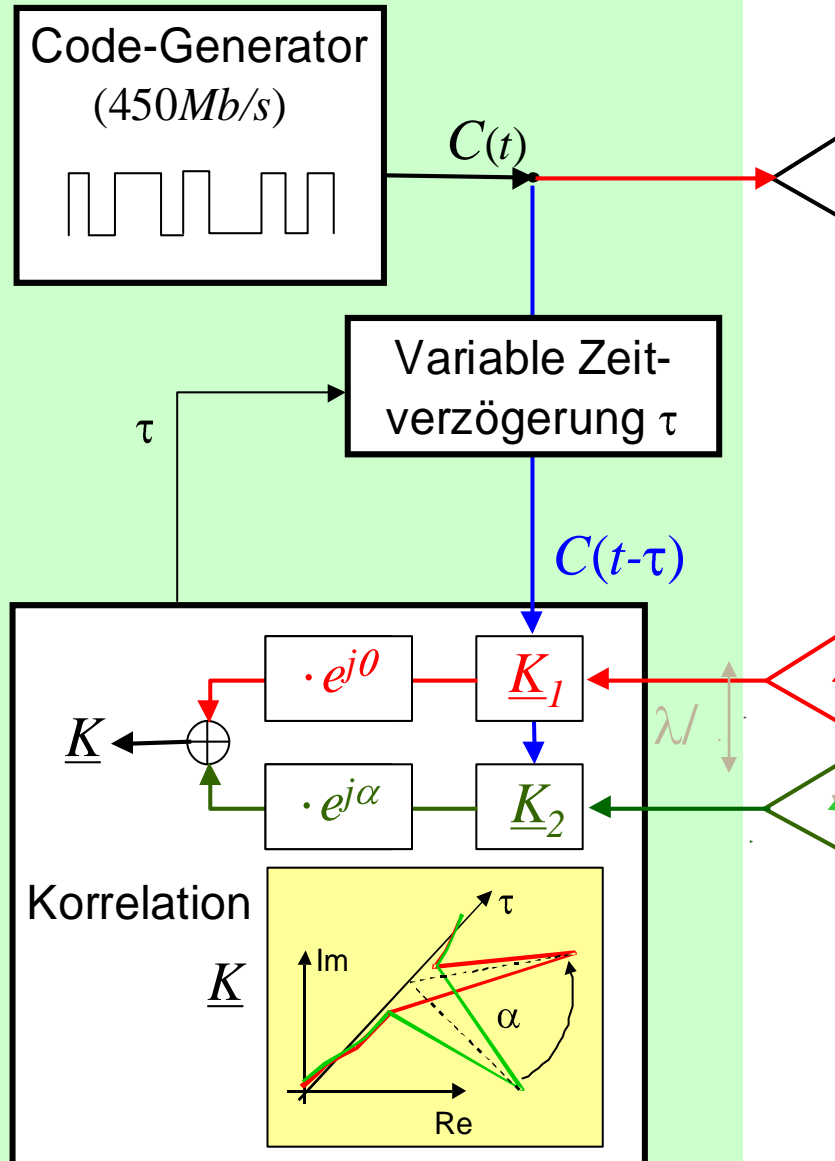
$$\underline{S}_r(t) = \underline{a}C_1(t - \Delta T) + \underline{b}C_2(t)$$

Externes
Störsignal

$$\underline{b}C_2(t)$$



ende-mpfänger



24 GHz

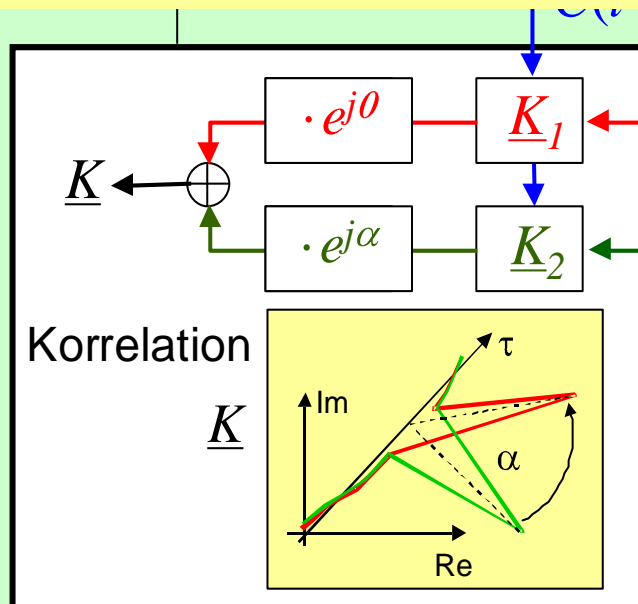
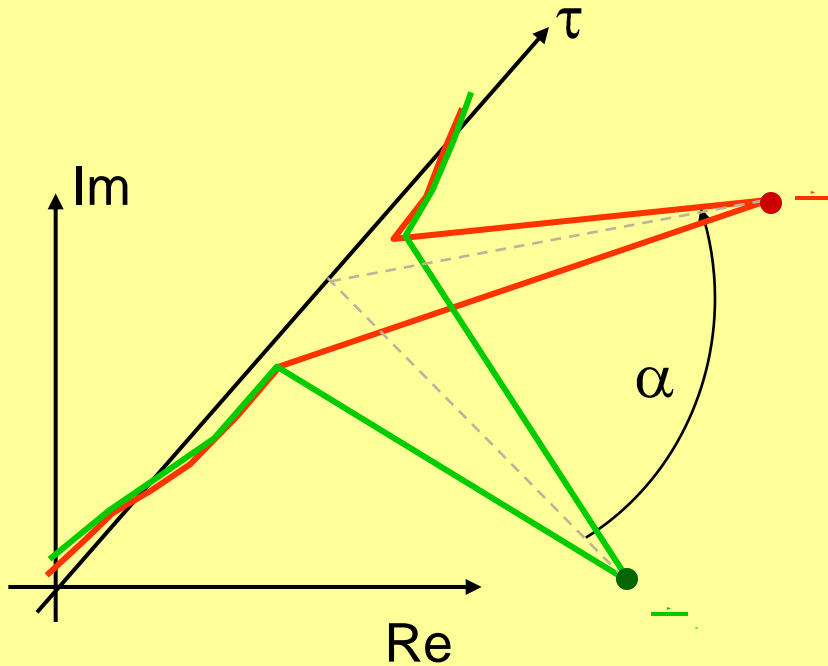
SDMA und
Richtungserkennung mit
intelligenten Antennen

$\underline{a}C(t-\Delta T_1)$



24 GHz

SDMA und Richtungserkennung mit intelligenten Antennen



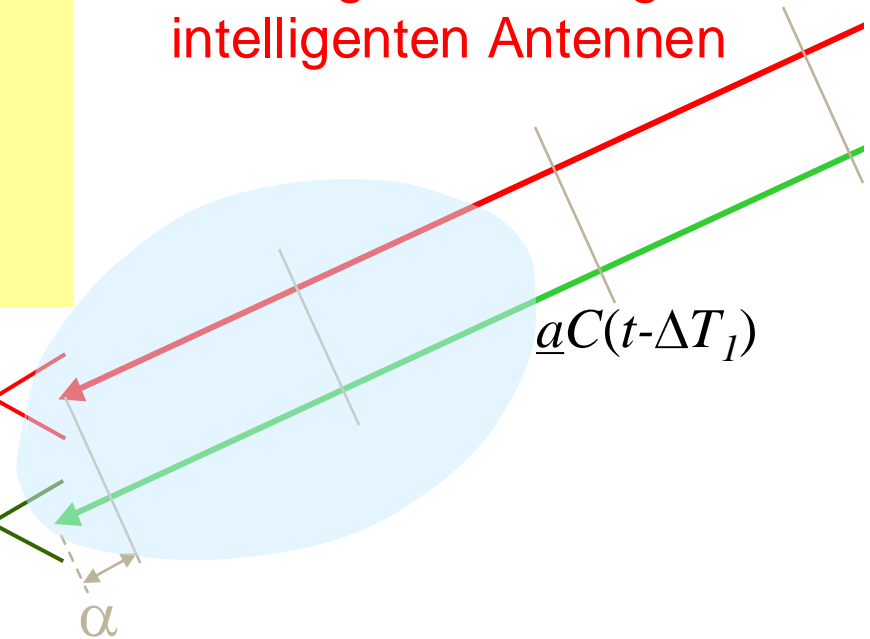
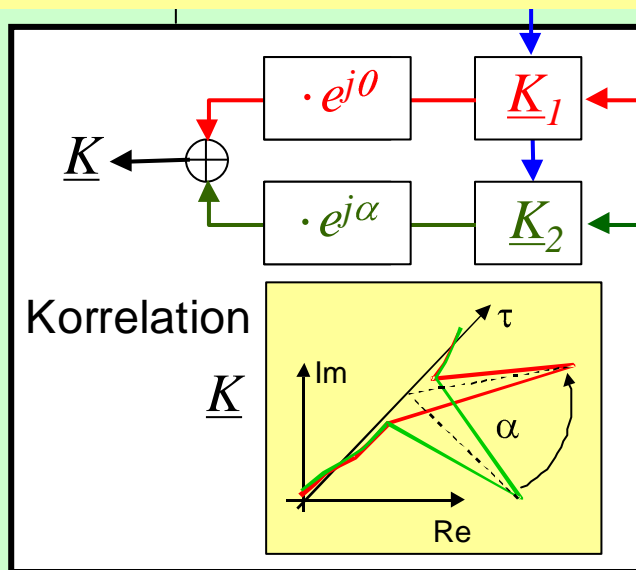
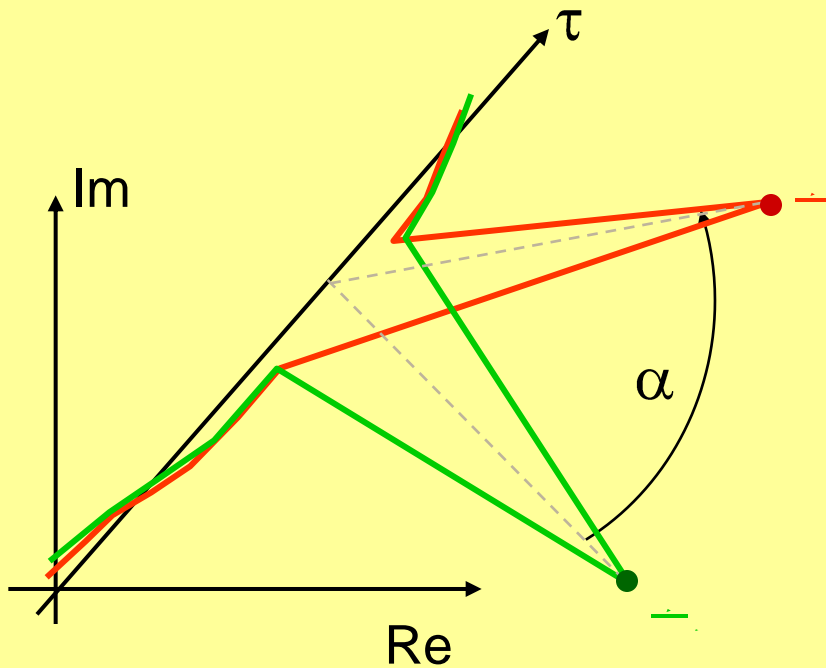
$\underline{aC}(t-\Delta T_1)$

α



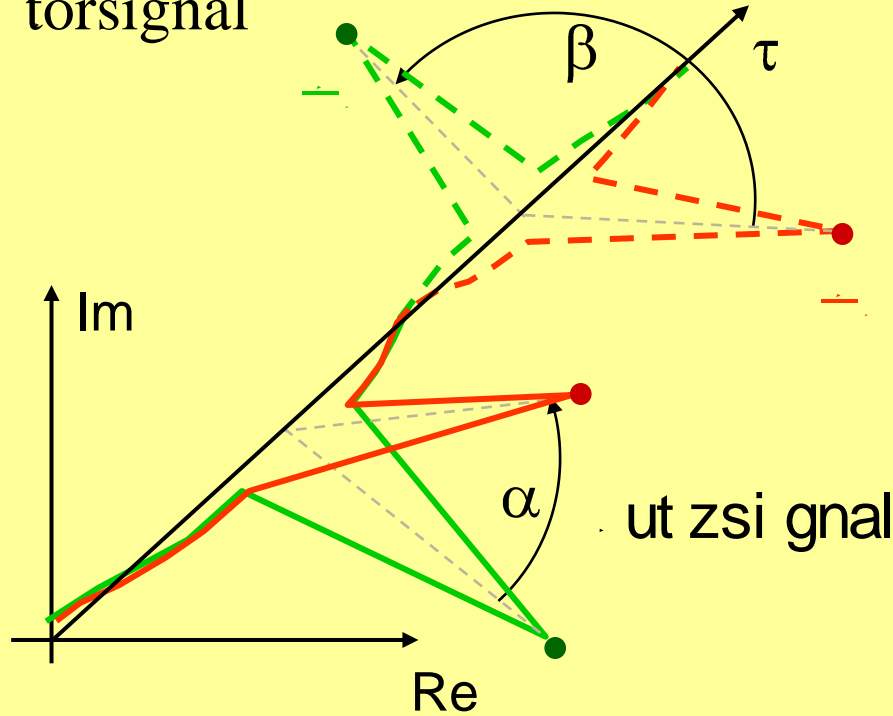
24 GHz

SDMA und
Richtungserkennung mit
intelligenten Antennen



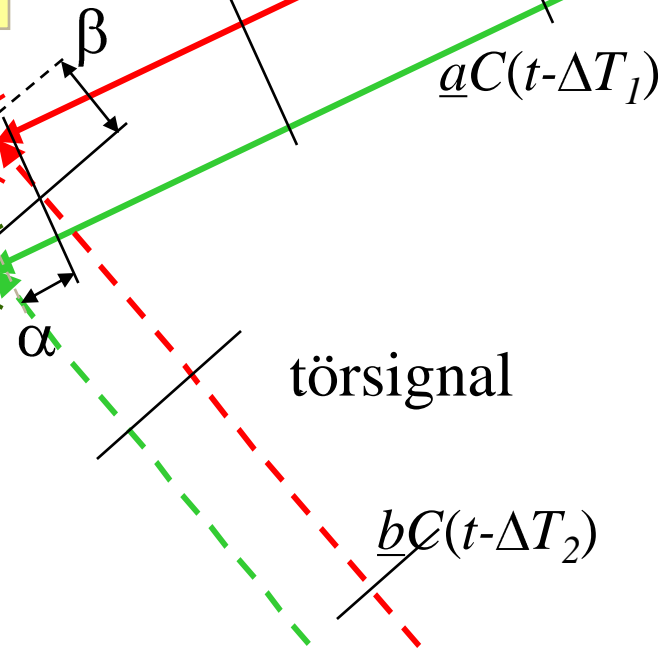
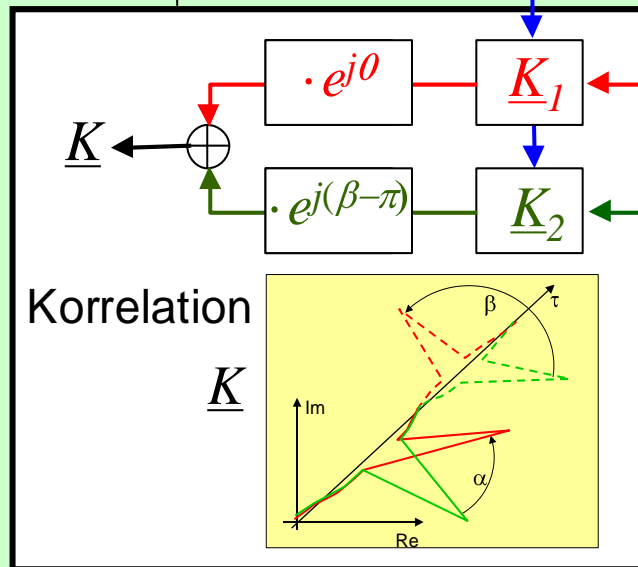


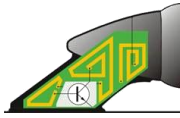
törsignal



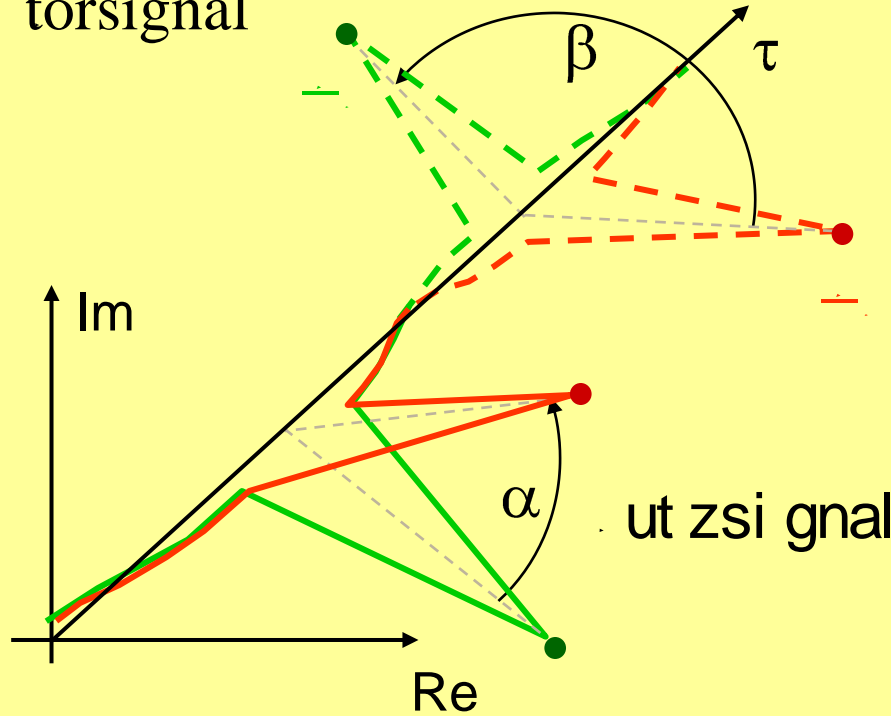
24 GHz

ut zsi gnal

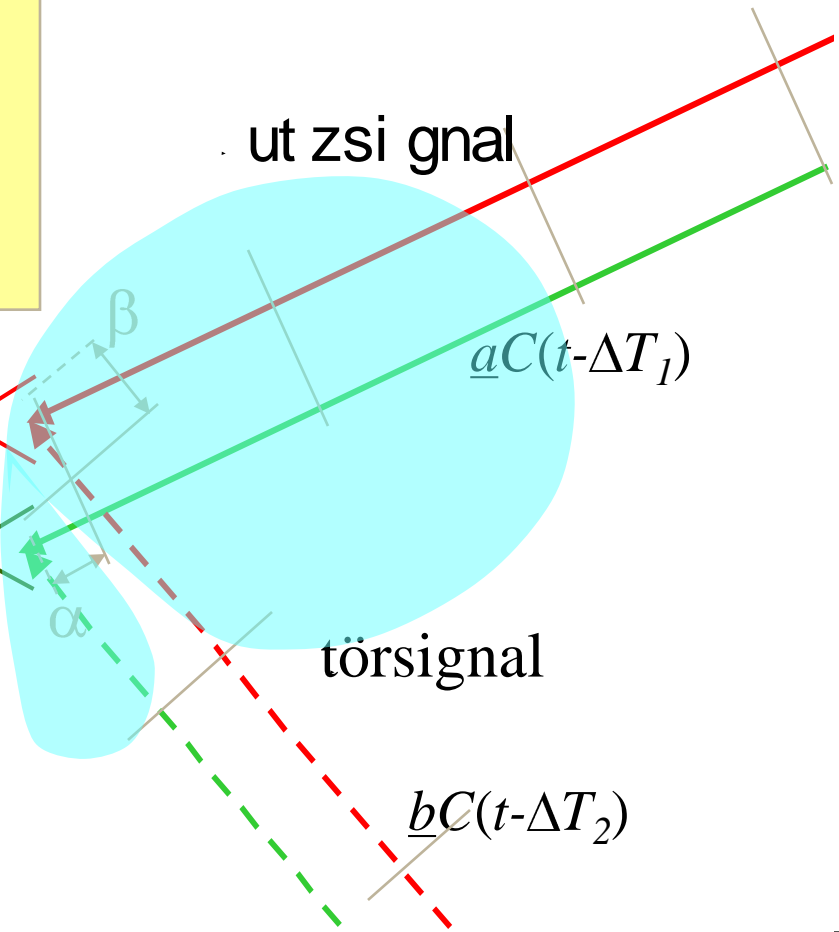
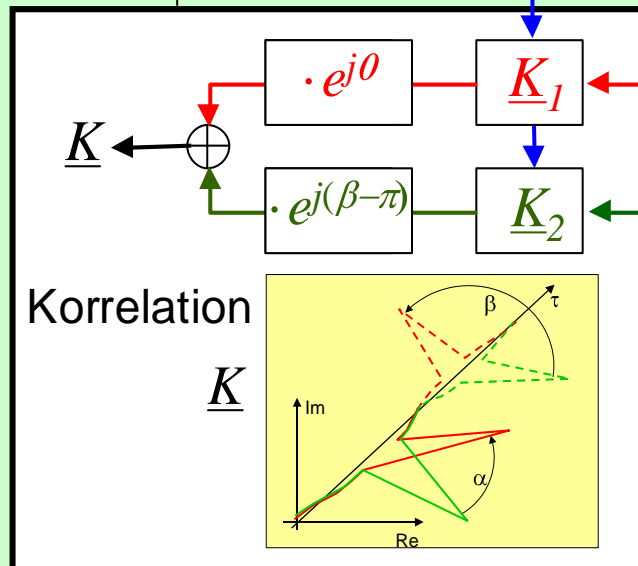


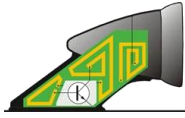


törsignal



24 GHz

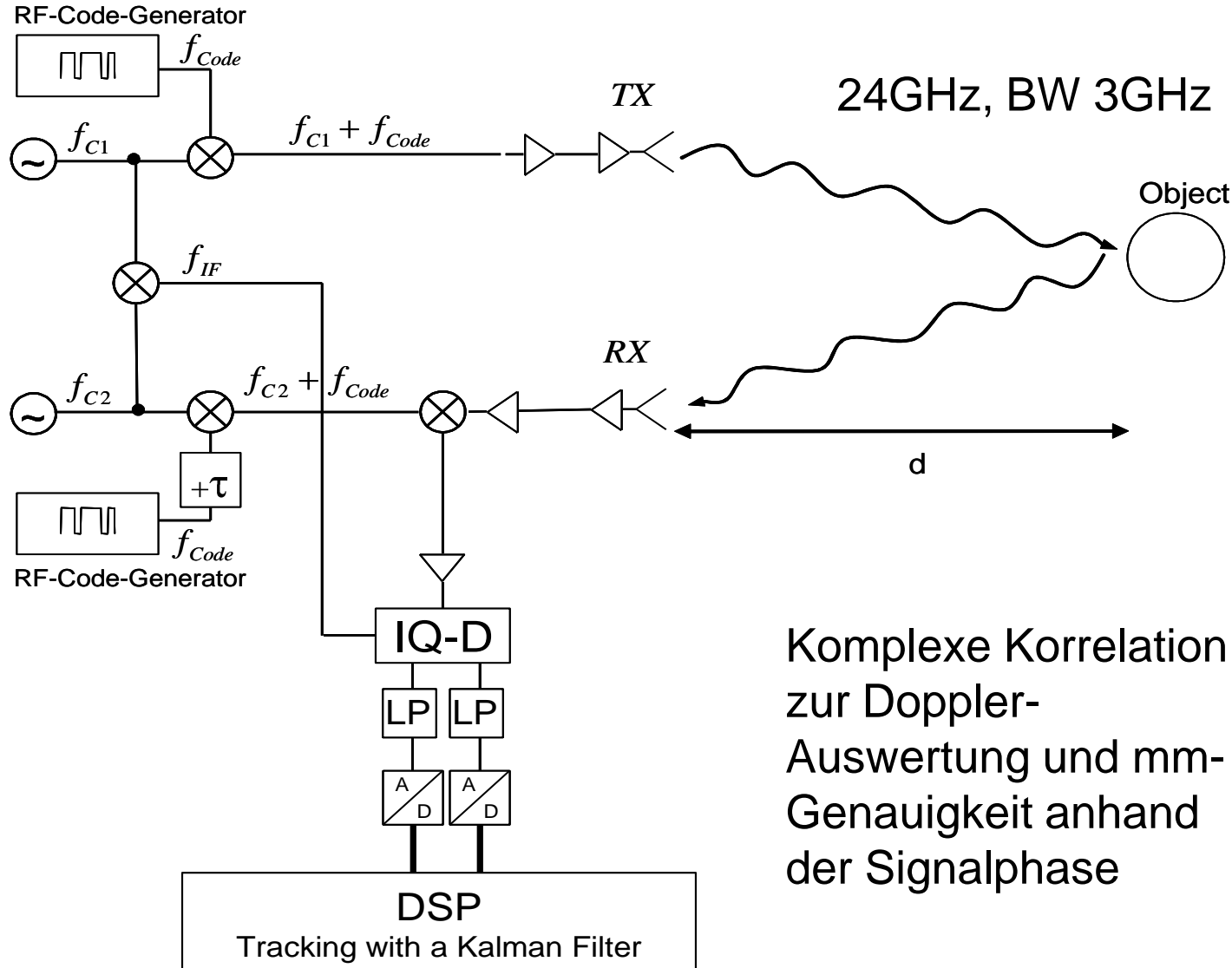




Hochauflösendes Radar bei 24 GHz

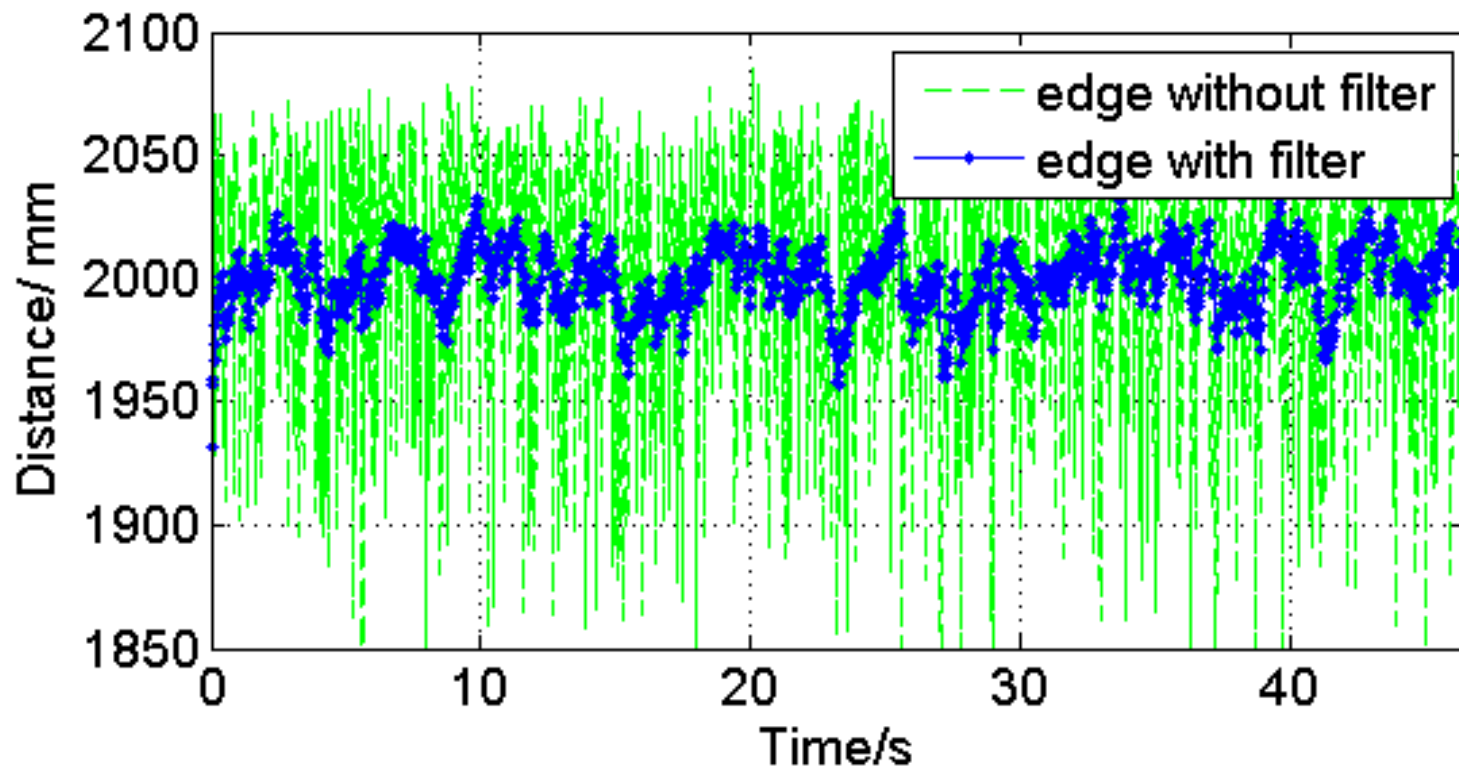


Hochauflösendes Pseudo-Noise-kodiertes Radar





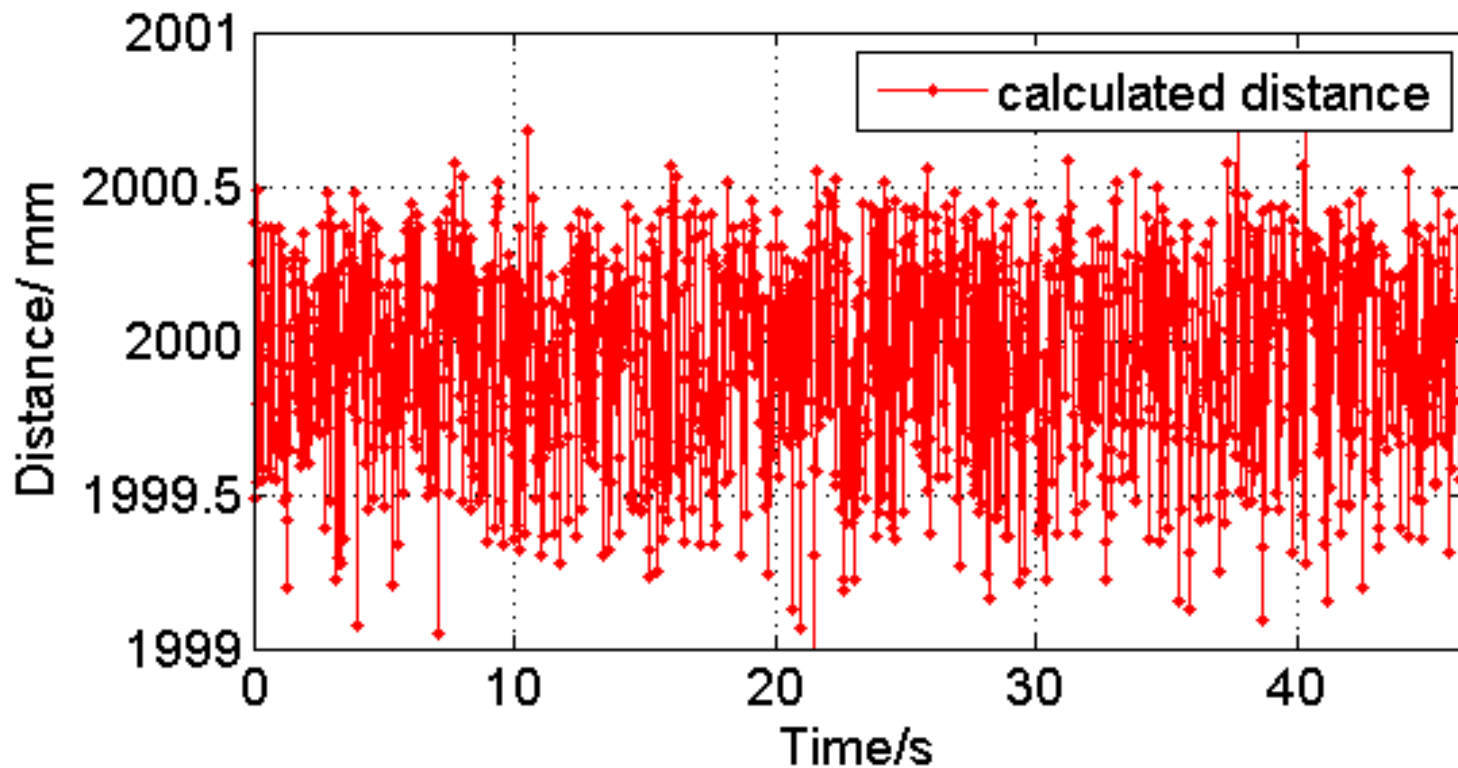
Measured static distance over time steps in signal processing



Accuracy of edge detection: Deviation of around 20mm

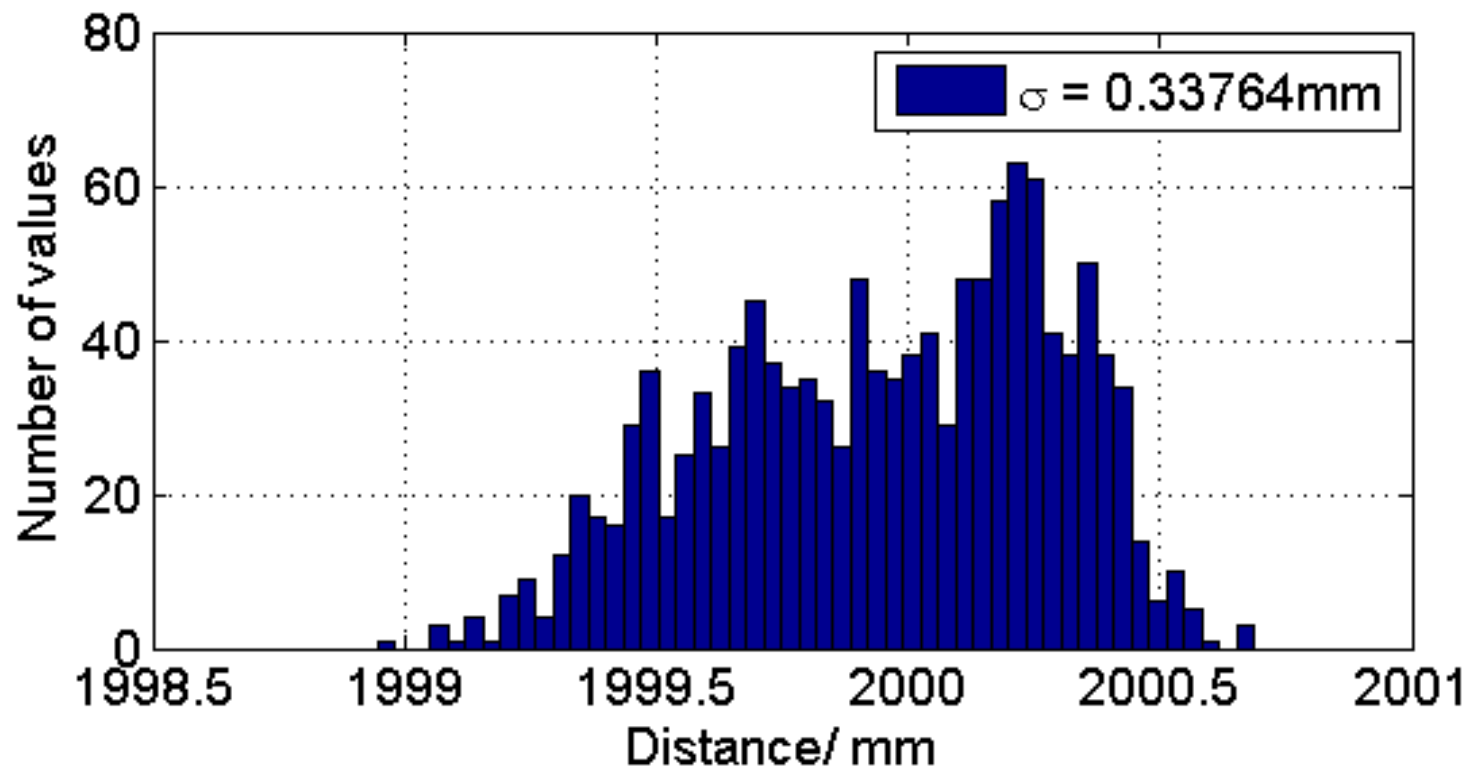


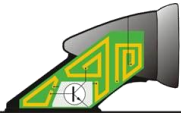
measured static distance over time steps in signal processing





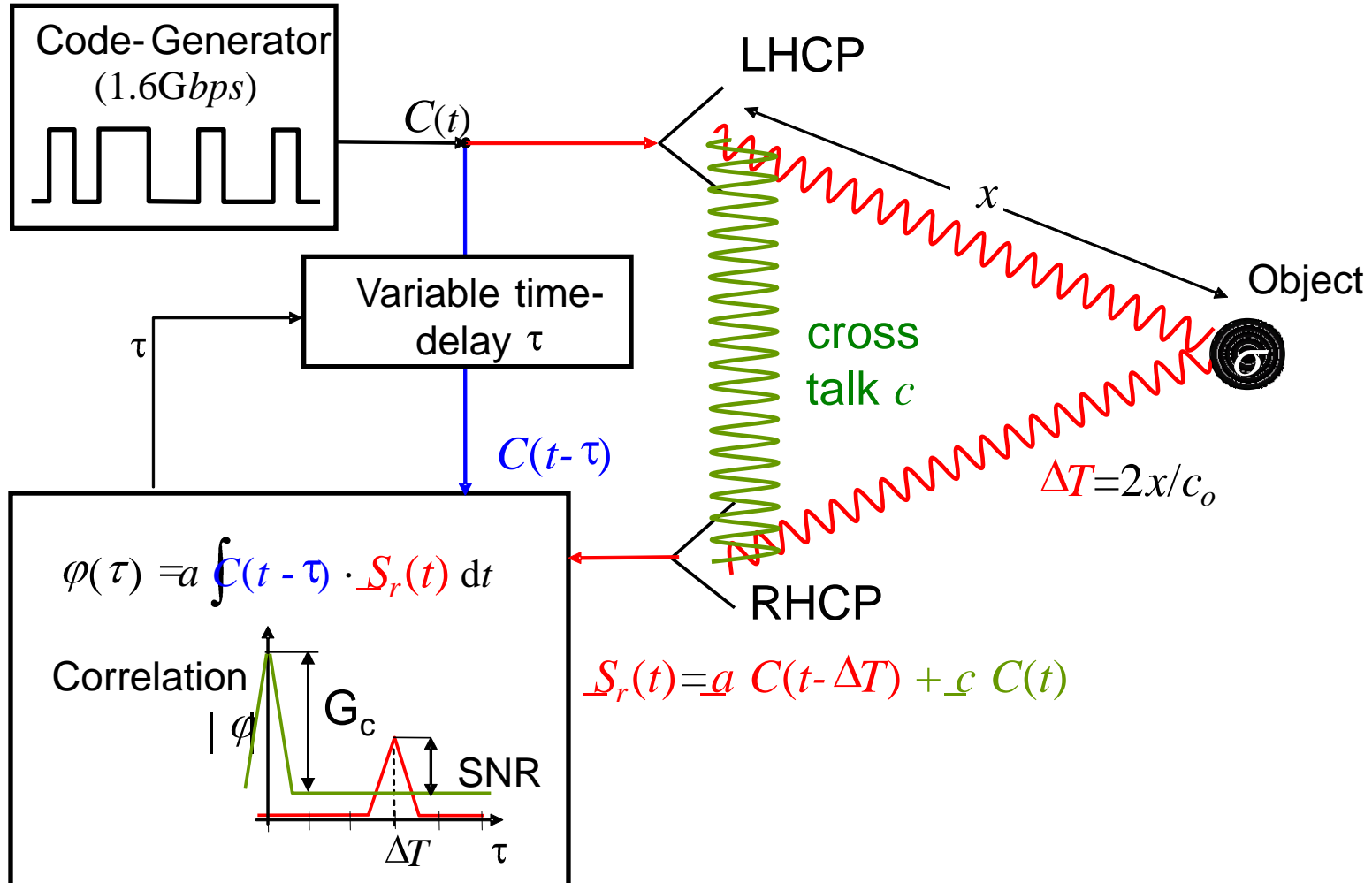
measured static distance over time
steps in signal processing: precise distance
information in well defined cases

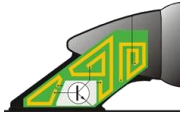




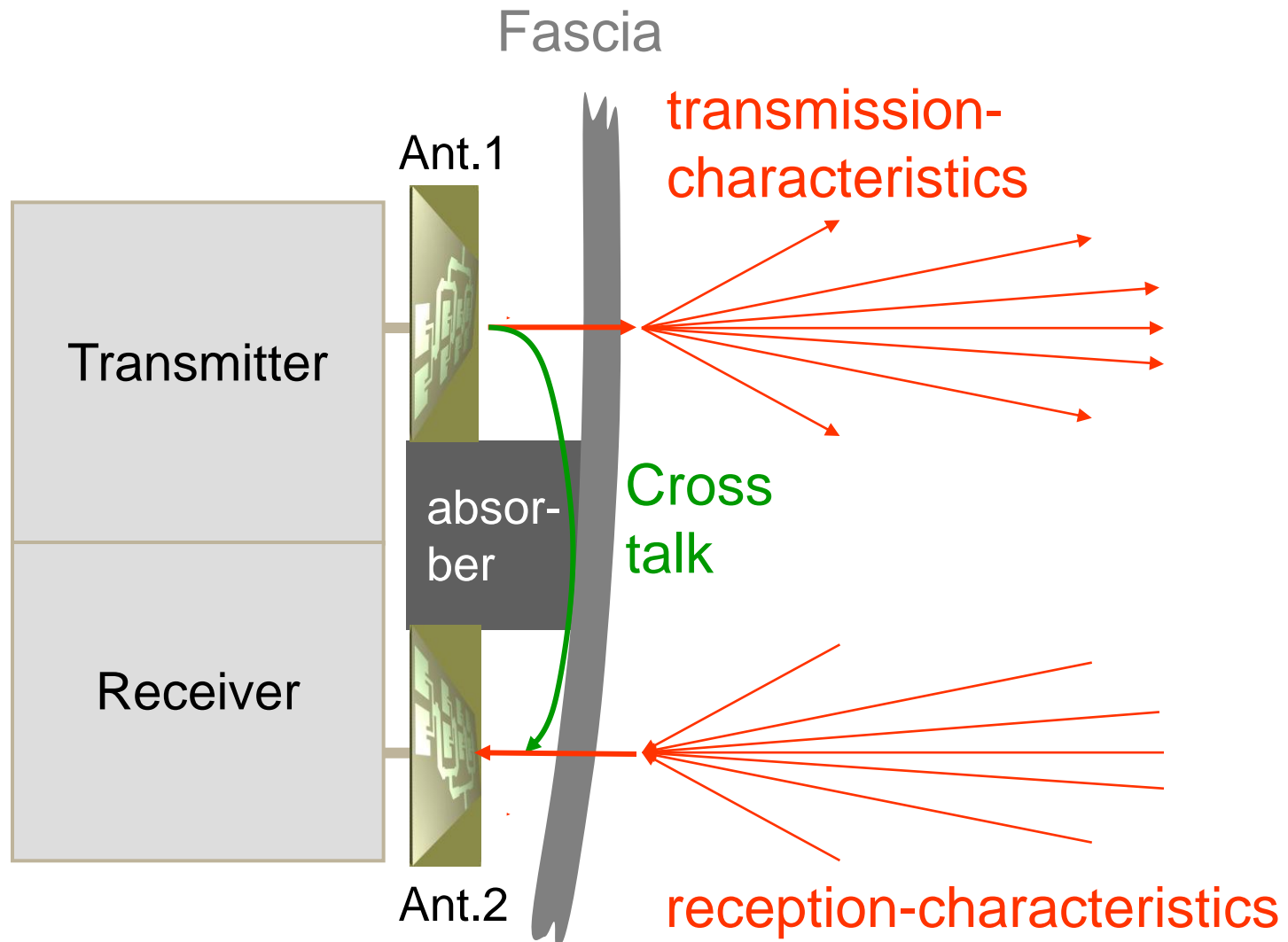
**he phase information together with high resolution
can be used for:**

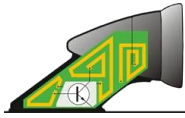
- Precise velocity measurement (Doppler-frequency)
- Prediction of the surface of the material in the distance cell (phase moving)
- Estimation of multipath scenario
- precise distance information for special measurement application cases (precondition: only one reflection point on the object in the first distance cell, almost flat objects, as e.g. at distance measurement of plates in material tests)





cross talk





Zusammenfassung

Radarsysteme für Automobilanwendungen sind bei 24GHz und 77GHz auf dem Markt.

Weitbereichsradare mit bis zu 200m Reichweite und Nahbereichsradare mit bis zu 20m Reichweite erfassen die Fahrzeugumgebung i.d.R. mit Auflösungen im Bereich weniger dm und Zentimetergenauigkeit.

Zusammen mit optischer Sensorik ist eine Objektklassifizierung möglich. Vernetzung von Fahrzeugen untereinander ermöglicht abgestimmte Fahrerassistenzsysteme

Polarimetrie ermöglicht Straßenzustandserkennung und hilft bei der Materialklassifizierung (z.B. Wassergehalt der Radarziele)

Mit PN-codiertem Radar bei 3GHz Bandbreite konnte eine hohe Auflösung von 10cm und eine Genauigkeit von 2cm bzw. für ebene Radarziele (Fahrzeug-Höhenmessung) eine mm-Genauigkeit gezeigt werden.