



FORSCHUNGSINITIATIVE  
**K O - F A S**

# **Ko-KOMP**

## **Untersuchung und Simulation der Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation für kooperative Sicherheitssysteme**

Panagiotis Paschalidis, Kim Mahler,  
Mike Wisotzki, Andreas Kortke  
Heinrich Hertz Institut

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Ziel:

Ein Simulationssystem, das das Verhalten eines Car2X Funkkommunikationssystems, basierend auf dem IEEE 802.11p Standard, zuverlässig reproduziert.

- Funksystemsimulation
- Funkkanalmodellierung
- Funkkanalmessungen
- Channel-Sounder

*„Top-Down“ Ansatz  
für die Zielsetzung*

# Motivation für einen Car2X Channel-Sounder

Experimente mit einem fertigen Kommunikationssystem können nur eine statistische Aussage über Übertragungsfehler machen, liefern aber keine genauere Information über den zugrunde liegenden Funkkanal.

Notwendige Eigenschaften eines Kanalmessgerätes für den Car2X Kanal

- Hohe Kanalabtastrate
- Großer Dynamikbereich
- Genaue Synchronisation
- Mechanische Belastbarkeit und kleiner Formfaktor



Für einen effizienten Entwurf eines Kommunikationssystems sind genügend und genaue Kanalinformation notwendig.

# Motivation für einen Car2X Channel-Sounder

Experimente mit einem fertigen Kommunikationssystem können nur eine statistische Aussage über Übertragungsfehler machen, liefern aber keine genauere Information über den zugrunde liegenden Funkkanal.

## Notwendige Eigenschaften eines Kanalmessgerätes für den Car2X Kanal

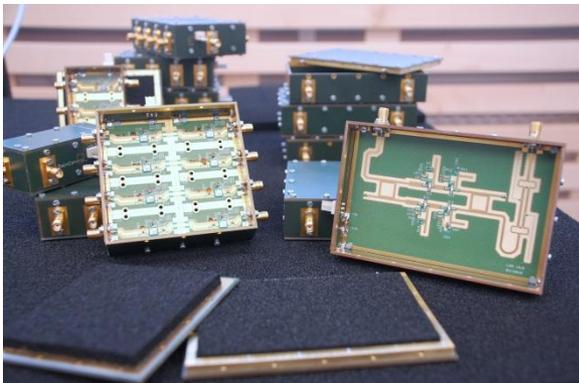
- Hohe Kanalabtastrate
- Großer Dynamikbereich
- Genaue Synchronisation
- Mechanische Belastbarkeit und kleiner Formfaktor



Für einen effizienten Entwurf eines Kommunikationssystems sind genügend und genaue Kanalinformation notwendig.

# Entwicklung des HHI-Channel-Sounder

Die erste Version des HHI-Channel-Sounder wurde in 2008 präsentiert. Während des letzten Jahres wurde der HHI-Channel-Sounder einer grundlegenden Überarbeitung unterzogen.



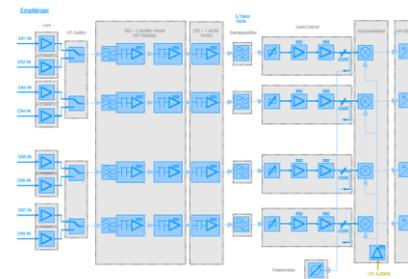
Optimierte modulare HF Komponenten



Robuste und kompakte Form



Genauere Synchronisierungseinheiten



Überarbeitetes Frontend, hoch effiziente Signalerzeugungs- und Signalaufzeichnungsmodule

## Eigenschaften und Spezifikationen

- Trägerfrequenz 5.7 GHz
- Bandbreite bis 1 zu GHz
- MIMO (Multiple Input Multiple Output) 2x3
- Sehr hohe zeitliche Auflösung (1ns)
- Genaue Synchronisierung
- Sehr hohe Dynamik (>50dB / 80dB)
- Große Reichweite (maximal 1km)
- Optimierte Messsignale

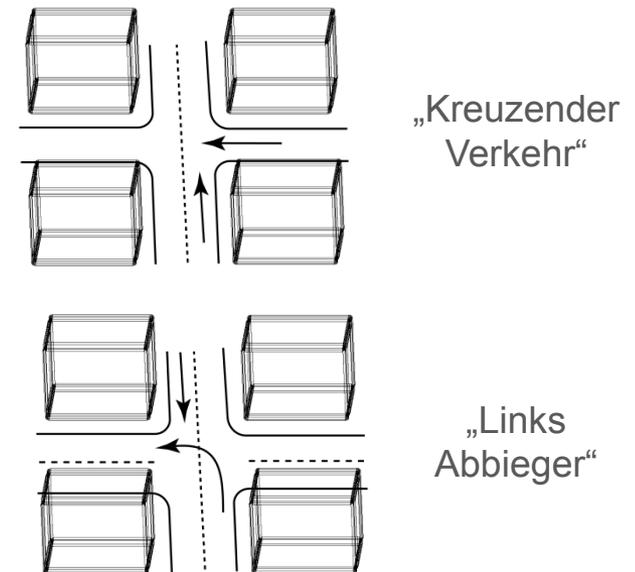


Empfangsstation des HHI-Channel-Sounder

Der HHI-Channel-Sounder wurde im Rahmen von Ko-KOMP von einem leistungsfähigen Prototyp zu einem robusten und zuverlässigen Messsystem mit hohen Leistungseigenschaften weiter entwickelt.

Innerhalb von Ko-KOMP wurden Kreuzungen als wichtiger Unfallort identifiziert. Als Use-Cases wurden die Szenarien „Kreuzender Verkehr“ und „Links Abbieger“ festgelegt.

- Messungen auf Kreuzungen
- 2 größere Messkampagnen (Nov 2010, Juli 2011)
- Unterschiedliche Kreuzungen (Breite, Bebauung)
- Untersuchung des Einflusses des Verkehrs



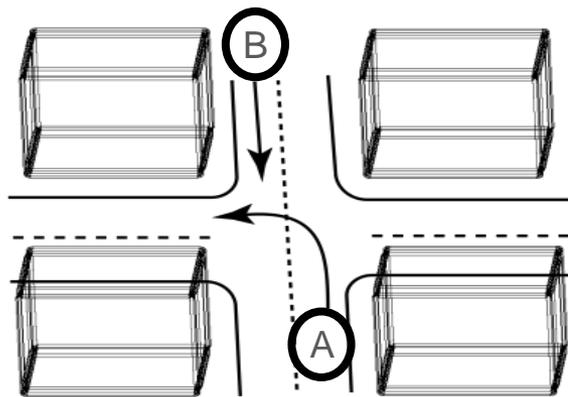
Mit einer Reihe von Messungen an unterschiedlichen Kreuzungen kann die statistische Basis für die zuverlässige Identifizierung und Dimensionierung der wichtigen Kanalparameter gestellt werden.

# Funkkanalmessungen: Ausgewähltes Beispiel

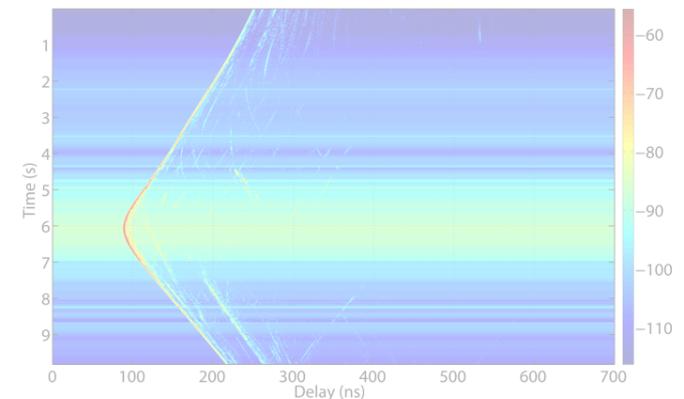
## Use-Case: „Links Abbieger“

### Szenario:

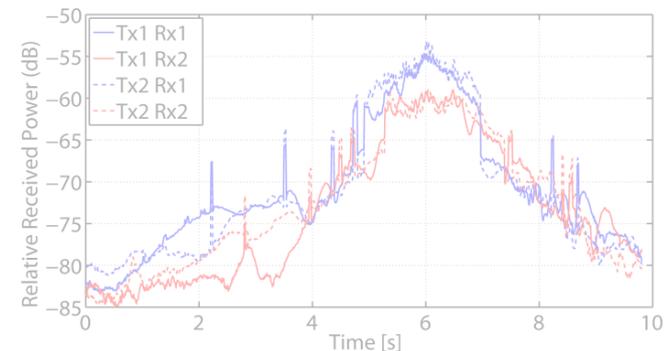
Während der Messung stellt sich Messfahrzeug A auf die Kreuzung und wartet auf ein Zeitfenster im Gegenverkehr zum Abbiegen; Messfahrzeug B fährt im Gegenverkehr.



Skizze: Szenario



Zeitvariante Impulsantwort



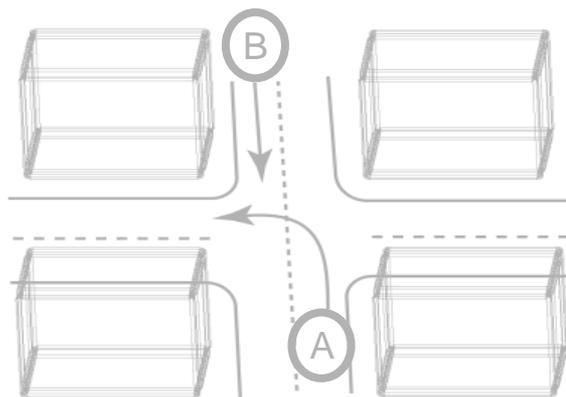
Empfangene Leistung

# Funkkanalmessungen: Ausgewähltes Beispiel

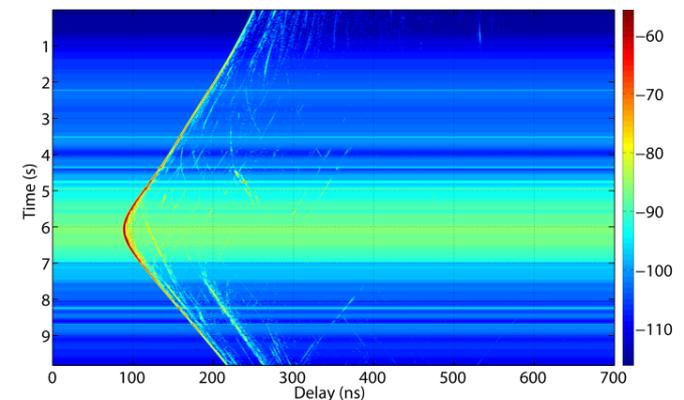
## Use-Case: „Links Abbieger“

Ablauf:

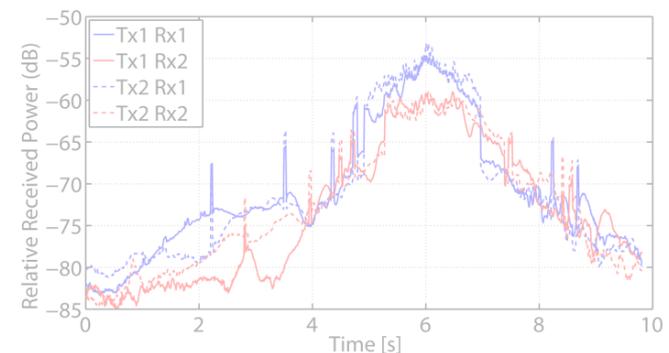
- $0 < t < 6\text{s}$  :  
Fahrzeug B nähert sich der Kreuzung
- $6 < t < 10\text{s}$  :  
Fahrzeug B entfernt sich von der Kreuzung



Skizze: Szenario



Zeitvariante Impulsantwort

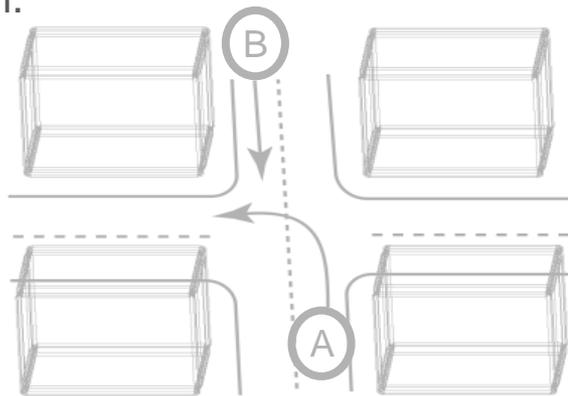


Empfangene Leistung

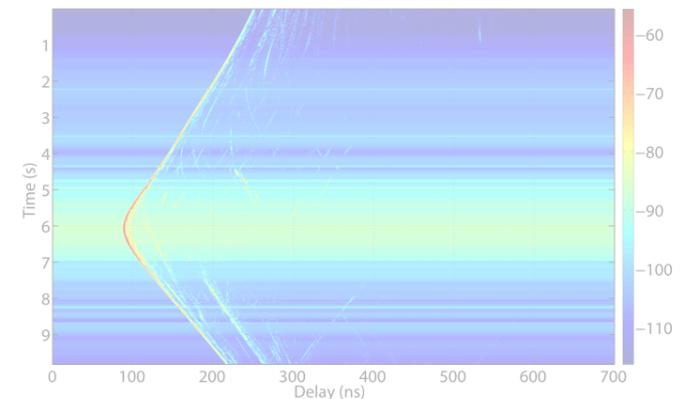
# Funkkanalmessungen: Ausgewähltes Beispiel

## Use-Case: „Links Abbieger“

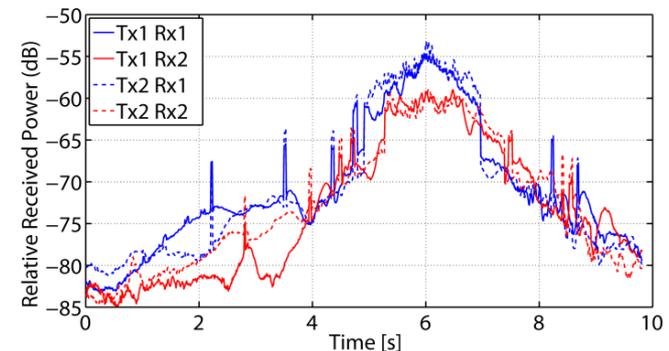
- Die Position der Antenne(n) spielt eine wichtige Rolle für die empfangene Leistung
- Schwach korrelierte Schwankungen weisen auf Gewinne für die Systemrobustheit beim Einsatz von Mehrantennen Übertragungsverfahren hin.



Skizze: Szenario



Zeitvariante Impulsantwort



Empfangene Leistung

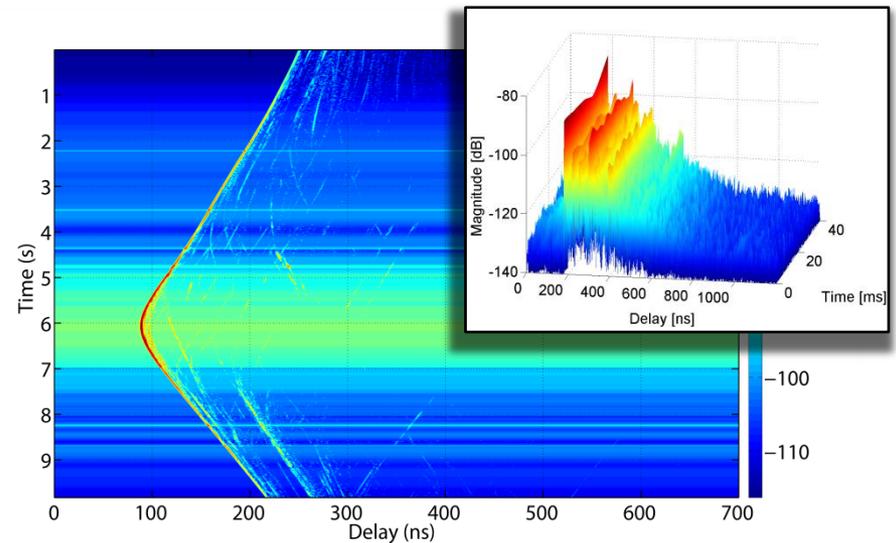
## Charakterisierung des Car2X Funkkanals

*Leistung des empfangenen Signals =*

$$\sum (\text{direkter Pfad} + \text{reflektierte Leistung})$$

*Reflektierte Leistung =*

$$\sum (\text{diskrete Leistungsbeiträge} + \text{diffuse Leistung})$$



Zeitvariante Impulsantwort

Die Charakterisierung des Car2X Funkkanals basiert auf die statistische Auswertung der Messergebnisse.

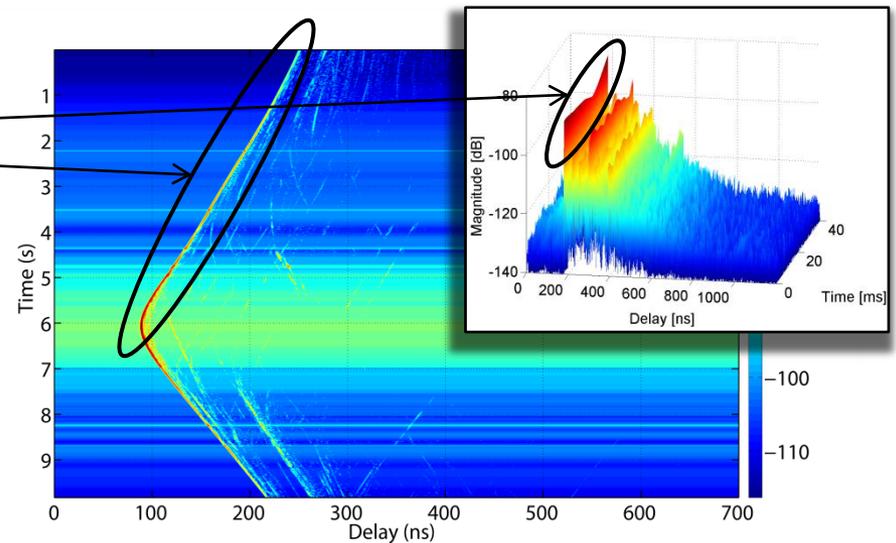
## Charakterisierung des Car2X Funkkanals

Leistung des empfangenen Signals =

$$\sum (\text{direkter Pfad} + \text{reflektierte Leistung})$$

Reflektierte Leistung =

$$\sum (\text{diskrete Leistungsbeiträge} + \text{diffuse Leistung})$$



Zeitvariante Impulsantwort

Die Charakterisierung des Car2X Funkkanals basiert auf die statistische Auswertung der Messergebnisse.

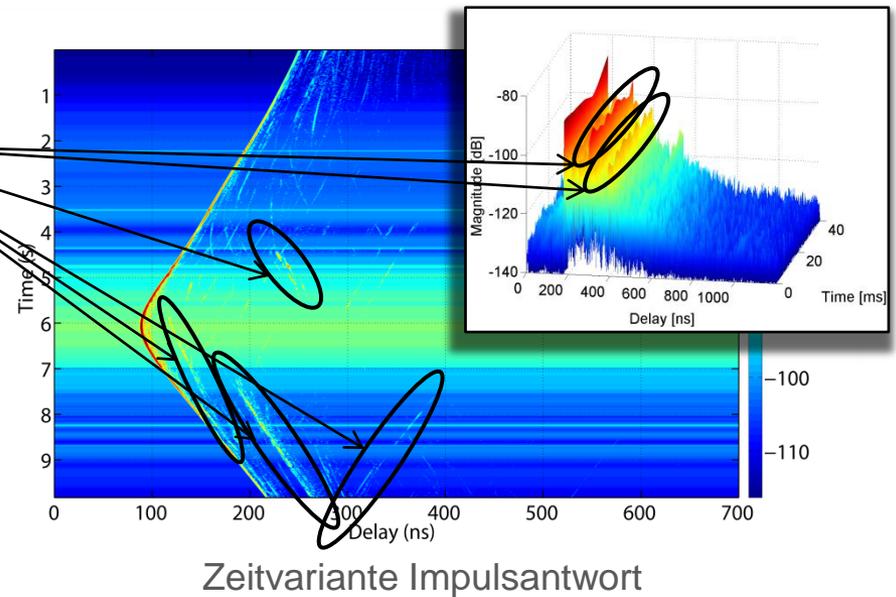
## Charakterisierung des Car2X Funkkanals

Leistung des empfangenen Signals =

$$\sum (\text{direkter Pfad} + \text{reflektierte Leistung})$$

Reflektierte Leistung =

$$\sum (\text{diskrete Leistungsbeiträge} + \text{diffuse Leistung})$$

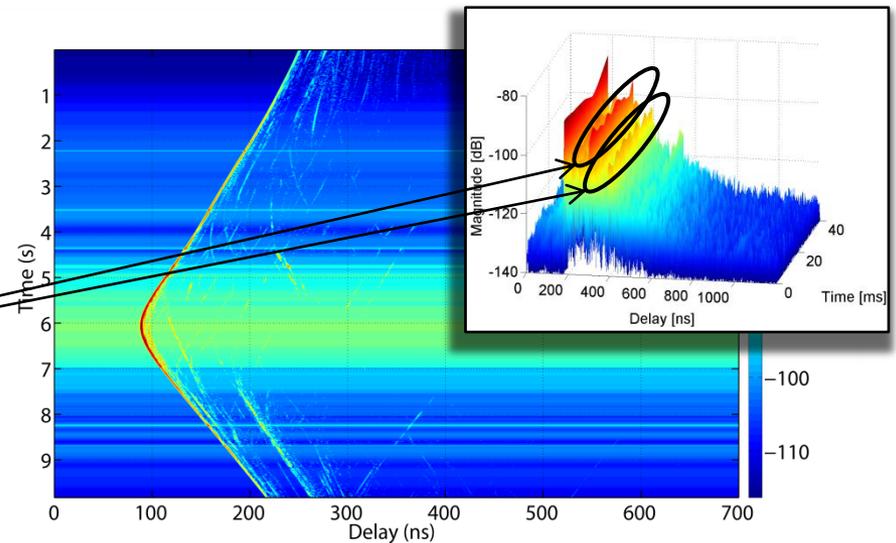


Die Charakterisierung des Car2X Funkkanals basiert auf die statistische Auswertung der Messergebnisse.

## Charakterisierung des Car2X Funkkanals

Leistung des empfangenen Signals =  
 $\sum$  (direkter Pfad + reflektierte Leistung)

Reflektierte Leistung =  
 $\sum$  (diskrete Leistungsbeiträge + diffuse Leistung)



Zeitvariante Impulsantwort

Die Charakterisierung des Car2X Funkkanals basiert auf die statistische Auswertung der Messergebnisse.

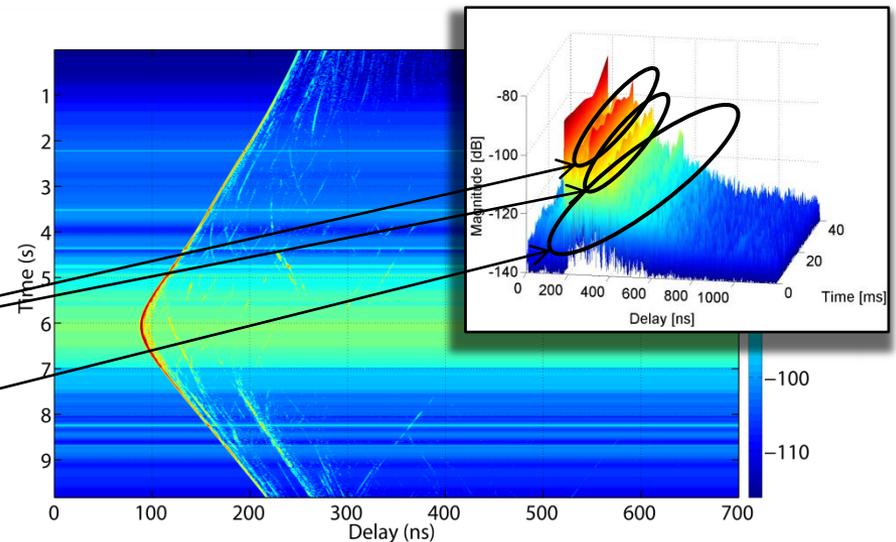
Der Car2X Funkkanal wird hauptsächlich von einer begrenzten Anzahl stärkerer Pfade charakterisiert.

*Leistung des empfangenen Signals =*

$$\sum (\text{direkter Pfad} + \text{reflektierte Leistung})$$

*Reflektierte Leistung =*

$$\sum (\text{diskrete Leistungsbeiträge} + \text{diffuse Leistung})$$



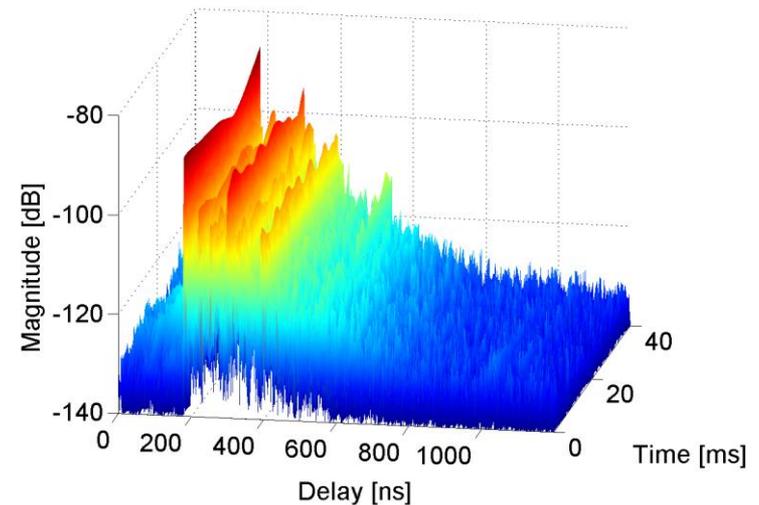
Zeitvariante Impulsantwort

Die Struktur des Car2X Funkkanals ermutigt zu einem Funkkanalmodellierungsansatz basierend auf stärkeren Leistungsbeiträgen.

Die Bandbreite des Systems beeinflusst die zeitliche Auflösbarkeit des Funkkanals. Elektromagnetische Wellen, die vom Empfänger nicht aufgelöst werden können, werden durch deren Superposition erfasst.

Leistung eines auflösbaren Beitrags =  
$$\sum_1^N \text{Ankommenden Wellen innerhalb } \Delta T$$

Die Superposition der ankommenden Wellen erzeugt sehr schnelle Leistungsschwankungen.



Zeitvariante Impulsantwort

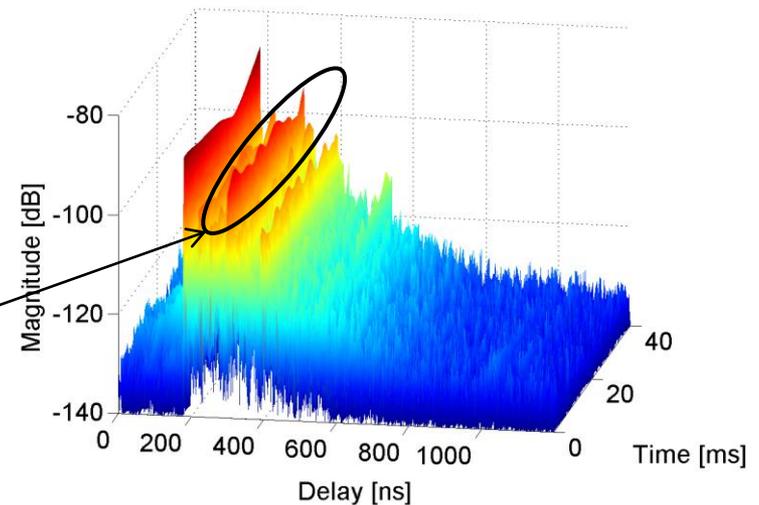
Je größer die Bandbreite des Systems, desto höher ist das zeitliche Auflösungsvermögen.

Die Leistung eines Beitrages wird von der Superposition aller reflektierten Wellen, die innerhalb eines Zeitintervalls ankommen, der von der Systembandbreite abhängig ist.

*Leistung eines Beitrags =*

$$\sum_1^N \text{Ankommenden Wellen innerhalb } \Delta T$$

Die Superposition der ankommenden Wellen erzeugt sehr schnelle Leistungsschwankungen.



Zeitvariante Impulsantwort

Der gewählte Modellierungsansatz für diese schnellen Schwankungen basiert auf dem Prinzip der kohärenten Superposition von Wellen.

## Simulationssystem: Ziele

- Integrationsfähig in einer Verkehrssimulationsumgebung
- Optimierung von Aspekten bezüglich der Funkkanalsimulation, des PHY und des MAC
- Geringe Komplexität, hohe Genauigkeit

## Simulationssystem: Lösungen

- Schnittstelle für Parameterübergabe von Verkehrssimulationsumgebungen
- Modulares Konzept für Kanalsimulation, PHY- und MAC- Funktionalitäten
- Zwei Versionen des Simulationssystems
  - Referenz-Simulationssystem mit hoher Genauigkeit
  - Echtzeit-Simulationssystem mit geringer Komplexität

## Simulationssystem: Ziele

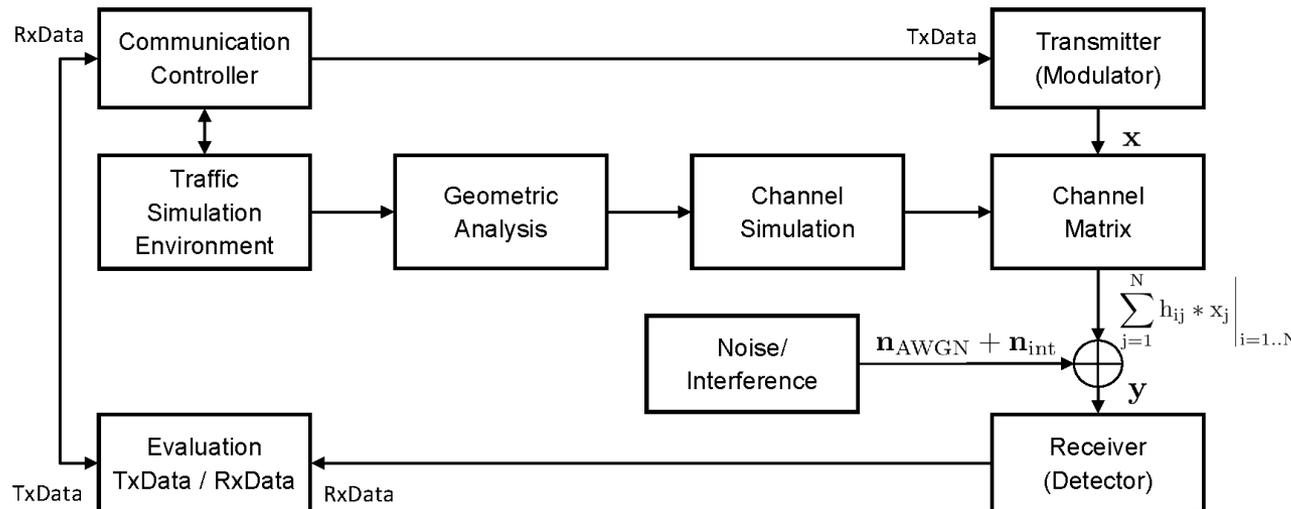
- Integrationsfähig in einer Verkehrssimulationsumgebung
- Optimierung von Aspekten bezüglich der Funkkanalsimulation, des PHY und des MAC
- Geringe Komplexität, hohe Genauigkeit

## Simulationssystem: Lösungen

- Schnittstelle für Parameterübergabe von Verkehrssimulationsumgebungen
- Modulares Konzept für Kanalsimulation, PHY- und MAC- Funktionalitäten
- Zwei Versionen des Simulationssystems
  - Referenz-Simulationssystem mit hoher Genauigkeit
  - Echtzeit-Simulationssystem mit geringer Komplexität

# Referenz-Übertragungssimulation

Die Modelle für die Prozesse der Funkübertragung und die Funktionalitäten des Kommunikationssystems werden detailliert in modularer Art implementiert.



Empfangene Signal

$$y_i = \sum_{j=1}^N (h_{ij} * x_j) + n_i$$

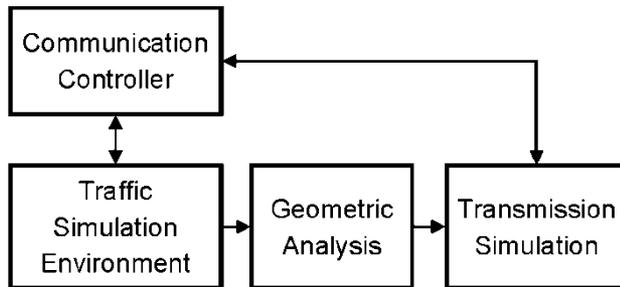
Rauschen und Interferenz

$$n = n_{AWGN} + n_{interference}$$

Das Referenz-Simulationssystem setzt auf maximale Genauigkeit der Simulation des Übertragungsprozesses. Es bildet die Referenz-Basis für die Funkübertragungsuntersuchungen.



Im Echtzeit-Simulationssystem wird die Simulationsgeschwindigkeit durch einen höheren Abstraktionsgrad deutlich erhöht.



Die Prozesse des Übertragungsverfahrens werden statistisch charakterisiert und mit abstrakten Funktionen nachgebildet. Dadurch wird nicht nur eine Verkapselung der Prozesse durchgeführt, sondern viel mehr eine echte Abstraktion und eine Simulation auf einer höheren Ebene.

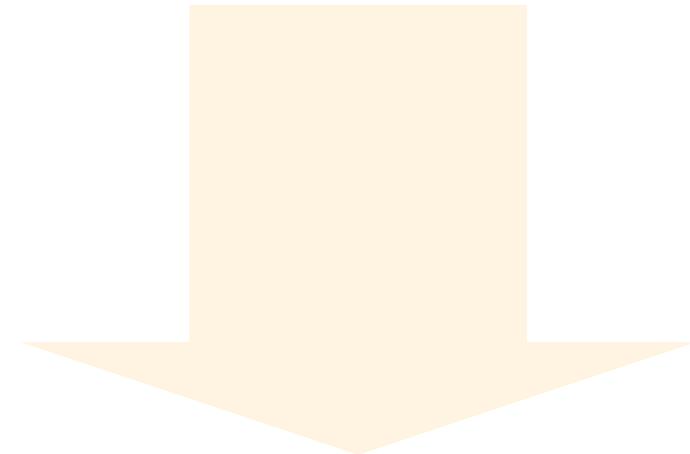
Das Echtzeit-Simulationssystem liefert möglichst schnell statistisch belastbare Aussagen über den Erfolg einer Übertragung.



## Ziel:

Ein Simulationssystem, das das Verhalten eines Car2X Funkkommunikationssystems, basierend auf dem IEEE 802.11p Standard, zuverlässig reproduziert.

- Channel Sounder
- Funkkanalmessungen
- Funkkanalmodellierung
- Funksystemsimulation



## Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

**Untersuchung und Simulation der  
Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation für  
kooperative Sicherheitssysteme**

Panagiotis Paschalidis, Kim Mahler,  
Mike Wisotzki, Andreas Kortke

Heinrich Hertz Institut