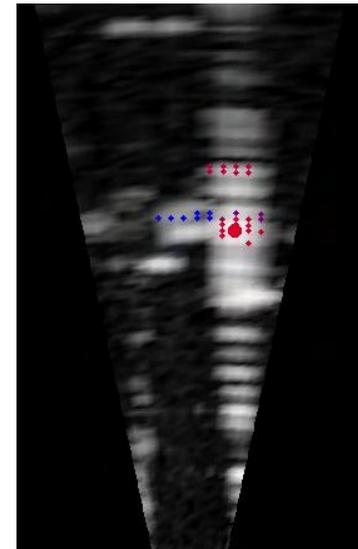


# DAIMLER

## Radarinterferenzbasierte Höhenschätzung von Objekten des Fahrumfeldes

Fabian Diewald





## Inhalt

- **Einführung und Motivation**
- Radarinterferenzmuster
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisse aus Realdaten
- Weitere Schritte



# Einführung und Motivation

Kontinuierlich **sinkende Verkehrsofferzahlen** dank **passiver und aktiver Sicherheitssysteme** während der letzten Jahrzehnte

passive Sicherheitssysteme



aktive Sicherheitssysteme



1959: Dreipunktsicherheitsgurt

1959: Knautschzone

1981: Airbag

1987: Gurtstraffer

v. a. bei aktiven Sicherheitssystemen  
großes Entwicklungspotential →

1978: Elektronisches Antiblockiersystem (ABS)

1995: Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP®)

1997: Bremsassistent (BAS)

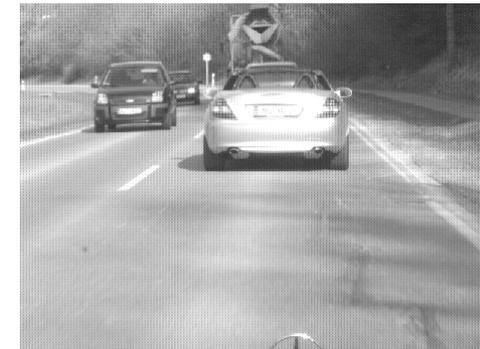
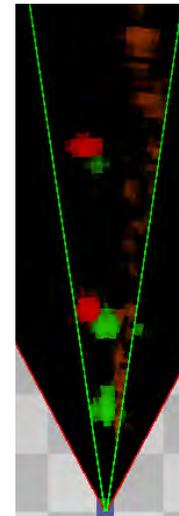
2006: PRE-SAFE®-Bremsen

????: ...

stetige  
Zunahme  
der  
Anfor-  
derungen  
an die  
Umfeld-  
erfassung

## Einführung und Motivation

- Aktive Sicherheitssysteme wie Notbremsassistenten benötigen **hohe Objektsicherheit** stehender Hindernisse
- Radarsensorik bietet hierfür viele Vorteile, u. a.:
  - + exakte Entfernungsmessung
  - + direkte Geschwindigkeitsmessung
  - + hohe Witterungsrobustheit
  - + „Hindurchsehen“ durch andere Objekte
- Jedoch Problem der **schlechten Auflösung in Azimut**
  - Entscheidung bezüglich Objektrelevanz nicht trivial



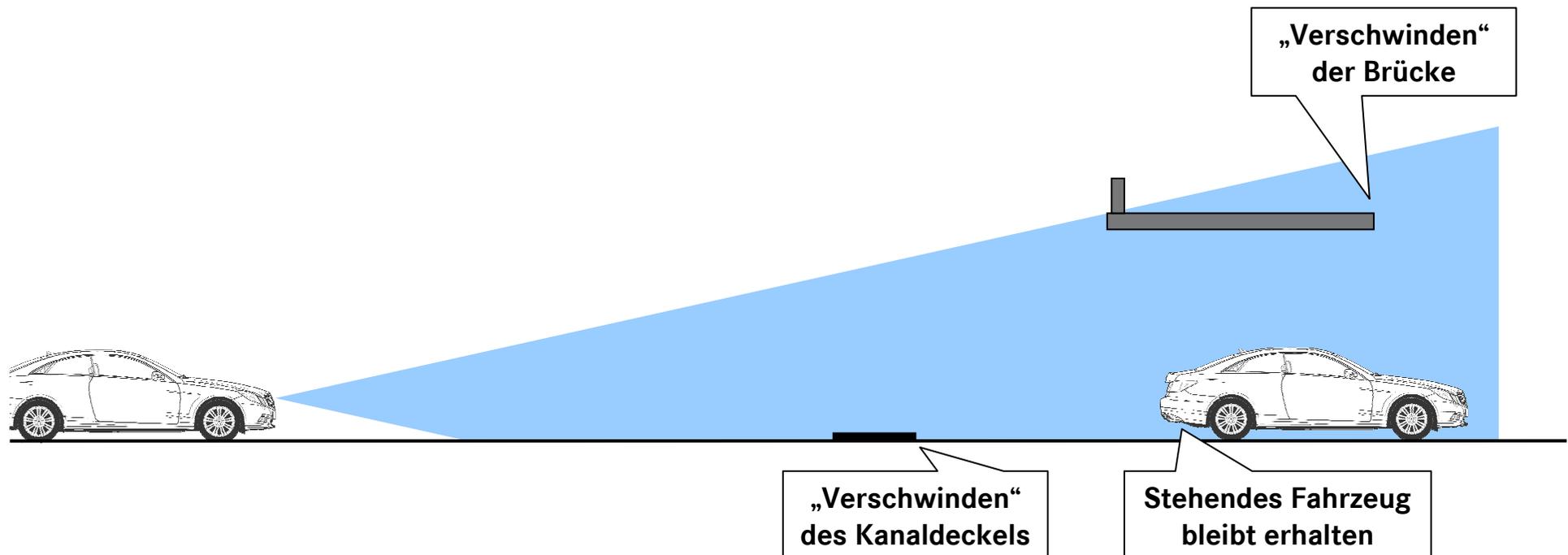
Brücke?  
Stehendes  
Hindernis?





## Einführung und Motivation

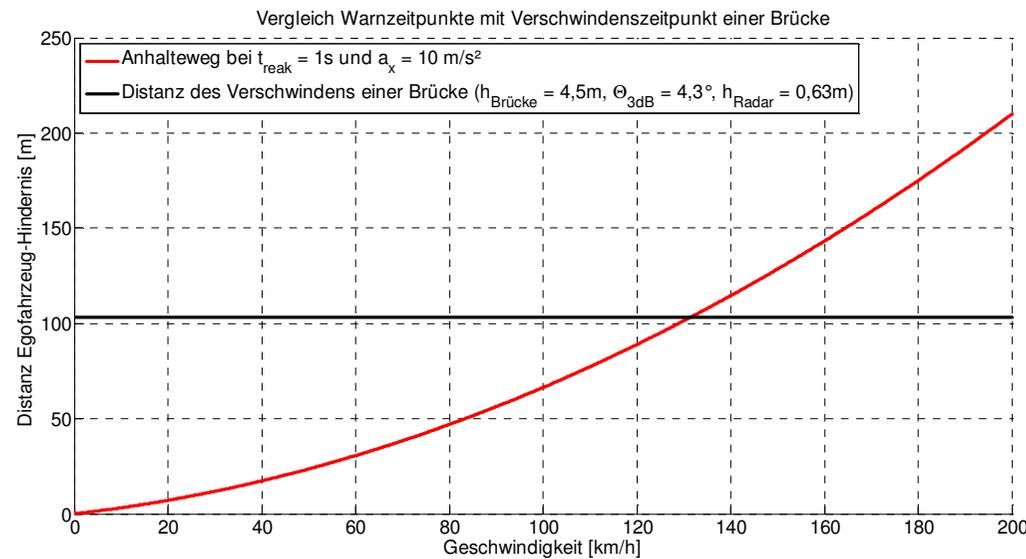
- Entscheidung bezüglich Relevanz eines Objektes u. a. möglich durch
  - Logik: Wird das Objekt von anderen Verkehrsteilnehmern über-/unterfahren?
  - **Höhenschätzung** durch Betrachten des langfristigen Amplitudenverlaufs während der Annäherung („Verschwinden“ von Objekten)





## Einführung und Motivation

- Schwächen dieser Höhenschätzungsstrategie:
  - Information erst spät verfügbar
    - Objekt verschwindet ggf. erst wenn eine Warnung bereits erfolgen hätte müssen



- falls überhaupt quantitativ: lediglich ein (rel. ungenauer) Höhenwert
  - genauere Höheninformationen könnten die Segmentierung von Radarbildern sowie eine Objektklassifikation unterstützen



## Inhalt

- Einführung und Motivation
- **Radarinterferenzmuster**
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisse aus Realdaten
- Weitere Schritte



# Radarinterferenzmuster

## Prinzip der Interferenzmusterentstehung

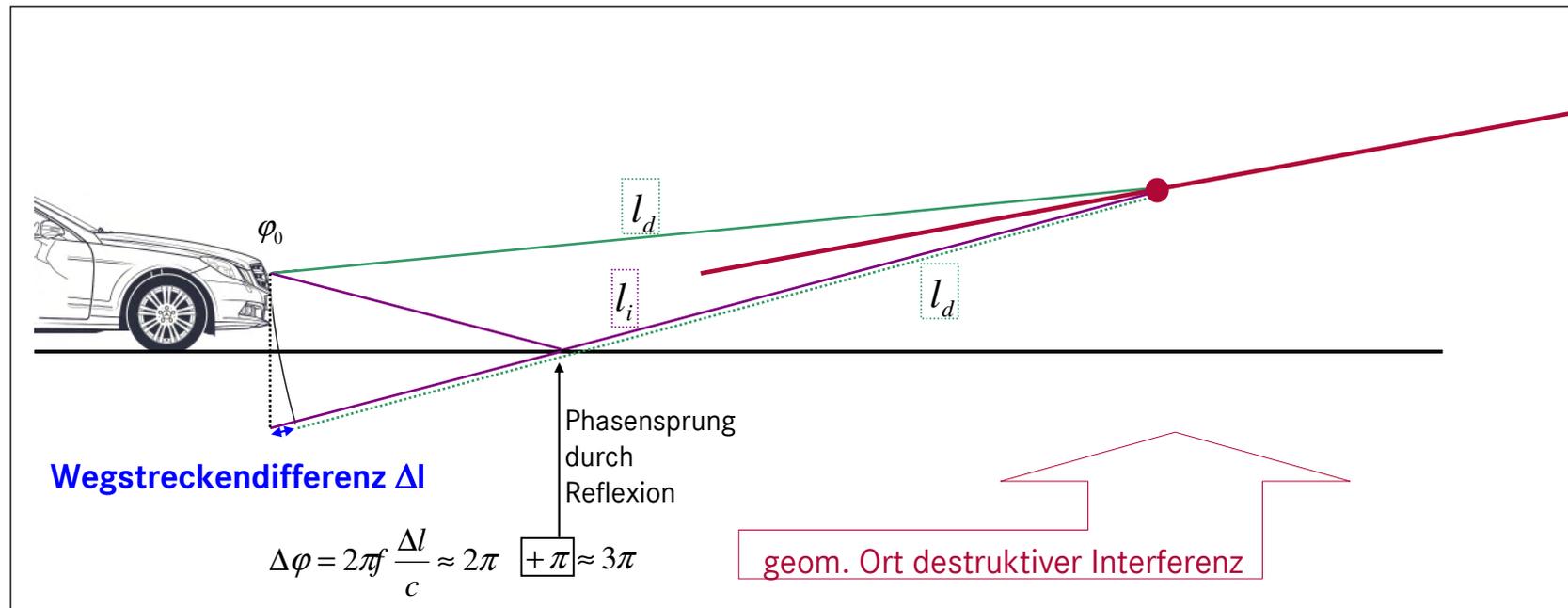
Phasendifferenz  $\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i|$  des direkten und des indirekten Pfades:

$$\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i| \approx 2n \cdot \pi$$

→ konstruktive Interferenz

$$\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i| \approx (2n + 1) \cdot \pi$$

→ destruktive Interferenz





# Radarinterferenzmuster

## Prinzip der Interferenzmusterentstehung

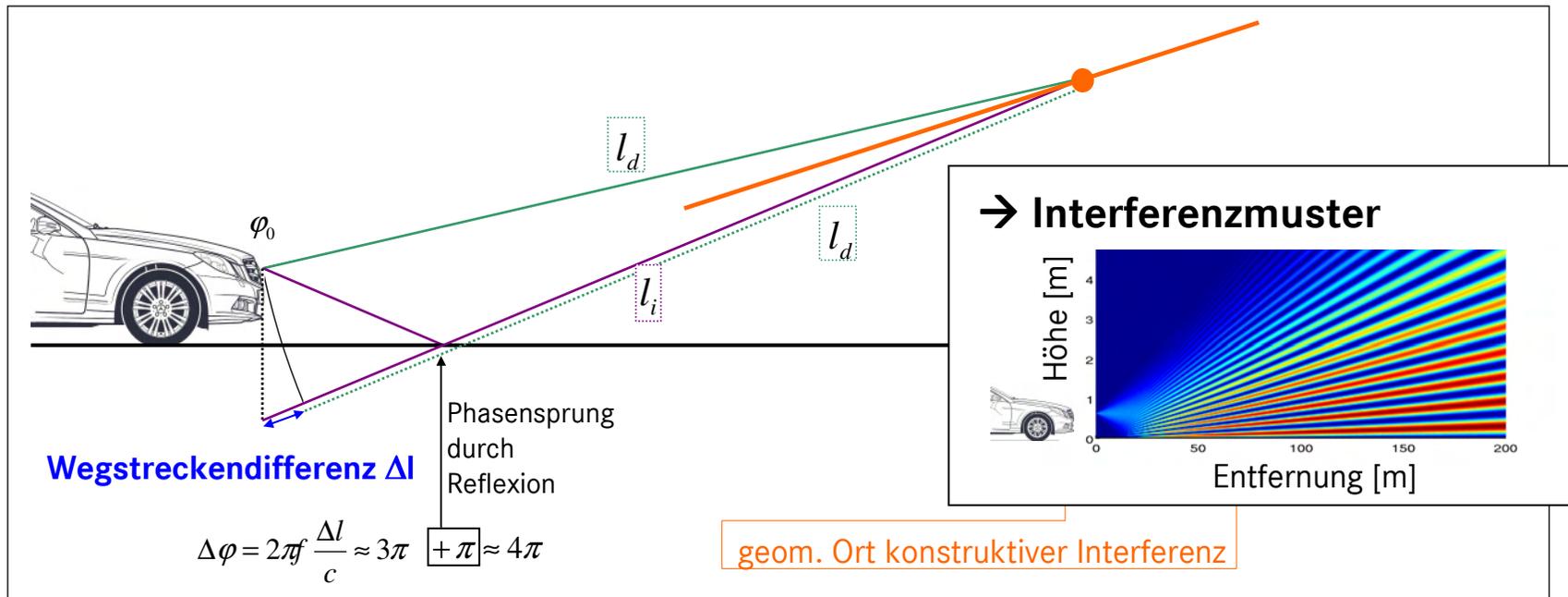
Phasendifferenz  $\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i|$  des direkten und des indirekten Pfades:

$$\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i| \approx 2n \cdot \pi$$

→ konstruktive Interferenz

$$\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i| \approx (2n + 1) \cdot \pi$$

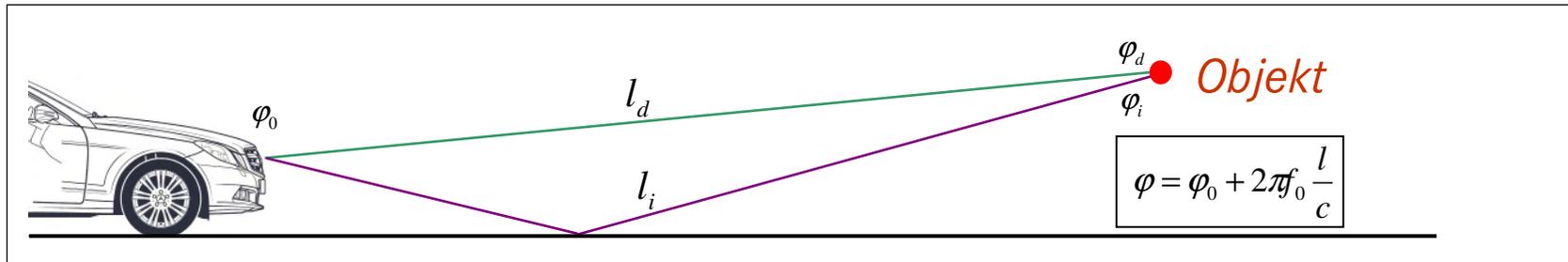
→ destruktive Interferenz



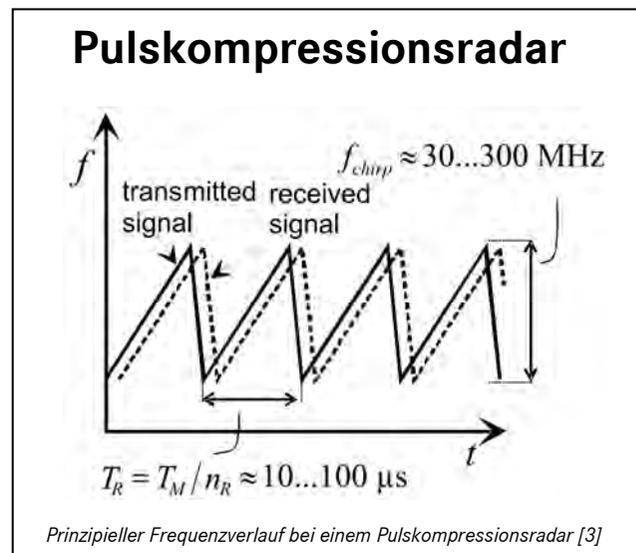


# Radarinterferenzmuster

Prinzip der Interferenzmusterentstehung bei konstanter Frequenz



Radarsysteme jedoch oft mit veränderlicher Frequenz, z.B.:

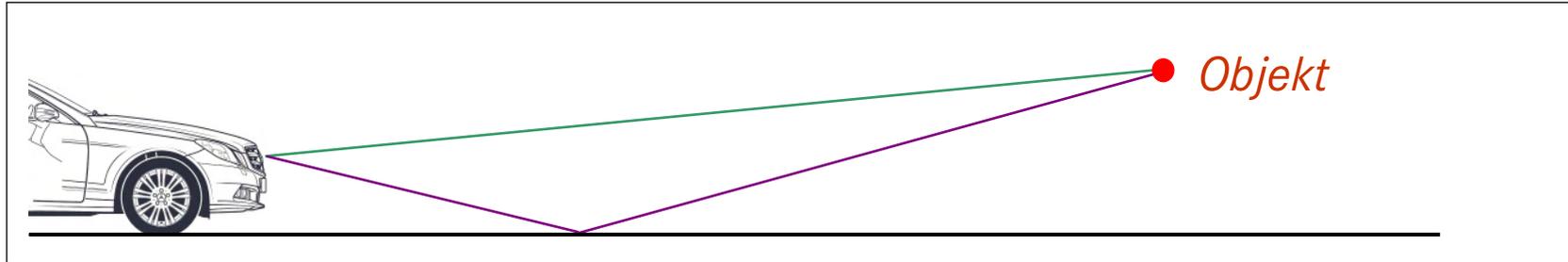
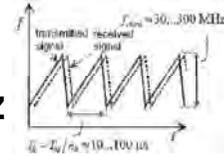


[3] H. Winner (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme; Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009



# Radarinterferenzmuster

Prinzip der Interferenzmusterentstehung bei linear ansteigender Frequenz

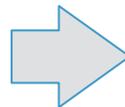


$$f(l) = f_0 - \dot{f} \frac{l}{c}$$

Problem:

Phasendifferenz wird bei vorhandener Wegstreckendifferenz auch durch Frequenzänderung beeinflusst

$$\varphi = \varphi_0 + 2\pi f_0 \frac{l}{c}$$

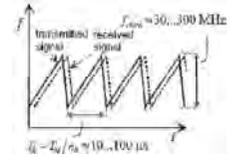


$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \int_0^l \frac{2\pi f(l_i)}{c} dl_i \\ &= \varphi_0 + \frac{2\pi}{c} \left( f_0 l - \dot{f} \frac{l^2}{2c} \right) \end{aligned}$$

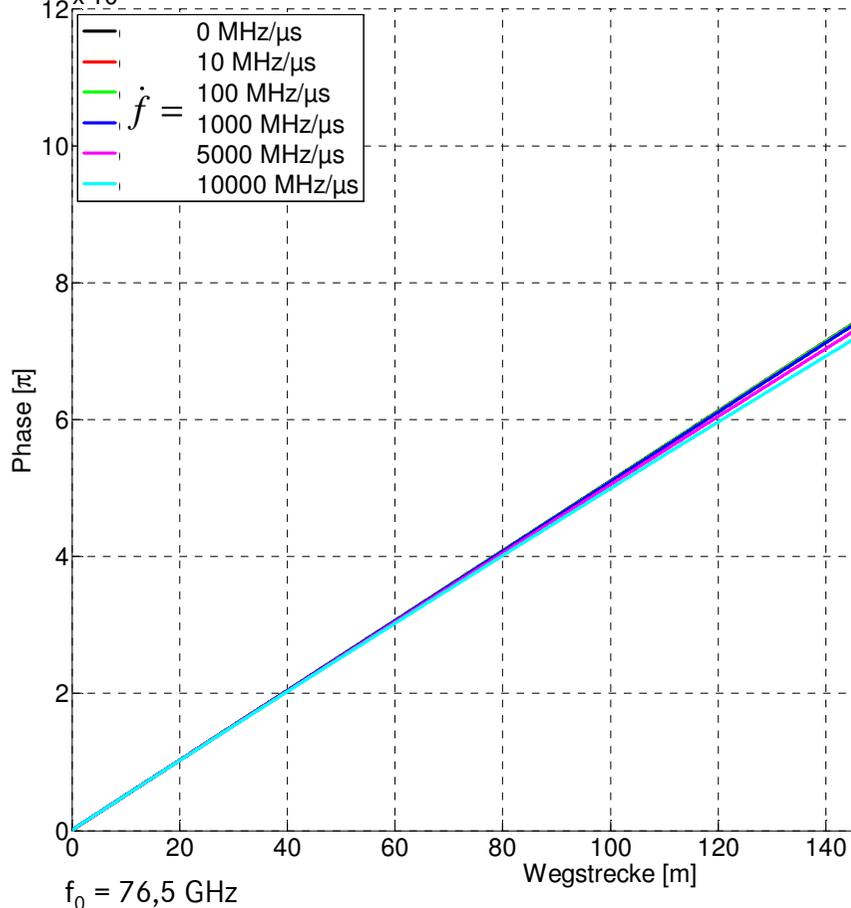
Fragestellung: Werden die Phasendifferenzen bei einem Radar mit einer üblichen Frequenzrampensteigung maßgeblich verschoben, so dass das Interferenzmuster beeinflusst wird?



# Radarinterferenzmuster

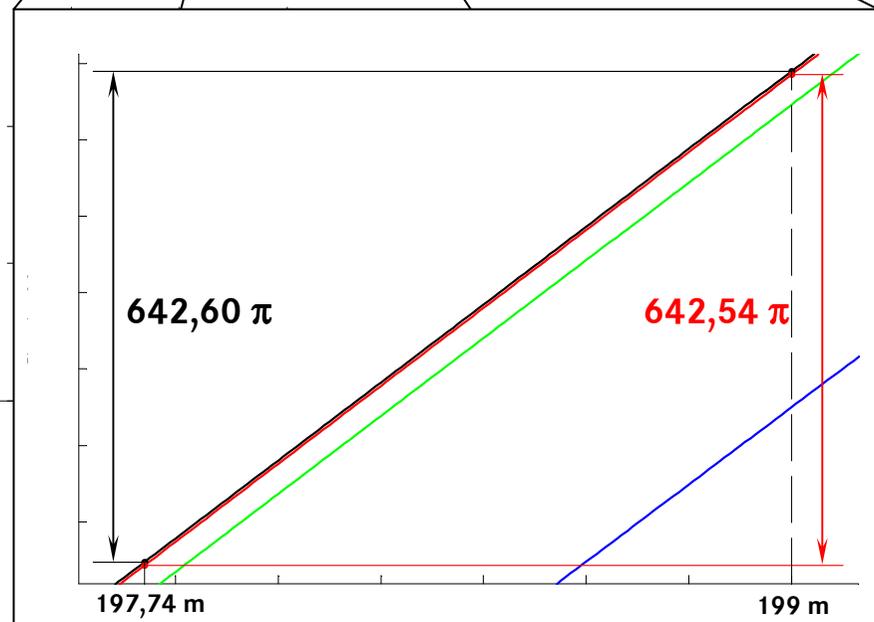


$\times 10^4$  Phase am Radarziel in Abhängigkeit von Wegstrecke und Frequenzrampensteigung



$$\varphi = \varphi_0 + \frac{2\pi}{c} \left( f_0 l - \dot{f} \frac{l^2}{2c} \right)$$

Fragestellung: Werden die Phasendifferenzen bei einem Radar mit einer üblichen Frequenzrampensteigung maßgeblich verschoben, so dass das Interferenzmuster beeinflusst wird?



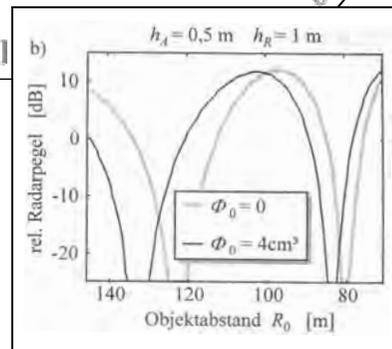
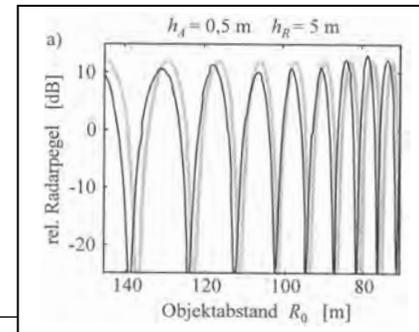
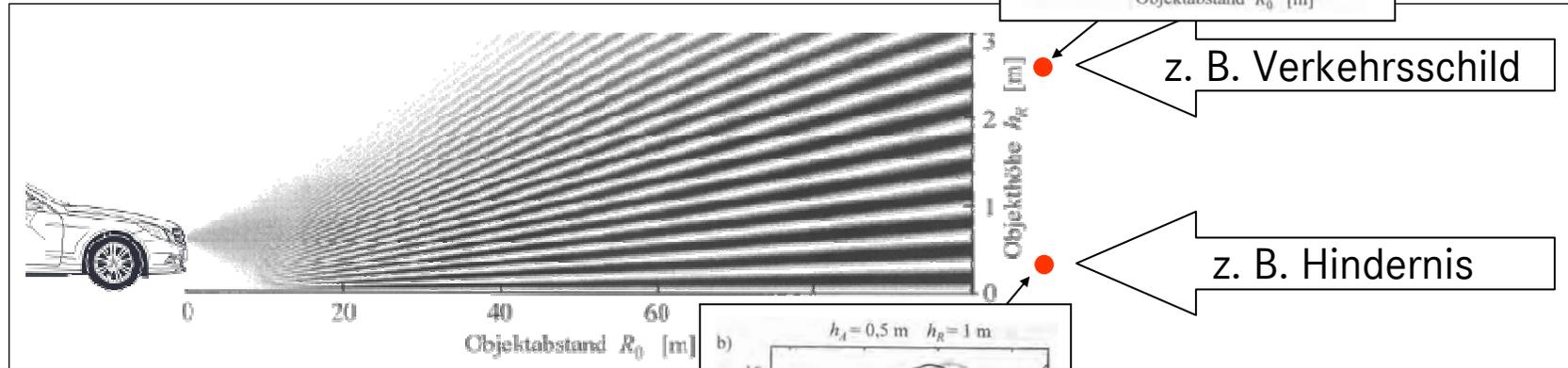


# Radарinterferenzmuster

Schneider, Robert:

Höhenschätzung von Punktzielen durch Amplitudenverlauf [ 1 ]

charakteristisches Interferenzmuster



[ 1 ] R. Schneider: Radarsignal-Verarbeitungsverfahren (Höhenbestimmung aus Signalverarbeitung), Patent 1998



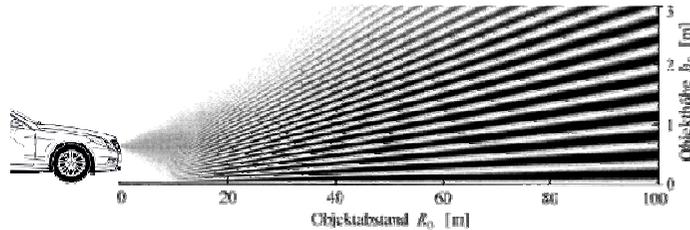
## Inhalt

- Einführung und Motivation
- Radarinterferenzmuster
- **Signalverarbeitung für Höhenschätzung**
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisse aus Realdaten
- Weitere Schritte



# Signalverarbeitung für Höhenschätzung

## Formel für interferenzbeeinflusste Empfangsleistung [2]



- $P_r$ : Empfangsleistung
- $P_s$ : Sendeleistung
- $G$ : Antennengewinn
- $\lambda$ : Wellenlänge
- $\sigma$ : Rückstreulfläche des Objektes
- $h_s$ : Höhe des Radarsensors
- $h_T$ : Höhe des Objektes
- $r$ : Distanz zum Objekt

$$P_r = \frac{P_s G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \cdot 16 \sin^4 \left( \frac{2\pi h_T h_s}{\lambda r} \right)$$

→ konstant für bestimmte Objekthöhe  $h_T$   
 → Frequenz „ $\omega$ “

→ variabel während der Annäherung  
 → „t“

$$P_r = \frac{P_s G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 r^4} \cdot 16 \sin^4 \left( \frac{2\pi h_T h_s}{\lambda r} \right)$$

→ Schwingung

→ konstant für bestimmte Objekthöhe  $h_T$   
 → Frequenz „ $\omega$ “

→ variabel während der Annäherung  
 → „t“

→ näherungsweise sinusförmige Schwingung konstanter Frequenz auf 1/r-Achse

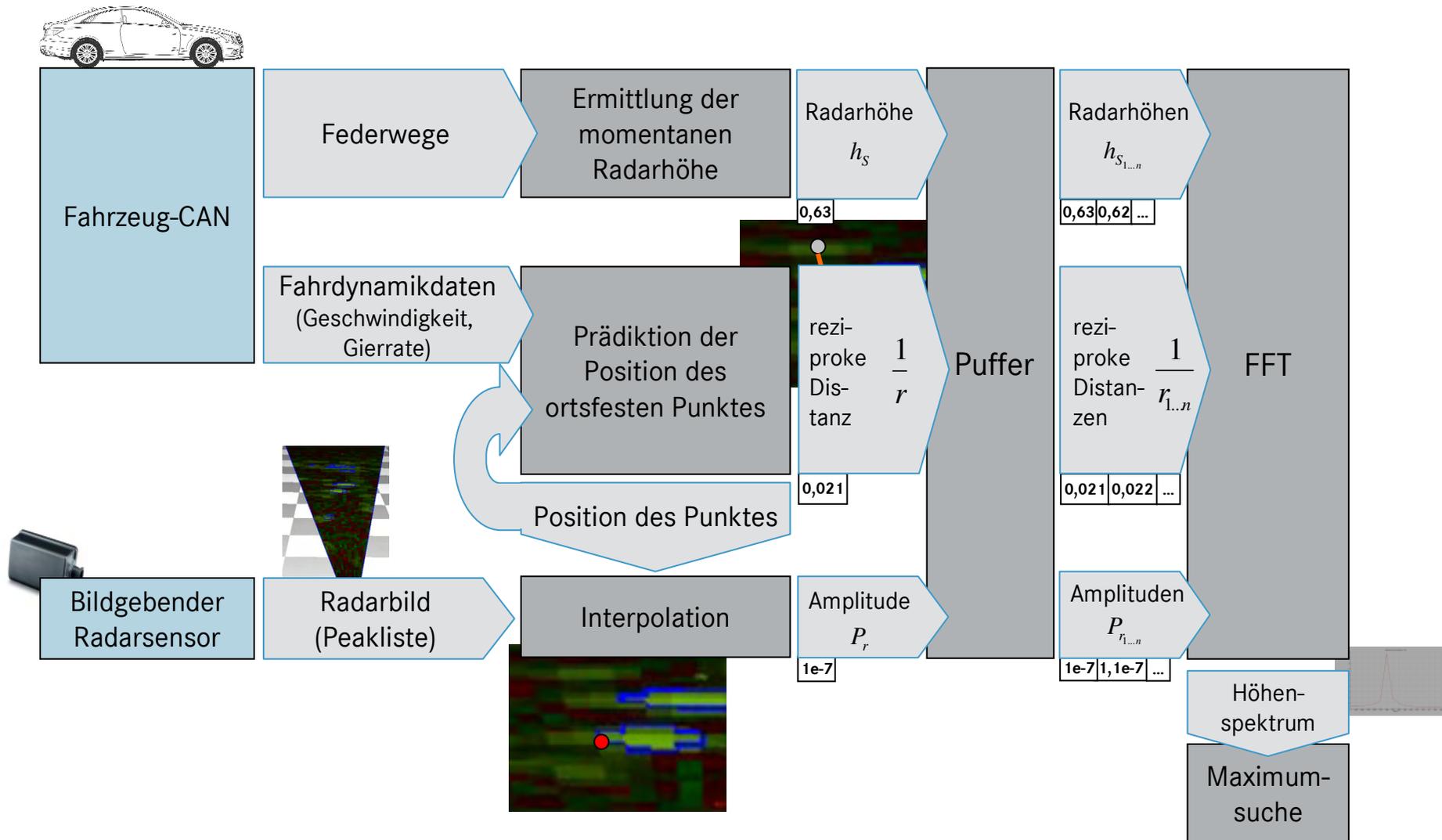
→ näherungsweise sinusförmige Schwingung konstanter Frequenz auf  $h_s/r$ -Achse

→ zur Objekthöhe proportionale Frequenz kann z. B. durch FFT bestimmt werden

[2] M. I. Skolnik: Introduction to Radar Systems, 3rd edition; McGraw-Hill Book Company, New York, 2001



# Signalverarbeitung für Höenschätzung





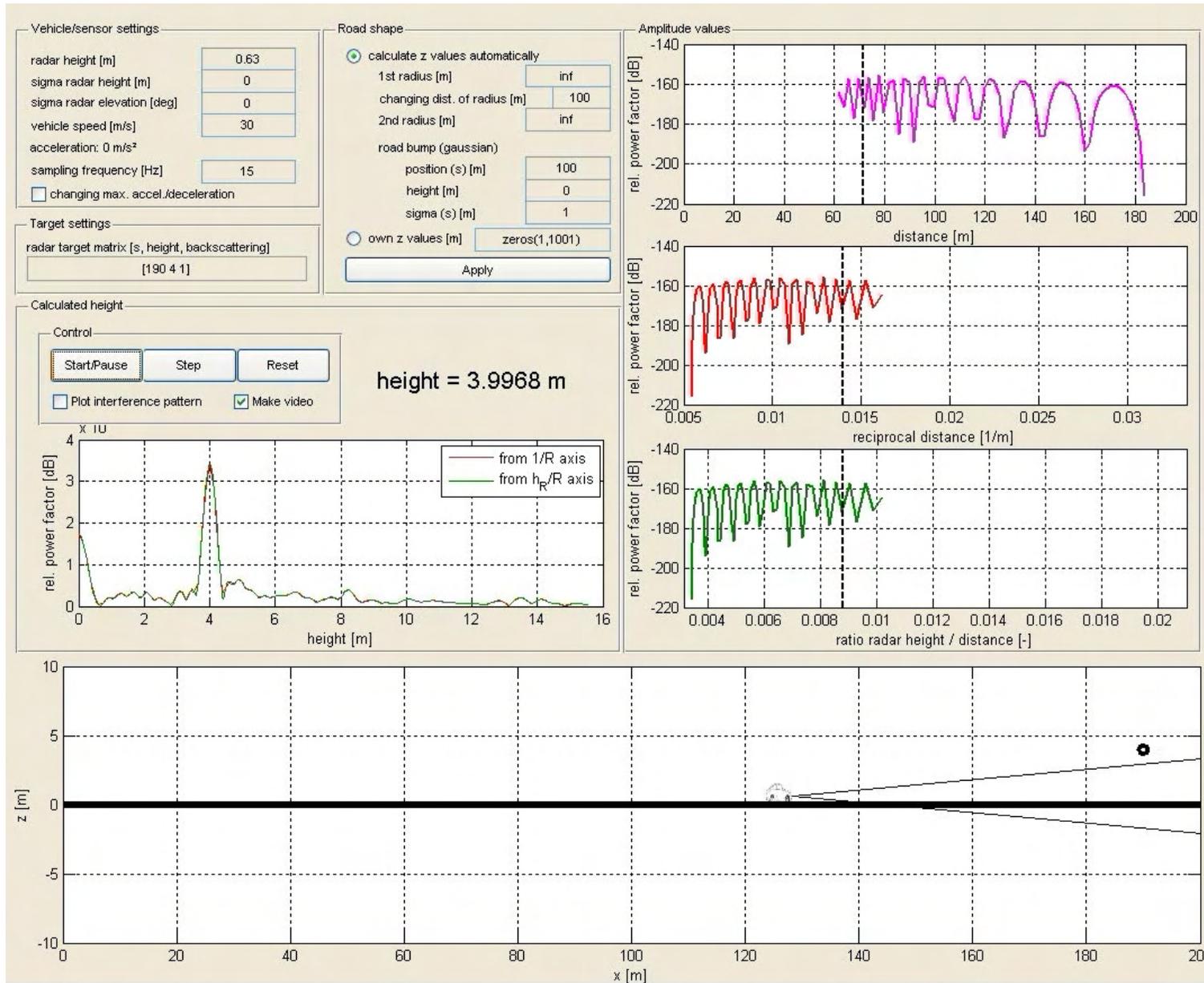
## Inhalt

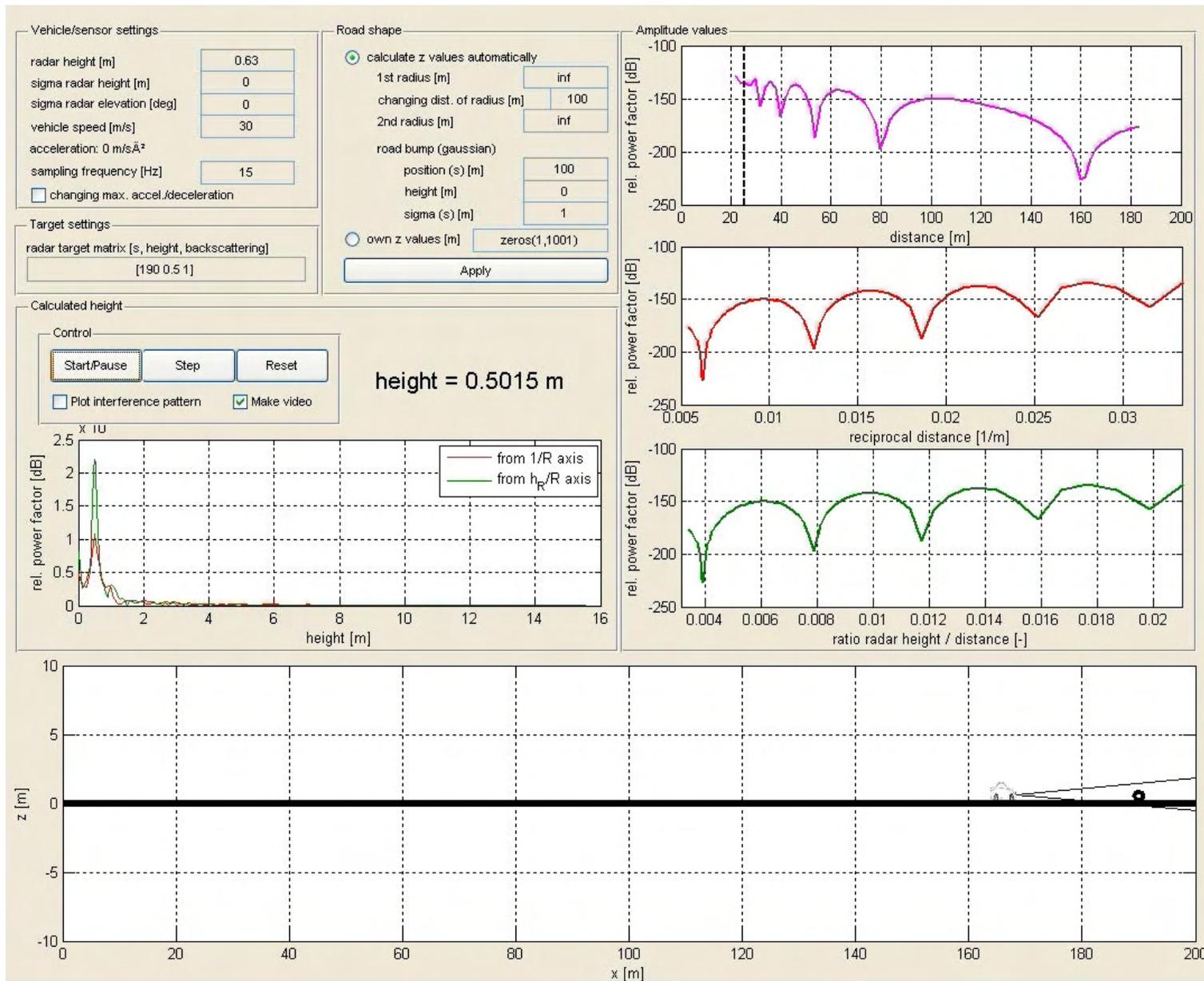
- Einführung und Motivation
- Radarinterferenzmuster
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- **Simulationsergebnisse**
- Ergebnisse aus Realdaten
- Weitere Schritte

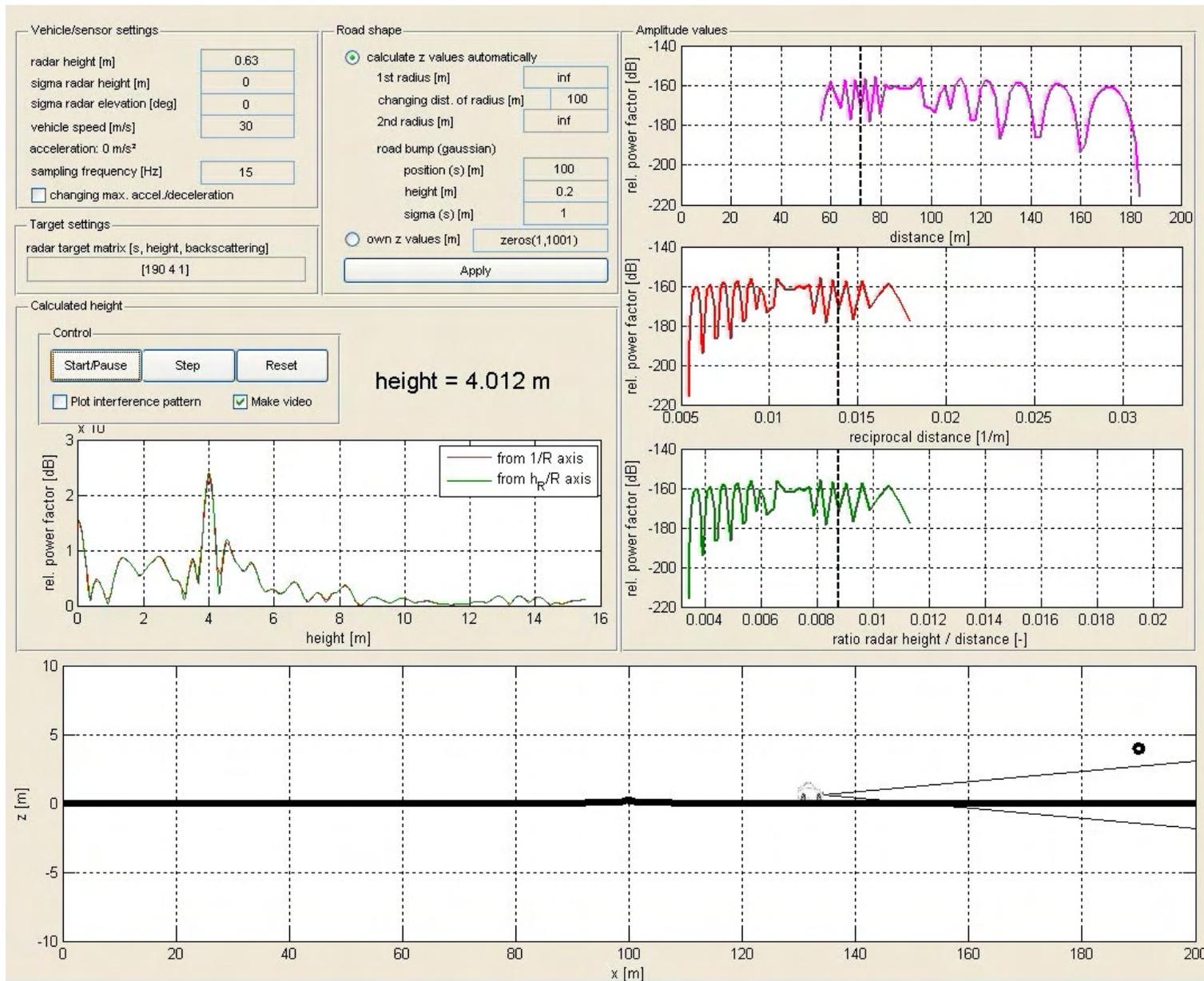


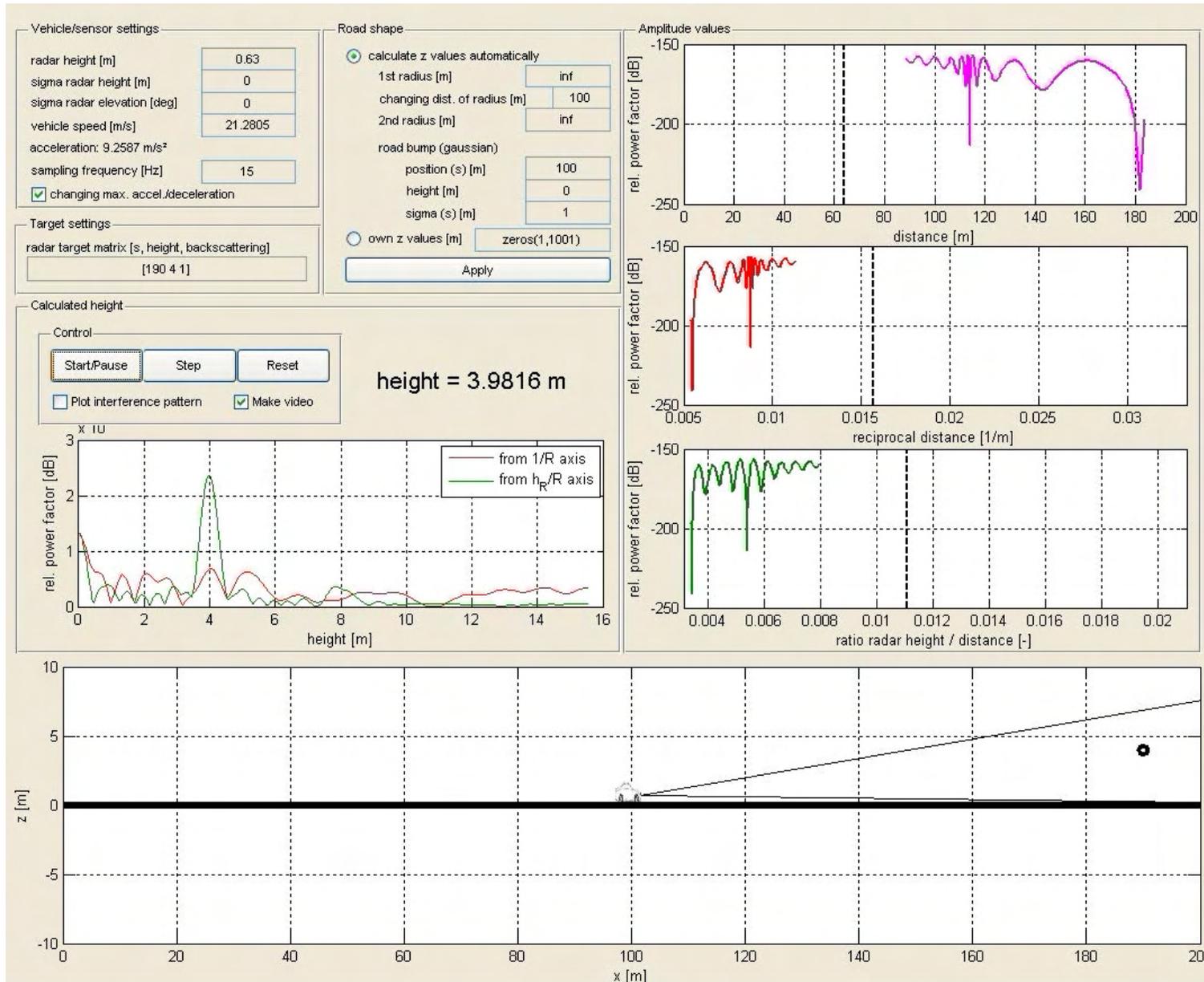
## Simulationsergebnisse

- Punktziel in 4 m Höhe, ebene Fahrbahn
  - Punktziel in 50 cm Höhe, ebene Fahrbahn
  - Punktziel in 4m Höhe, Bodenwelle
  - Punktziel in 4m Höhe, maximale Beschleunigungen
- [Video 1](#)
  - [Video 2](#)
  - [Video 3](#)
  - [Video 4](#)











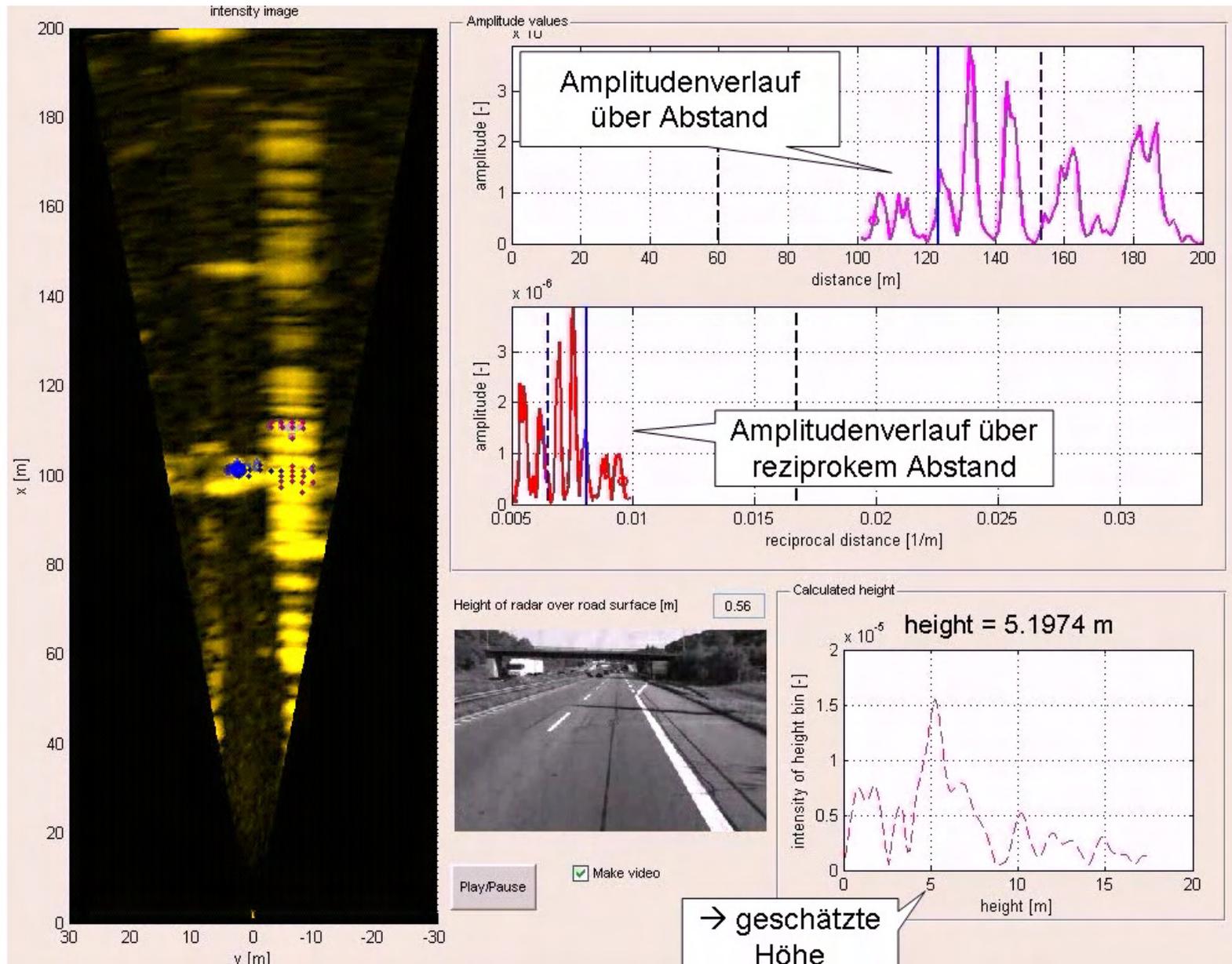
## Inhalt

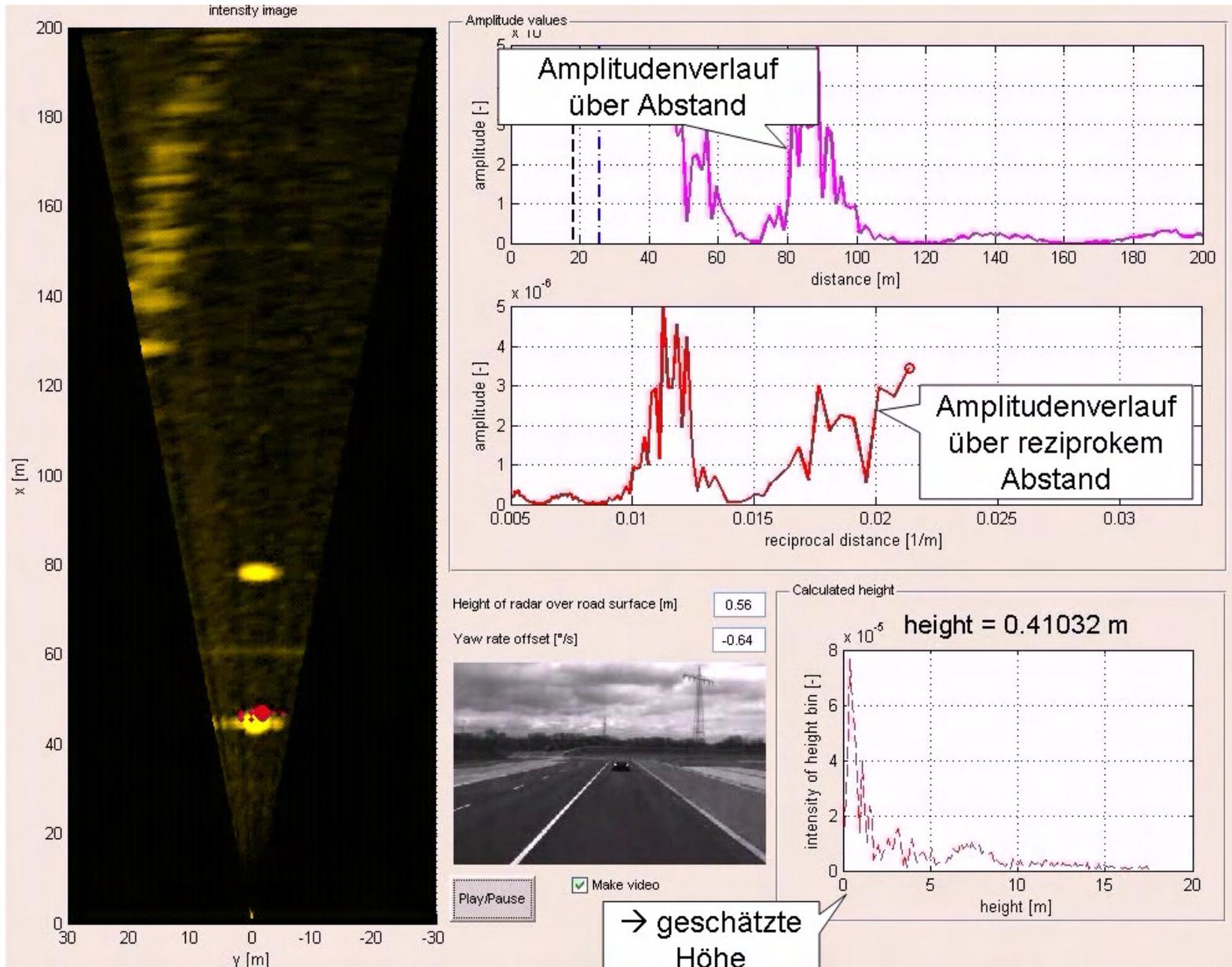
- Einführung und Motivation
- Radarinterferenzmuster
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- Simulationsergebnisse
- **Ergebnisse aus Realdaten**
- Weitere Schritte



## Ergebnisse aus Realdaten

- Reales Verkehrsszenario (Autobahnbrücke) → [Video 5](#)
- Reales Verkehrsszenario (stehendes Fahrzeug) → [Video 6](#)







## Inhalt

- Einführung und Motivation
- Radarinterferenzmuster
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisse aus Realdaten
- **Weitere Schritte**



## Weitere Schritte

- Steigerung der Robustheit der Höhenschätzung
- Untersuchen des Potentials zur
  - Unterstützung der Segmentierung von Radarbildern
  - Klassifikation von Objekten durch Höhe als Merkmal
  - Fusion mit sowie Plausibilisierung von anderen Höhenschätzverfahren
- Evaluierung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

