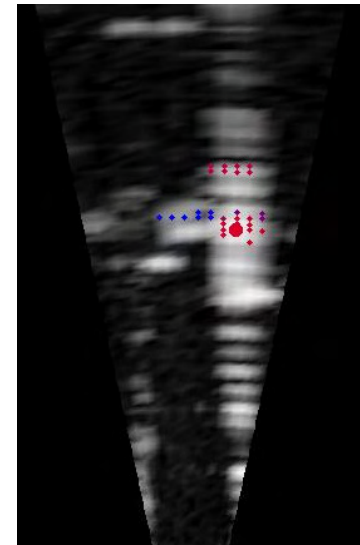


DAIMLER

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



1959: Dreipunktsicherheitsgurt

1959: Knautschzone

1981: Airbag

1987: Gurtstraffer

v. a. bei aktiven Sicherheitssystemen
großes Entwicklungspotential →

aktive Sicherheitssysteme



1978: Elektronisches Antiblockiersystem (ABS)

1995: Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP®)

1997: Bremsassistent (BAS)

2006: PRE-SAFE®-Bremsen

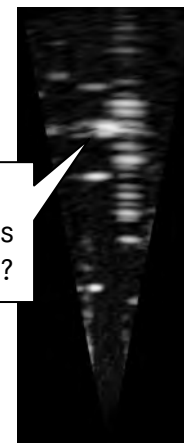
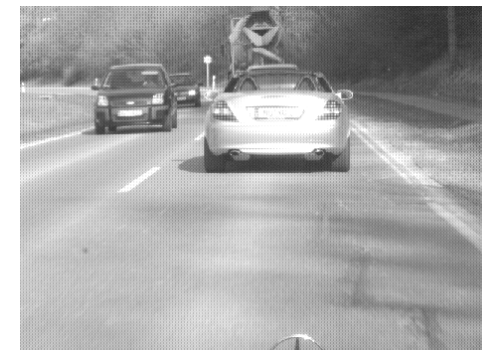
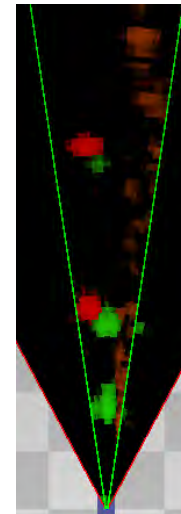
????: ...

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



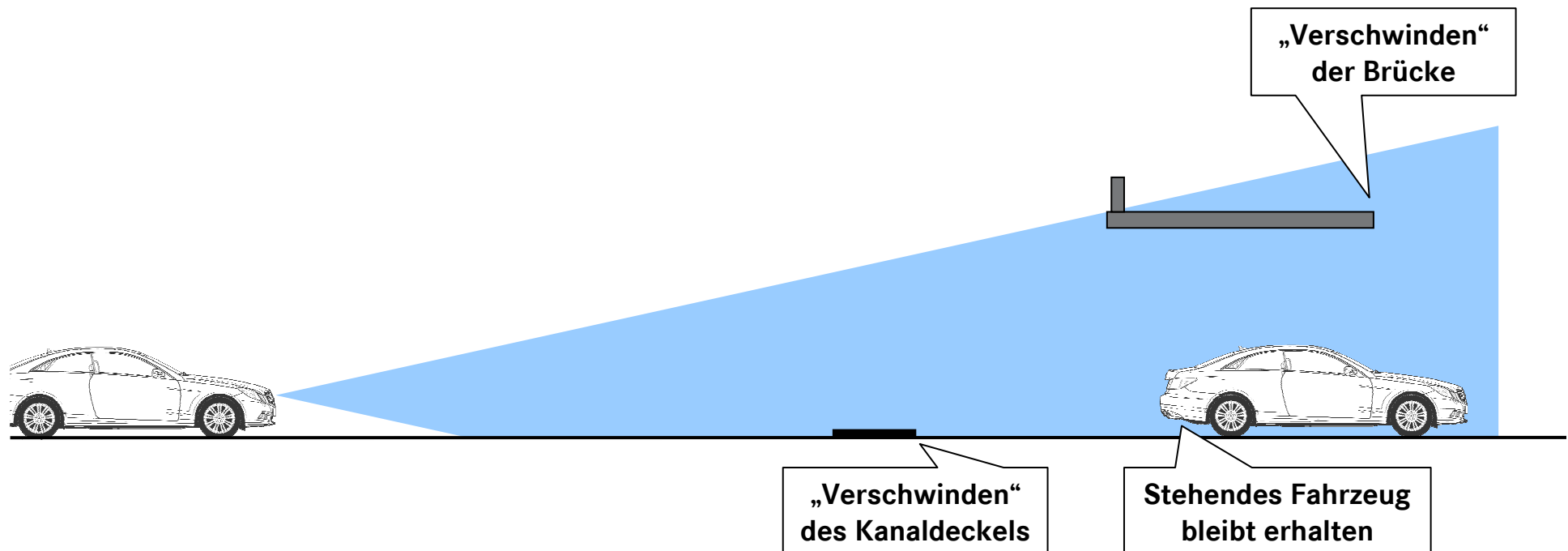
Brücke?
Stehendes
Hindernis?





Einführung und Motivation

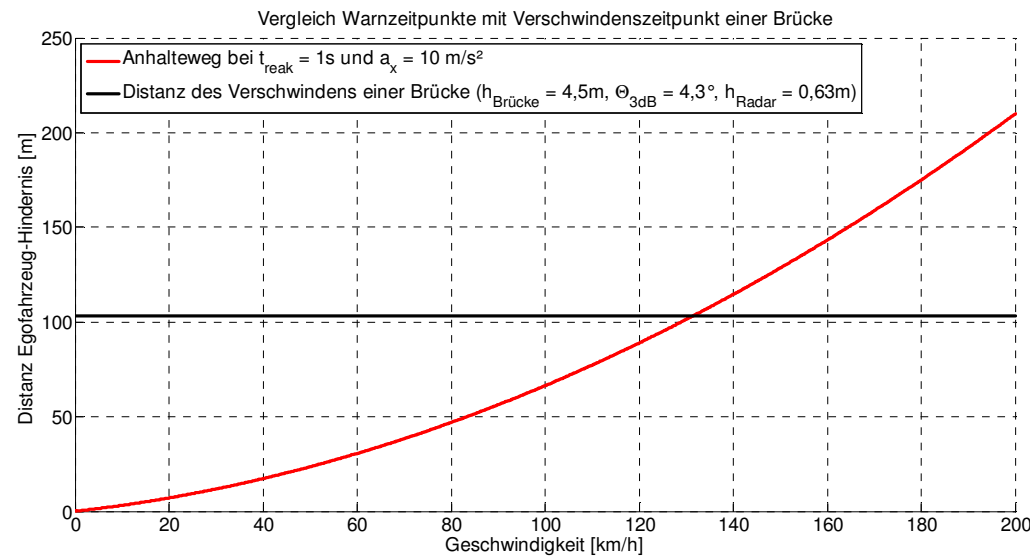
- Entscheidung bezüglich Relevanz eines Objektes u. a. möglich durch
 - Logik: Wird das Objekt von anderen Verkehrsteilnehmern über-/unterfahren?
 - **Höhenschätzung** durch Betrachten des langfristigen Amplitudenverlaufs während der Annäherung („Verschwinden“ von Objekten)





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

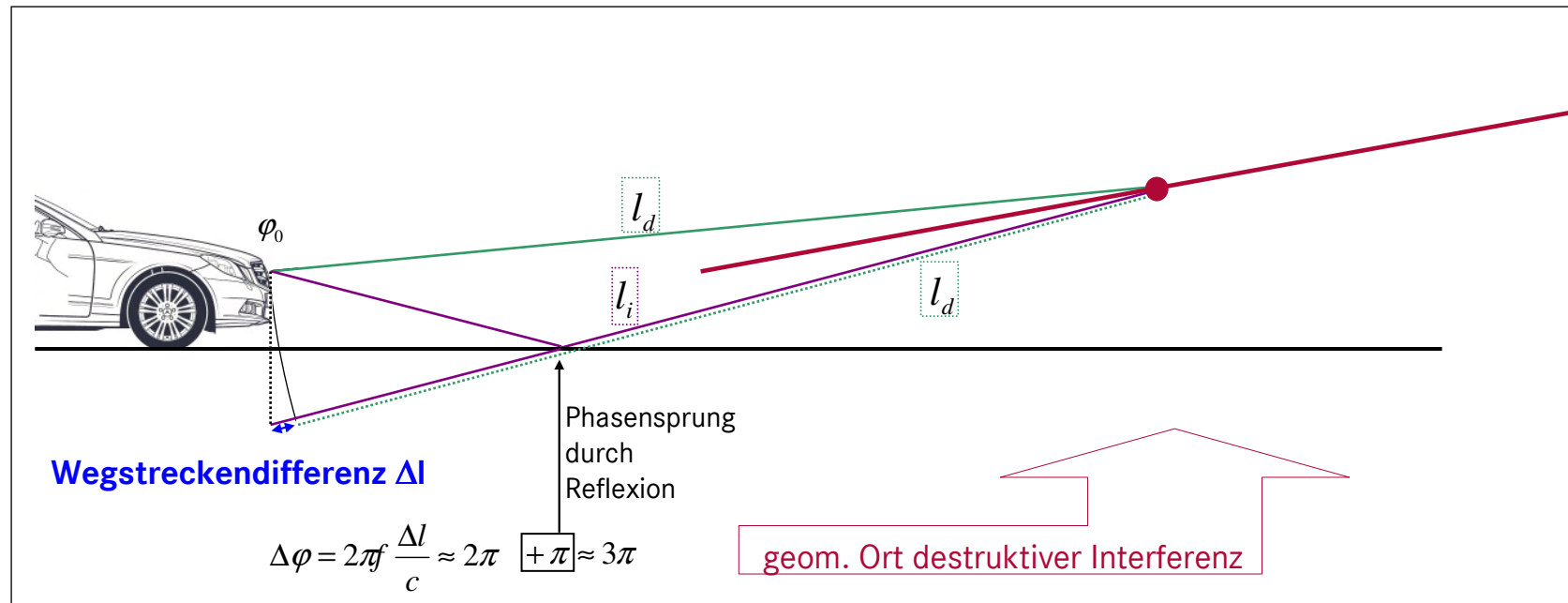
Phasendifferenz $\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i|$ des direkten und des indirekten Pfades:

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

→ konstruktive Interferenz

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

→ destruktive Interferenz





Radarinterferenzmuster

Prinzip der Interferenzmusterentstehung

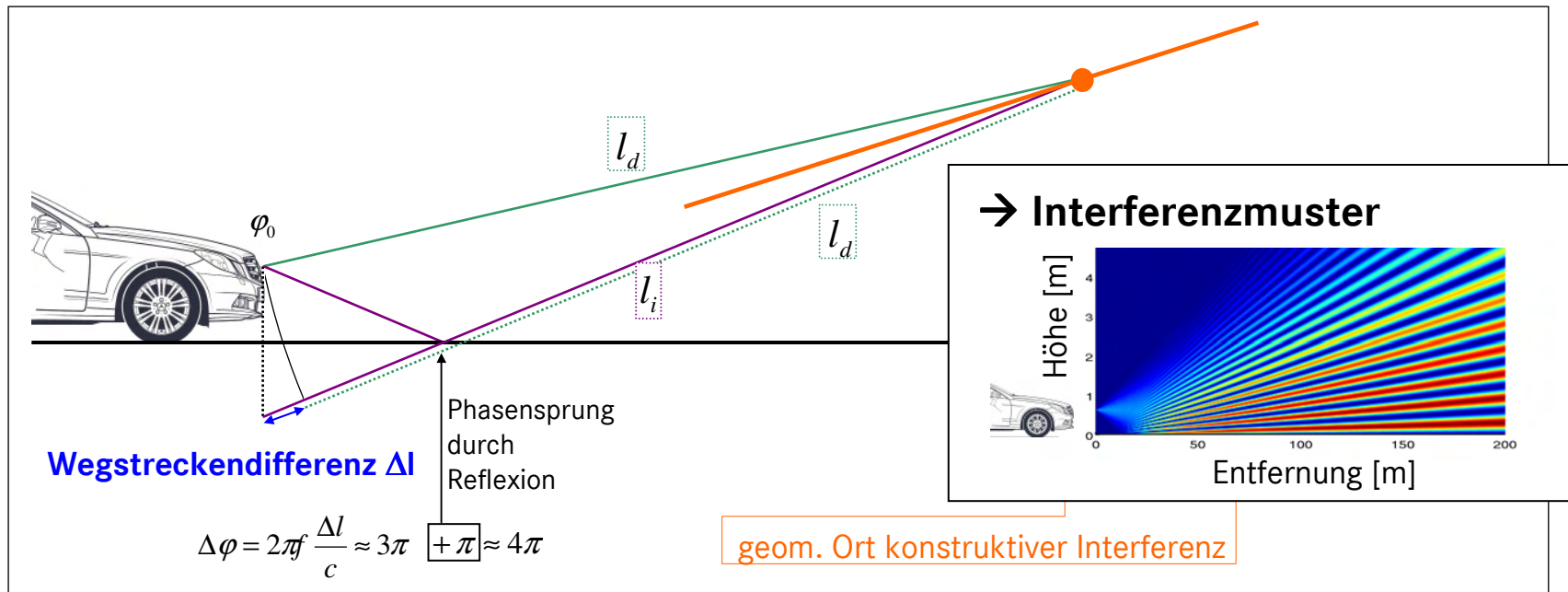
Phasendifferenz $\Delta\varphi = |\varphi_d - \varphi_i|$ des direkten und des indirekten Pfades:

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

→ konstruktive Interferenz

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

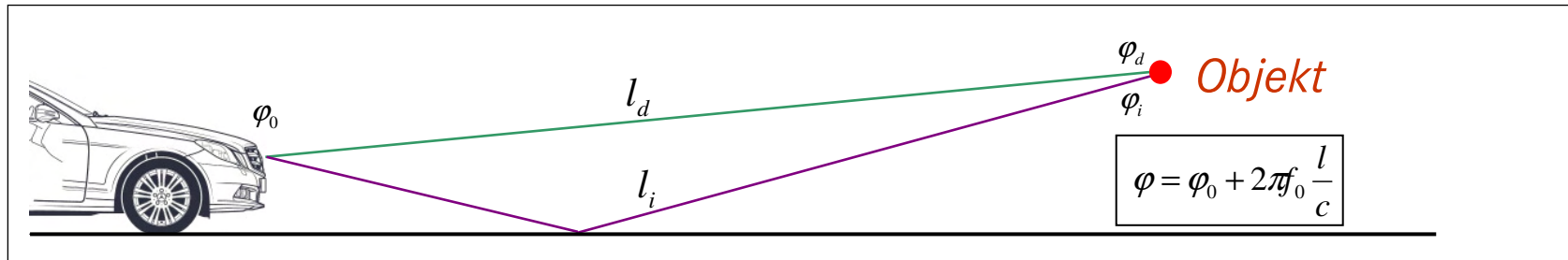
→ destruktive Interferenz



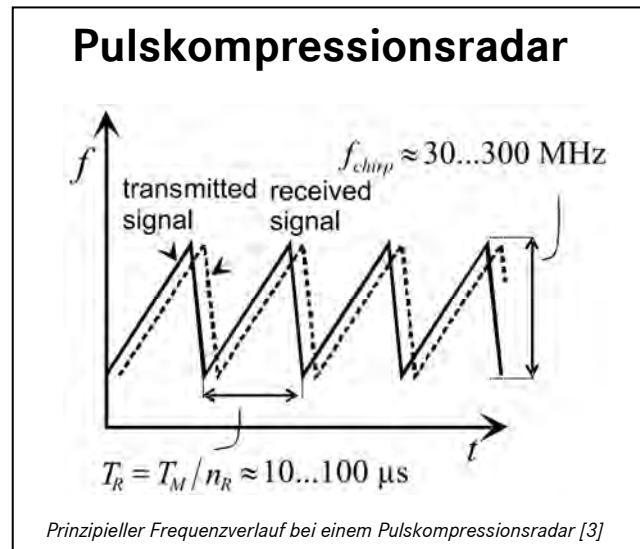


Radarinterferenzmuster

Prinzip der Interferenzmusterentstehung bei konstanter Frequenz



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

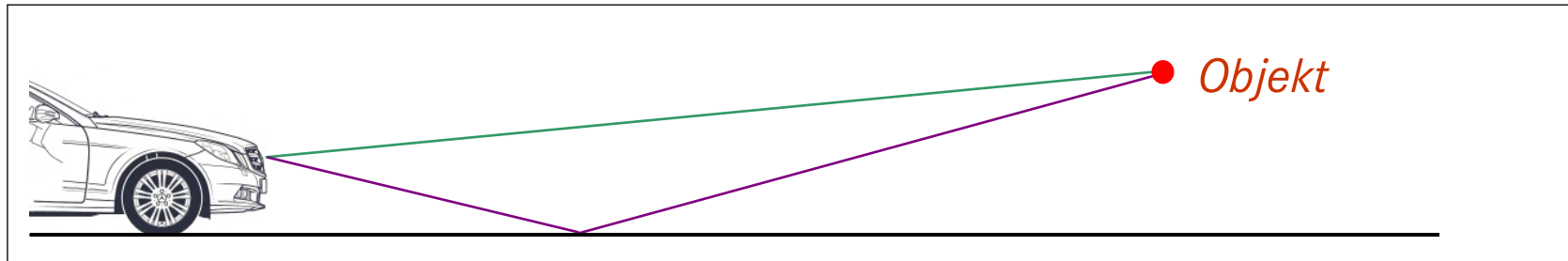
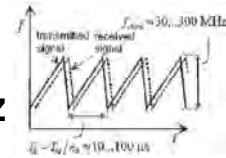


[3] H. Winner (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme; Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009



Radarinterferenzmuster

Prinzip der Interferenzmusterentstehung bei linear ansteigender Frequenz

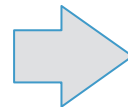


$$f(l) = f_0 - \dot{f} \frac{l}{c}$$

Problem:

Phasendifferenz wird bei vorhandener Wegstreckendifferenz auch durch Frequenzänderung beeinflusst

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

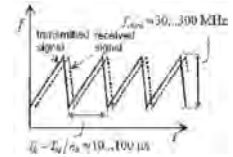


$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \int_0^l \frac{2\pi f(l_i)}{c} dl_i \\ &= \varphi_0 + \frac{2\pi}{c} \left(f_0 l - \dot{f} \frac{l^2}{2c} \right) \end{aligned}$$

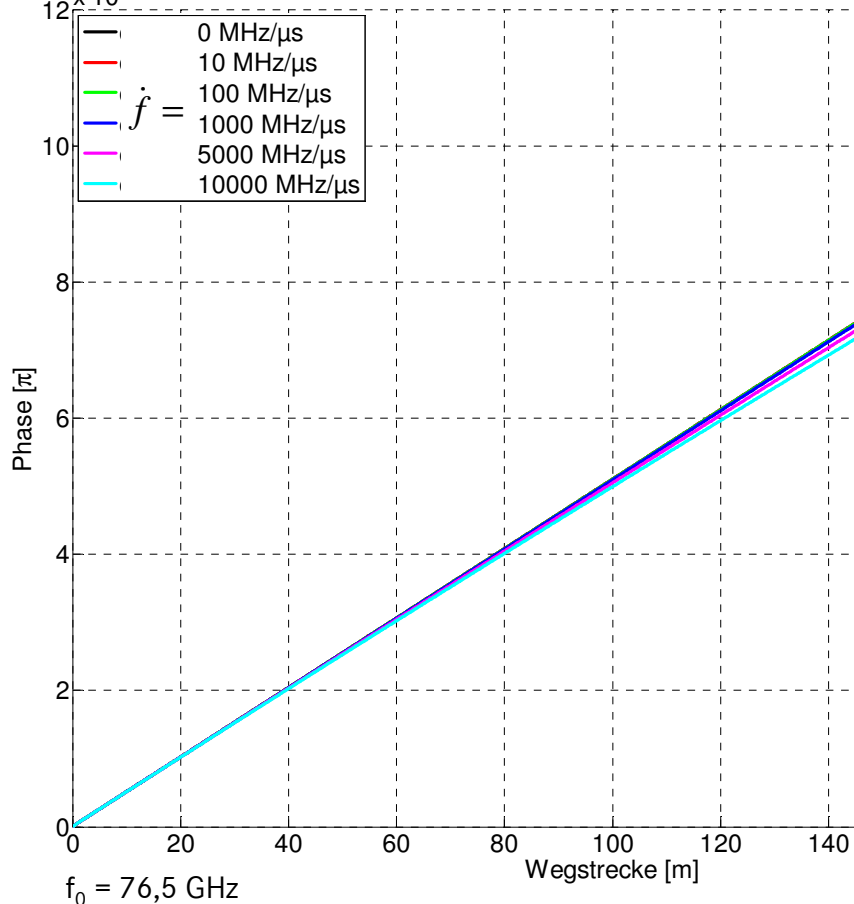
Fragestellung: Werden die Phasendifferenzen bei einem Radar mit einer üblichen Frequenzrampensteigung maßgeblich verschoben, so dass das Interferenzmuster beeinflusst wird?



Radarinterferenzmuster

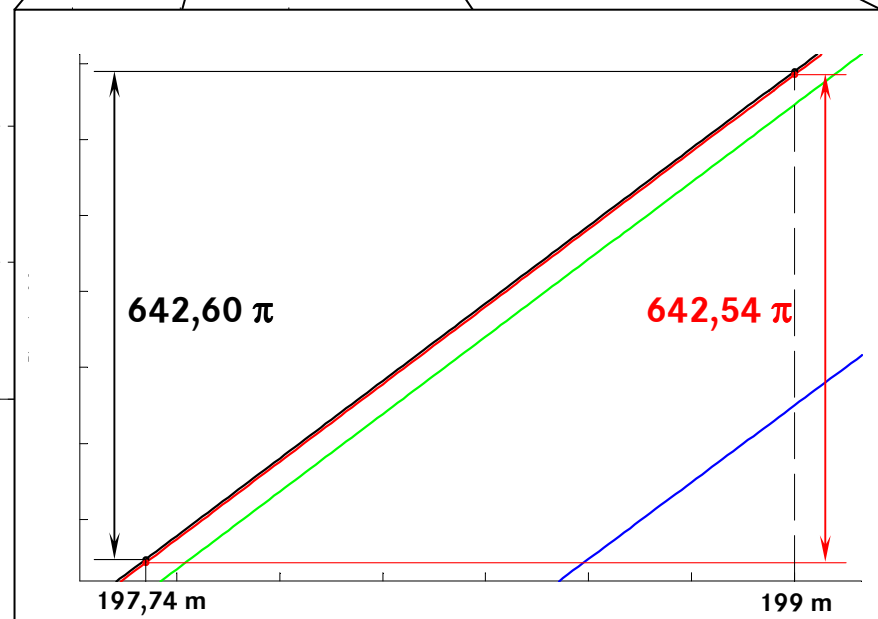


$\times 10^4$ Phase am Radarziel in Abhängigkeit von Wegstrecke und Frequenzrampensteigung



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

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



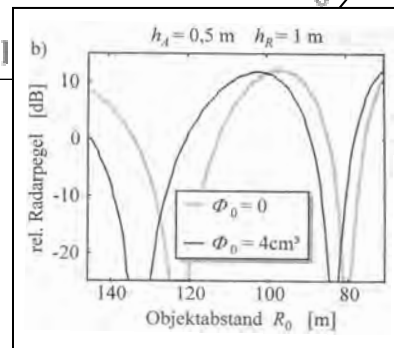
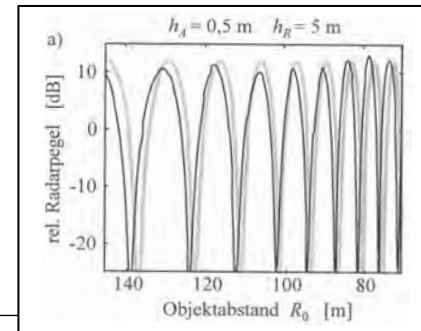
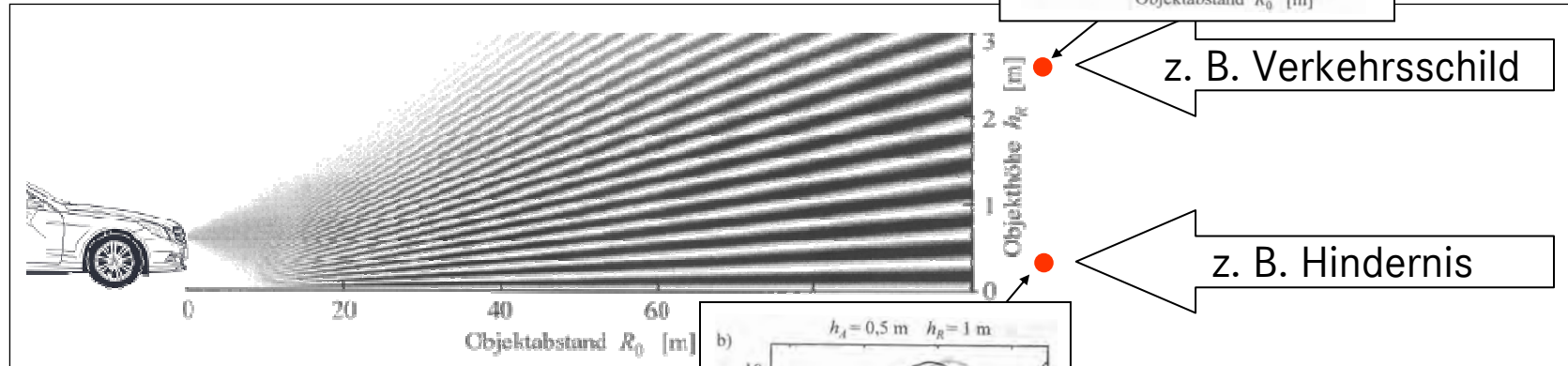


Radarinterferenzmuster

Schneider, Robert:

Höhenschätzung von Punktzielen durch Amplitudenverlauf [1]

charakteristisches Interferenzmuster



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



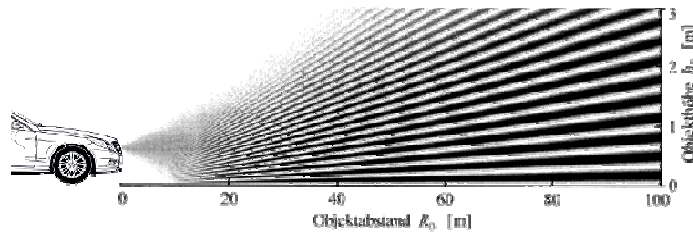
Inhalt

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



Signalverarbeitung für Höenschätzung

Formel für interferenzbeeinflusste Empfangsleistung [2]



- P_r : Empfangsleistung
- P_s : Sendeleistung
- G : Antennengewinn
- λ : Wellenlänge
- σ : Rückstreuläche 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 „ ω “

→ variabel während der Annäherung
 → „ t “

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

→ Schwingung

→ konstant für bestimmte Objekthöhe h_T
 → Frequenz „ ω “

→ variabel während der Annäherung
 → „ t “

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

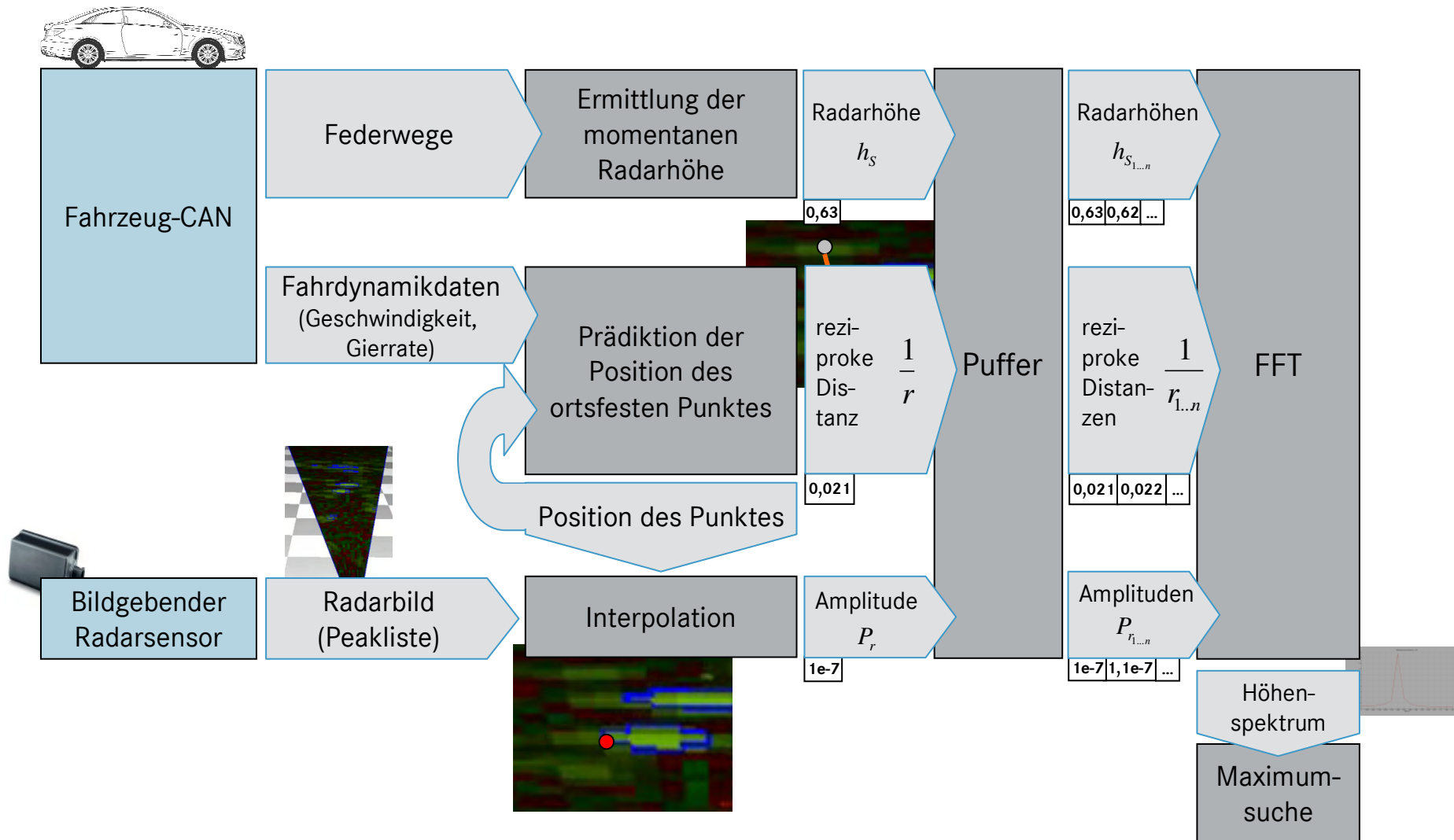
→ näherungsweise sinusförmige Schwingung konstanter Frequenz auf h_S/r -Achse

→ 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





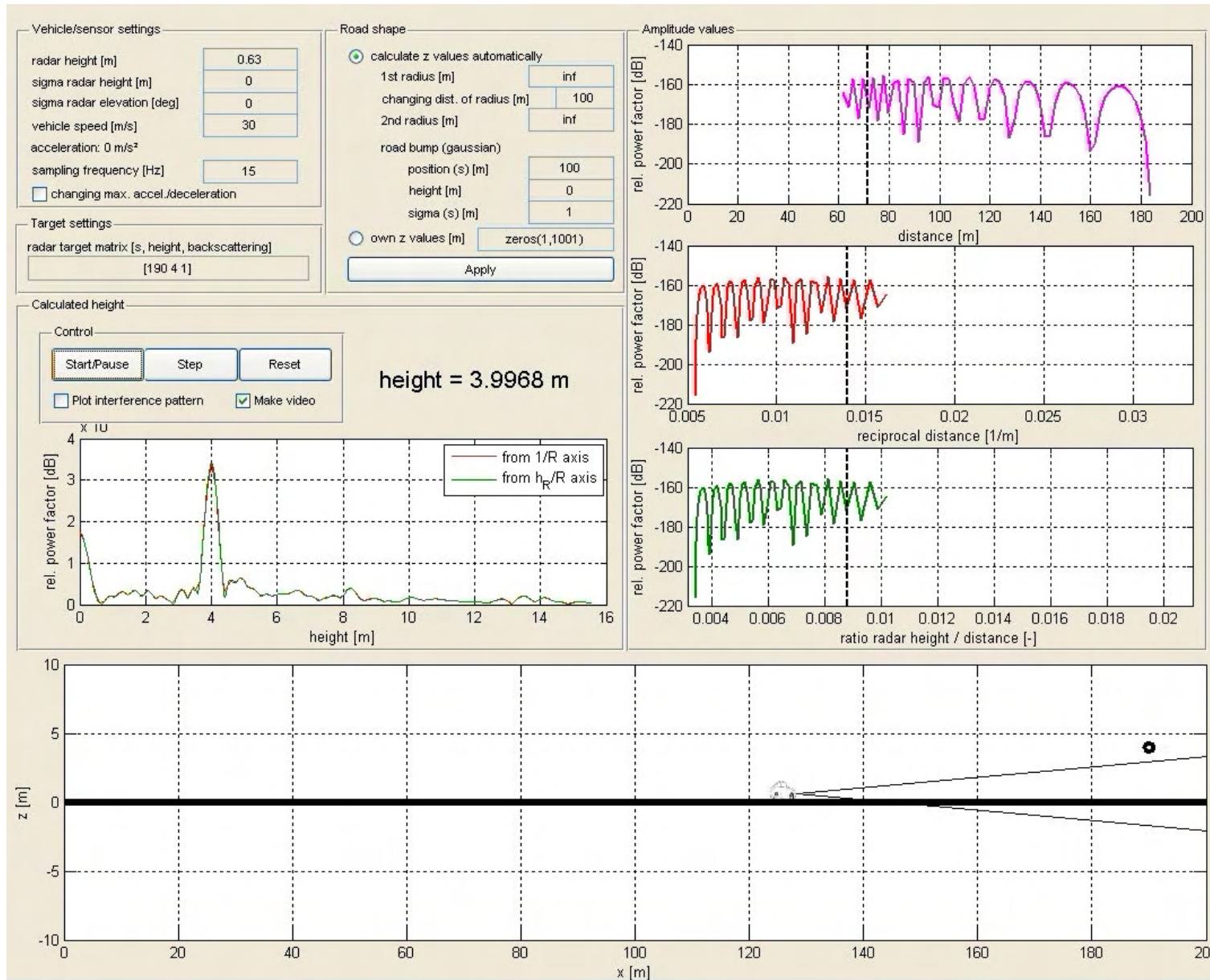
Inhalt

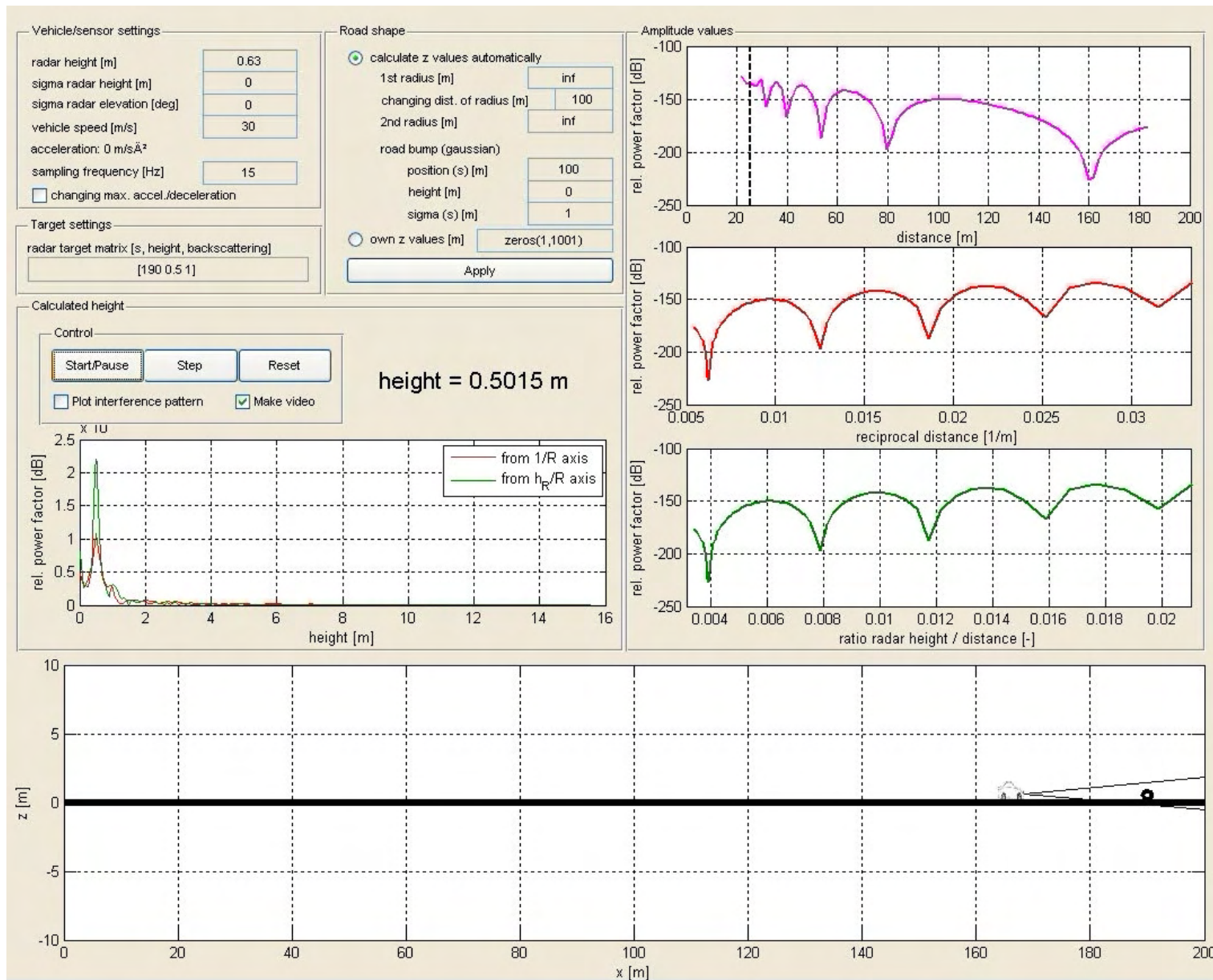
- Einführung und Motivation
- Radarinterferenzmuster
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- **Simulationsergebnisse**
- Ergebnisse aus Realdaten
- Weitere Schritte

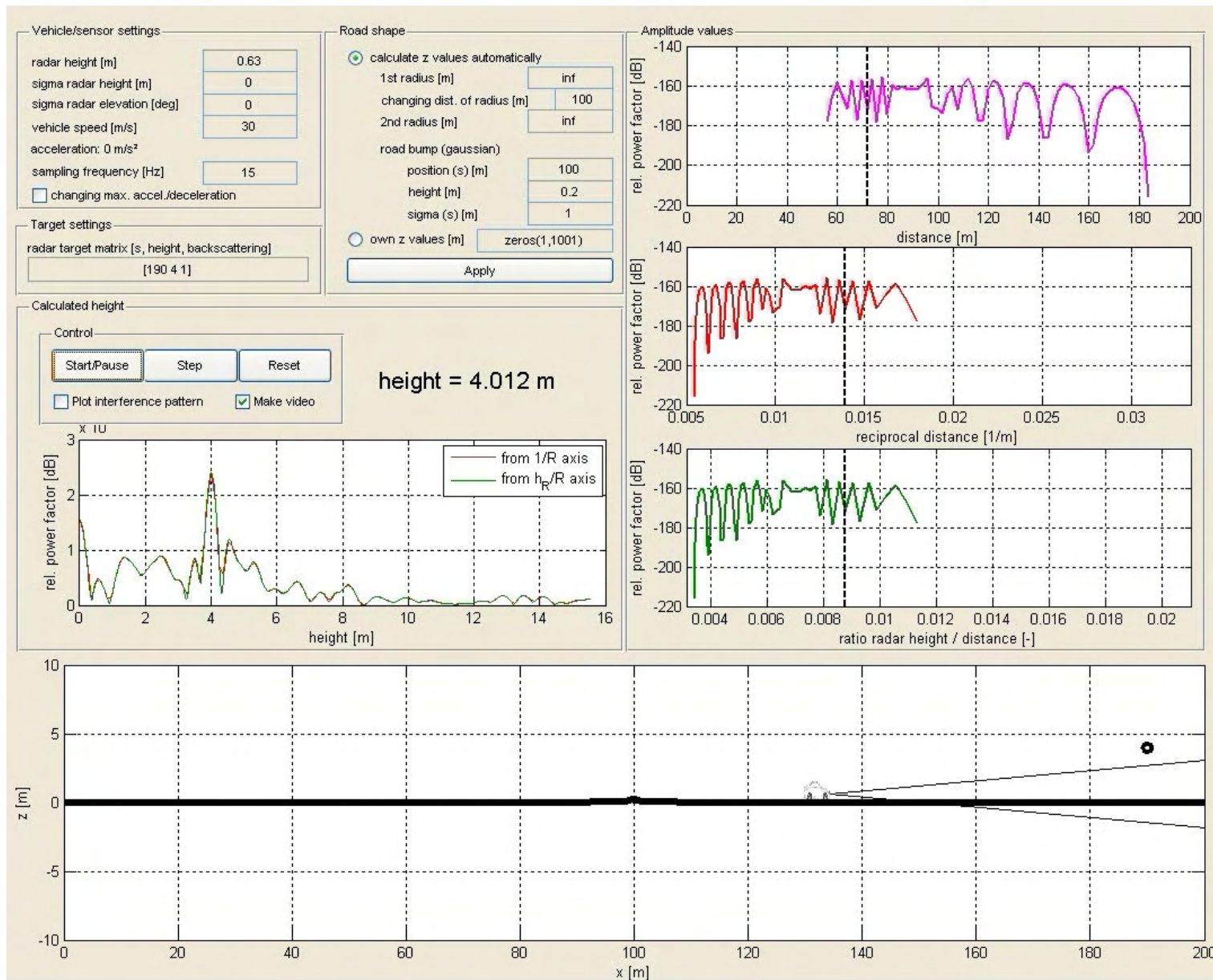


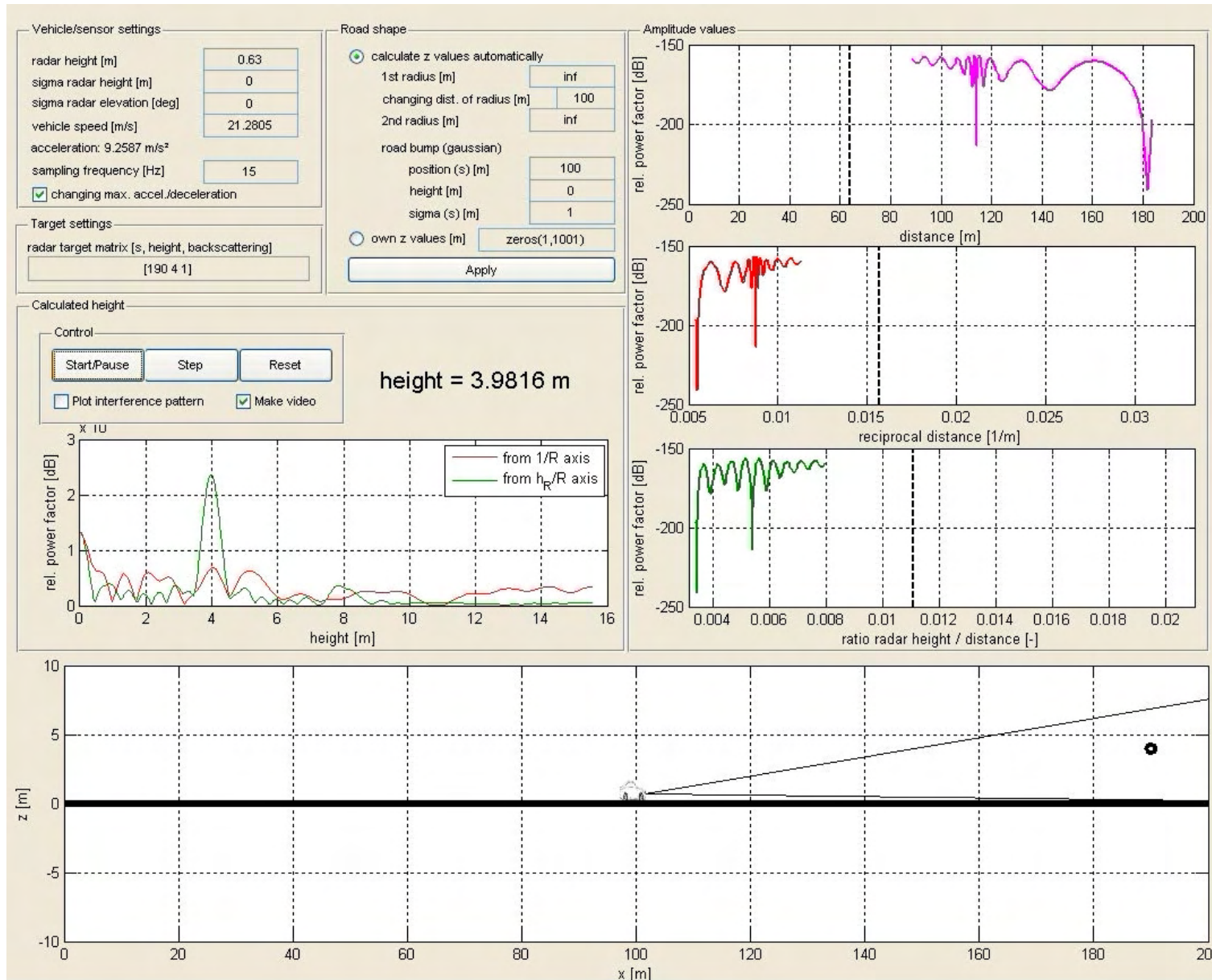
Simulationsergebnisse

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











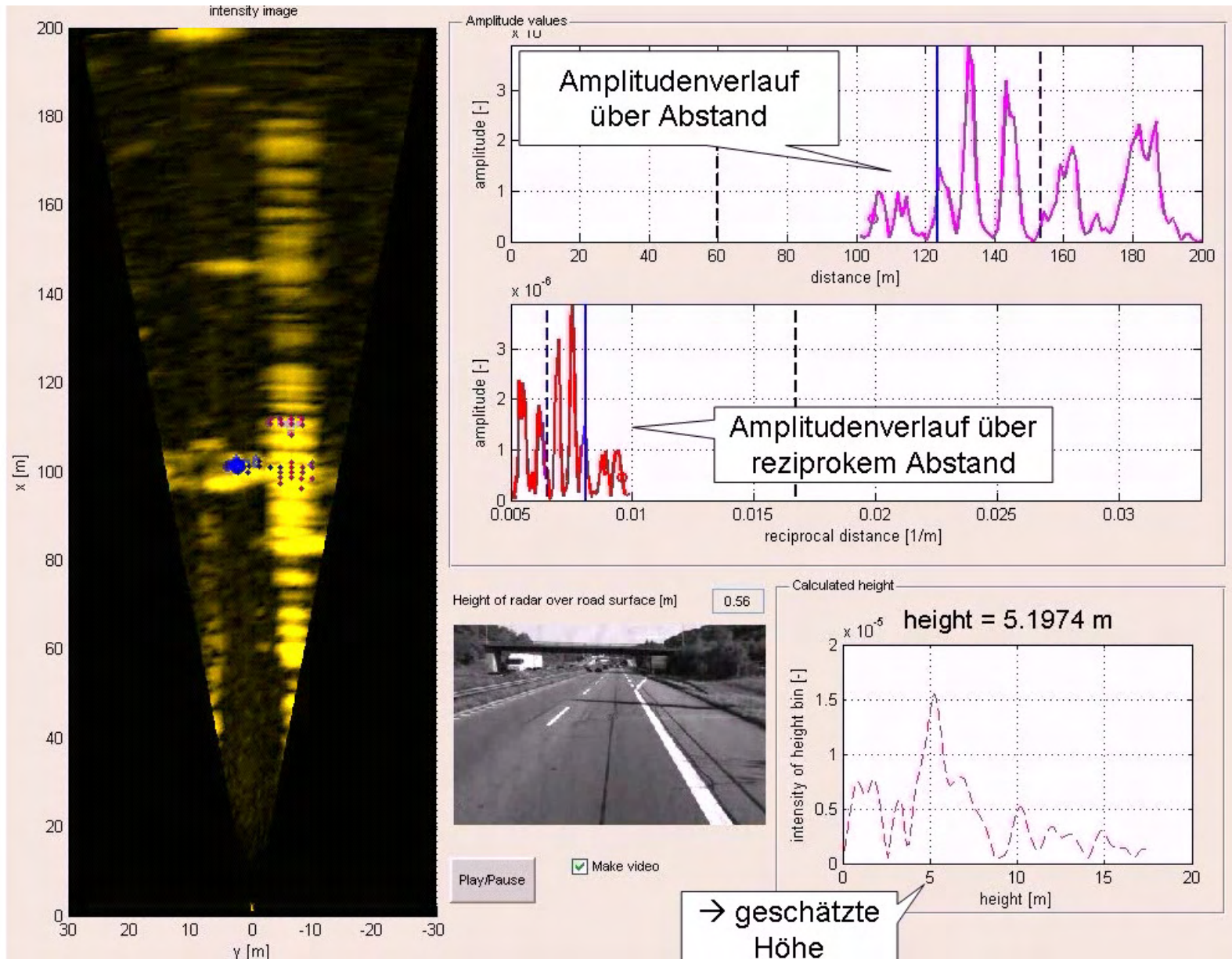
Inhalt

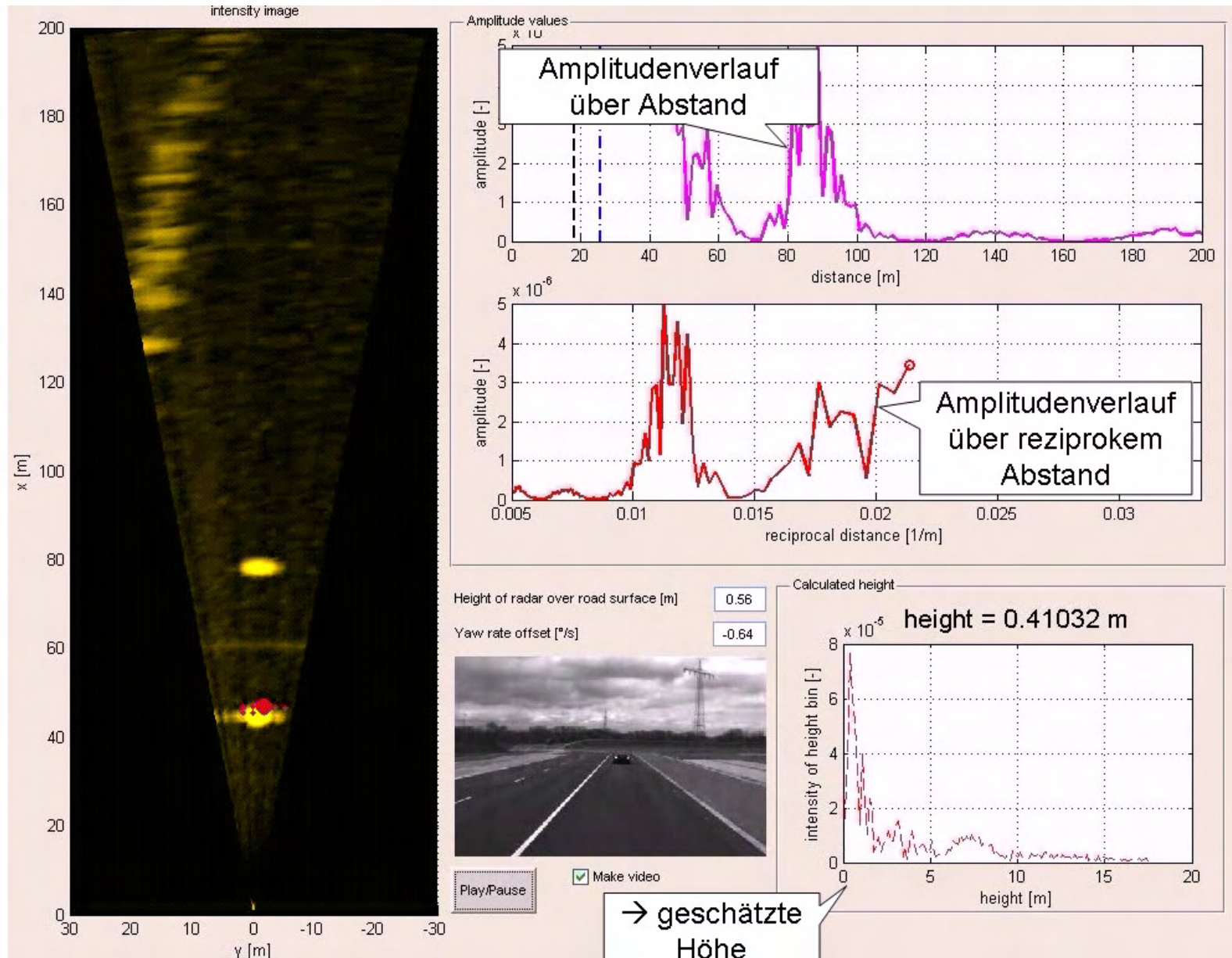
- Einführung und Motivation
- Radarinterferenzmuster
- Signalverarbeitung für Höhenschätzung
- Simulationsergebnisse
- **Ergebnisse aus Realdaten**
- Weitere Schritte



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!

