

Videobasierte Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen

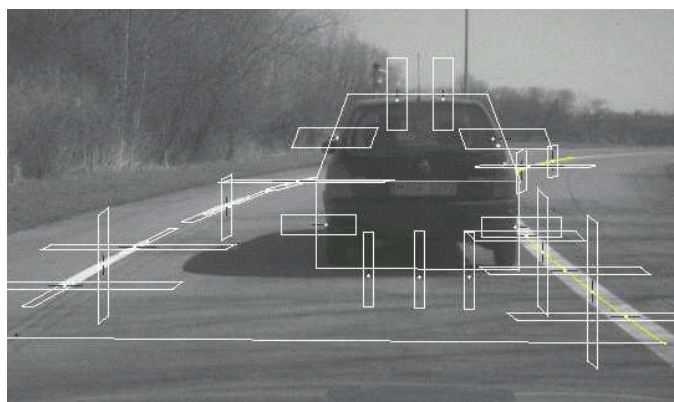
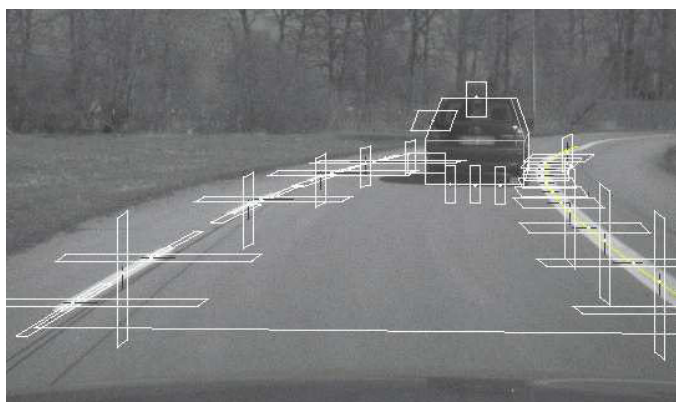
Stephan Neumaier, Georg Färber

Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme RCS
Technische Universität München
Arcisstr. 21, 80333 München
Tel. 089 / 289-23550
{neumaier,faerber}@rsc.ei.tum.de

Im Rahmen des Forschungsverbundes „Bioanaloge Sensomotorische Assistenz“ FORBIAS, gefördert durch die Bayerische Forschungsförderung, wurde eine videobasierte Umfelderkennung für Straßenfahrzeuge entwickelt, welche der Umsetzung künftiger Fahrerassistenzsysteme dienen soll. Angedacht ist eine erweiterte ACC-Funktionalität (FSR-ACC/Stop&Go) bzw. Stauassistenten für den außerörtlichen Straßenverkehr, v.a. auf Autobahnen und Landstraßen. Die Robustheit der videobasierten Umfelderkennung konnte bereits bei Testfahrten zur autonomen Längs- und Querverführung mit einem Versuchsträger des Industriepartners Audi AG demonstriert werden.

Aus dem Videobild werden sowohl die Eigenfahrspur, inkl. linker und rechter Nebenspur, als auch die darauf befindlichen Fremdfahrzeuge extrahiert und über die Zeit verfolgt. Die gewonnenen Umfelddaten, d.h. Objekte, deren Relativlage zueinander sowie relevante Zustandsparameter wie Spurkrümmung/-breite, Geschwindigkeit und Abmessung der Fremdfahrzeuge, werden über ein dynamisches Szenenmodell den höheren Verarbeitungsschichten der Szeneninterpretation zur Verfügung gestellt. Ausgangsbasis hierfür stellt eine Bildfolgeverarbeitung nach dem sog. 4D-Ansatz dar, welcher durch die Modellierung von Objekten zugleich in Raum und Zeit, mittels 3D-Formmodellen sowie dynamischen Zustandsmodellen, in Verbindung mit einem rekursiven Schätzverfahren eine erwartungsbasierte und somit äußerst recheneffektive Bildverarbeitung ermöglicht. Zum gegenwärtigen Stand basiert diese auf der richtungsselektiven Extraktion von Intensitätskanten im Kamerabild sowie dem Einsatz eines Symmetrieoperators.

Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit der zusätzlichen Auswertung eines über Block-Korrelation im Kamerabild bestimmten Optischen Flusses. Diese soll einerseits als Alternative zu den derzeit mittels Radarsensorik generierten initialen Objekthypothesen dienen. Andererseits verspricht die Erweiterung des primär kantenbasierten Verfahrens um texturbasierte, d.h. flächige Objektmerkmale, eine weitere Steigerung der Systemrobustheit.



Testfahrt zur autonomen Längs- und Querverführung mit Audi-Versuchsträger auf abgesperrtem Testgelände: Dem Kamerabild ist das gewonnene 3D-Umfeldmodell bestehend aus Eigenfahrspur und vorausfahrendem Fremdfahrzeug überlagert. Zudem zu erkennen sind hor. und vert. Meßfenster der Kantenextraktion zur Spurkrümmungsschätzung, spurtangentiale Suchfenster der Vermessung einzelner Markierungszeichen sowie extrahierte Konturkanten des Fremdfahrzeugs.

Videobasierte Umfelderkennung bei Straßenfahrzeugen

Stephan Neumaier
Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme RCS
Technische Universität München

- Projekteinordnung / Motivation
- Verfahrens-Überblick
 - 4D-Ansatz
 - Systemstruktur
- Fahrspur-Tracking
- Fahrzeug-Tracking
- Ausblick
- Demonstration „Stau-Assistent“

Forschungsverbund

Bioanaloge Sensomotorische Assistenz

(gefördert durch die Bayerische Forschungsförderung, Jan. 2004 – Dez. 2006)

Übertragung ausgewählter biologischer Prinzipien auf
technische Assistenzsysteme am Beispiel des Sensors „Auge“

A2 Bioanaloge Fahrzeugkamera

C1 Robuste Interpretation bewegter Szenen

Hochschulen:

- Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme (TUM)
- Neurologische Klinik und Poliklinik (LMU)
- Prof. i.R. Dickmanns (UniBW)

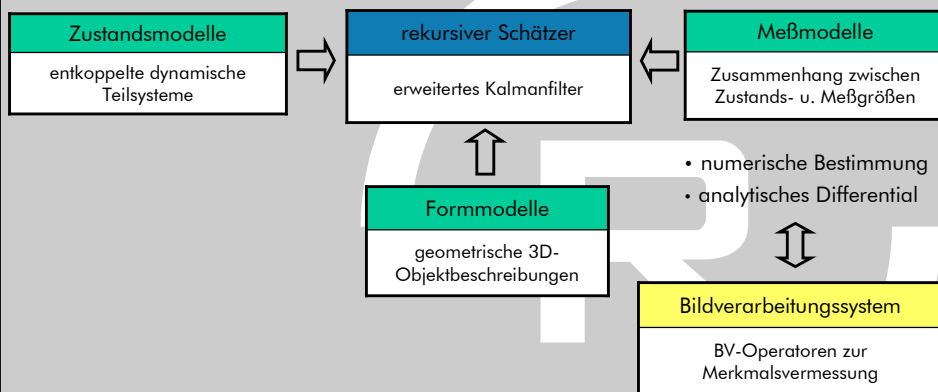
Industriepartner:

- Audi AG
- Siemens VDO
- Continental TEMIC ADC GmbH

„befestigte Straßen außerhalb geschlossener Ortschaften“

- erweitertes ACC (Adaptive Cruise Control)
 - Fahrzeuglängsführung über gesamten Geschwindigkeitsbereich
 - Erkennung auch stehender bzw. langsam bewegter Hindernisse (z.B. Stauende)
 ⇒ Full Speed Range / Stop&Go
 - Spurhalteassistenz (z.B. Lane Departure Warning / Lane Keeping)
 - Stauassistent STA
 - Erkennung der Eigen-/Nachbarfahrspur
 - Erkennung/Klassifizierung darauf befindlicher Objekte
 - Bewertung der Erkennungsleistung mittels Gütemaßen
- ⇒ videobasierte Gewinnung eines dynamischen Szenenmodells, das Ausgangspunkt für verschiedene Assistenzfunktionen im Automobil sein wird
- ⇒ Rückgriff auf vorhandene Fahrzeugsensorik (Odometrie, Gierrate, Radar, ...)

- Klassische Verfahren des maschinellen Sehens
 - Aufwendige Einzelbildverarbeitung
 - Invertierung der perspektivischen Abbildung
- 4D-Ansatz
 - Objektbeschreibung zugleich in Raum und Zeit (3D+1 → 4D)
 - 3D-Formmodelle
 - Dynamische Zustandsmodelle
 - Bildprojektion über Abbildungsmodell
 - Aufsetzen effektiver, selektiver Meßprozesse
 - Rekursive Schätzverfahren zur Rückkopplung des Vorhersagefehlers
 - ⇒ „erwartungsbasiertes Sehen“
 - Einbezug von Hintergrundwissen über Umwelt/Missionskontext (sog. Weltmodell)
 - Merkmalsgruppierung basierend auf Erwartungen bzgl. potentiell auftretender Objekte
 - ⇒ „Gestalt-Idee“



- Lineares Differentialgleichungssystem

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + v_t$$

- Annahme: zeitinvariantes System (während eines Videozyklus)

$$\Phi(\Delta T) = \mathcal{L}^{-1}[(sI - A)^{-1}] \quad G(\Delta T) = \int_0^{\Delta T} \Phi(\tau)B d\tau$$

- Zeitdiskretes dynamisches System

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + G_k u_k + v_k^Q$$

$$E(v) = 0, \quad E(vv^T) = Q$$

x_k Zustandsvektor
 u_k Eingangsvektor
 Φ_k Transitionsmatrix
 G_k Eingangsverstärkung
 Q Systemfehlerkovarianz

- Geometrische 3D-Objektbeschreibung basierend auf

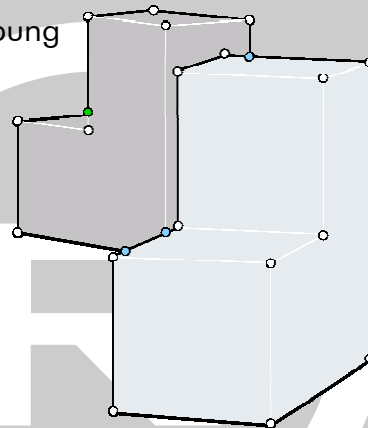
- Stützpunkten
- Kanten
- Oberflächen

- Aspektanalyse

- Sichtbarkeiten
- Klassifizierung Material-/Konturkanten
- Fremd- u. Eigenverdeckung
- Aspektabhängige Stützpunkte

- Definition visuell vermeßbarer Objektmerkmale

- 3D-Kantenverläufe (spezifische/unspezifische Helligkeitsübergänge)
- Symmetrien
- (Texturfluss, ...)



- Zusammenhang zwischen Zustandsgrößen x und Meßgrößen y

$$y(t) = h(x(t)) + w_t \quad (h(x) \text{ i.A. nicht lineare Funktion})$$

- 3D-Koordinaten der Objektmerkmale
- Aspektanalyse
- Abbildungsmodell der Bildprojektion
- Modellierung des Meßverfahrens (Meß-, Apertur-, Diskretisierungsfehler, ...)
- Linearisierung für rekursiven Schätzer

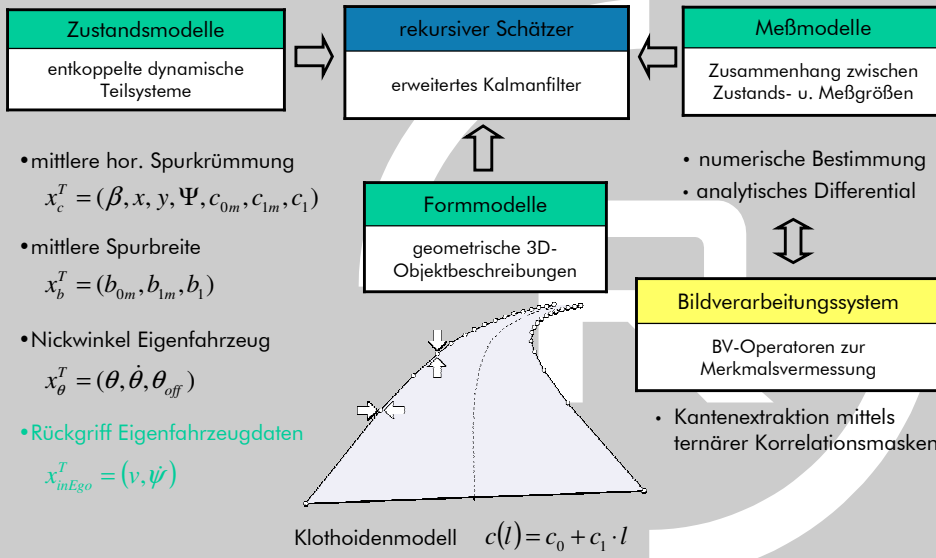
$$C = \left. \frac{dh}{dx} \right|_x$$

- Analytisches Differential
- Numerische Bestimmung

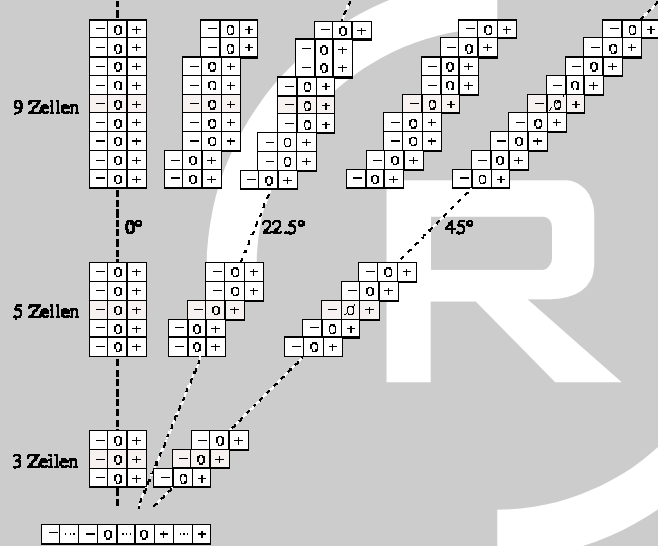
$$y_k = C_k x_k + w_k^R$$

$$E(w) = 0, \quad E(w w^T) = R$$

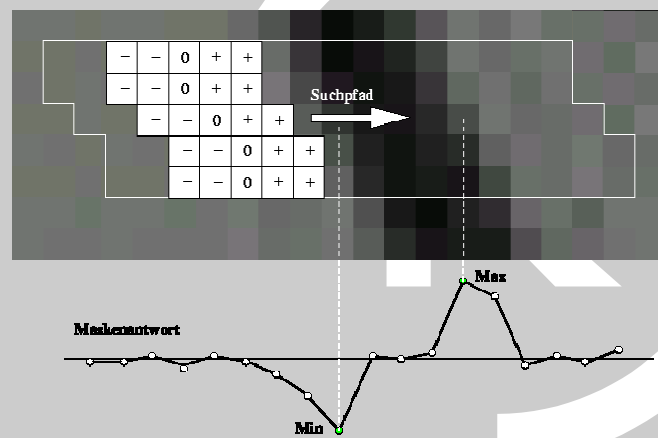
x_k Zustandsvektor
 y_k Meßvektor
 C_k Jacobi-Matrix
 R Meßfehlerkovarianz

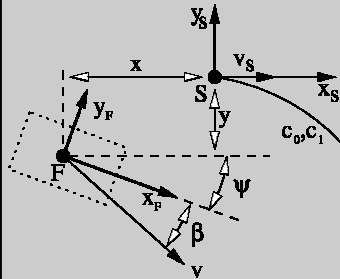


Ternäre Korrelationsmasken zur richtungsselektiven Kantenextraktion



Extraktion „spezifischer“ Helligkeitsübergänge
(Hell-Dunkel, Dunkel-Hell)





- F Fahrzeug-Koordinaten
- S Spur-Koordinaten
- β Schwimmwinkel
- ψ Gierwinkel
- $\dot{\psi}_F$ Fahrzeug-Gierrate

- Fahrzeugquerdynamik nach lin. ebenen Einspurmodell
- Dynamikmodell für gemittelte hor. Spurkrümmung
- Relativlage Fahrzeug F zu Fahrspur S für $x \neq 0$

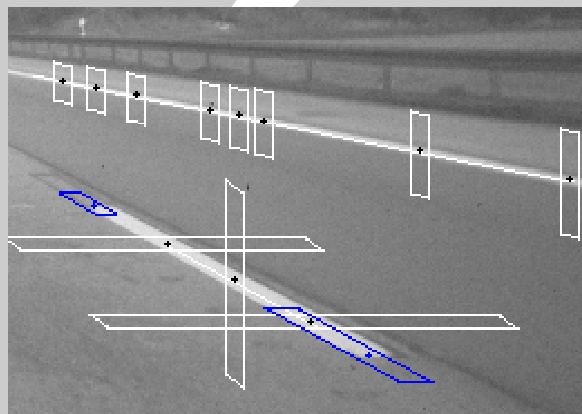
$$\dot{x} = -v \cos(\beta + \psi) - y v_S c_0 + v_S$$

$$\dot{y} = +v \sin(\beta + \psi) + x v_S c_0$$

$$\dot{\psi} = \dot{\psi}_F + v_S c_0$$

$$v_S = \begin{cases} \frac{v \cos(\beta + \psi)}{1 - y c_0} & \text{mitbewegt, d.h. } \dot{x} = 0 \\ 0 & \text{ortsfest} \end{cases}$$

- Kantenextraktion mit
 - hor. und vert. Suchpfad → Fahrspur-Tracking
 - spurtangentialer Suchpfad → Markierungs-Anfang/-Ende

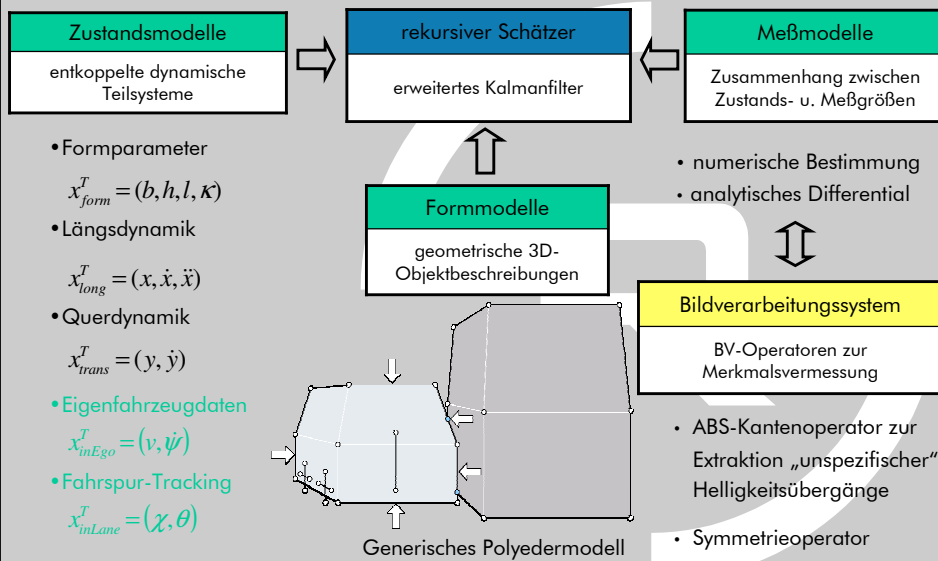
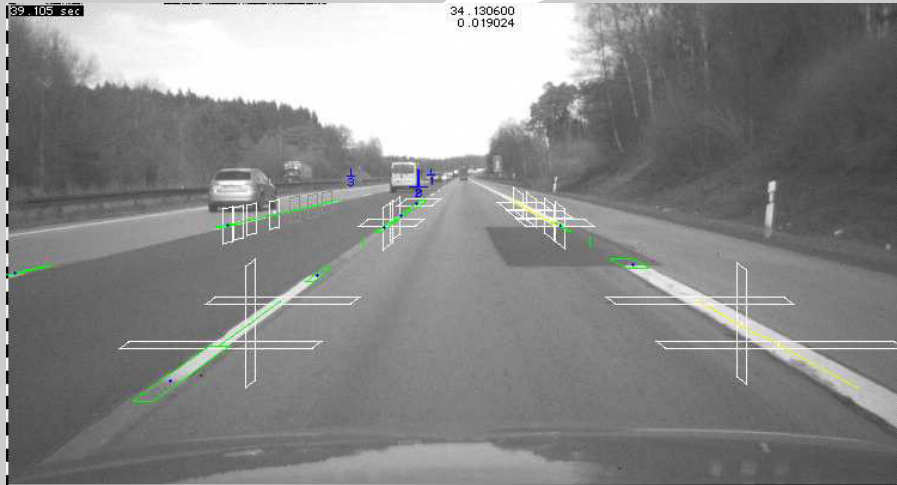


- Kantenextraktion mit
 - hor. und vert. Suchpfad → Fahrspur-Tracking
 - **spurtangentialer Suchpfad** → **Markierungs-Anfang/-Ende**
- Einbezug Markierungs-Abstände in rekursiven Schätzprozeß
 - ⇒ zuverlässige Spurklassifizierung
 - ⇒ Aktivierung/Deaktivierung Nebenspurerkennung
 - ⇒ gezielte Ein-/Ausblendung der Bildverarbeitung
 - Rechenzeiterparnis
 - Robustheitssteigerung
 - ⇒ bzgl. Fahrbahn ortsfeste Stützpunkte
 - Merkmalsassoziation
 - ⇒ Generierung Fahrzeughypothesen

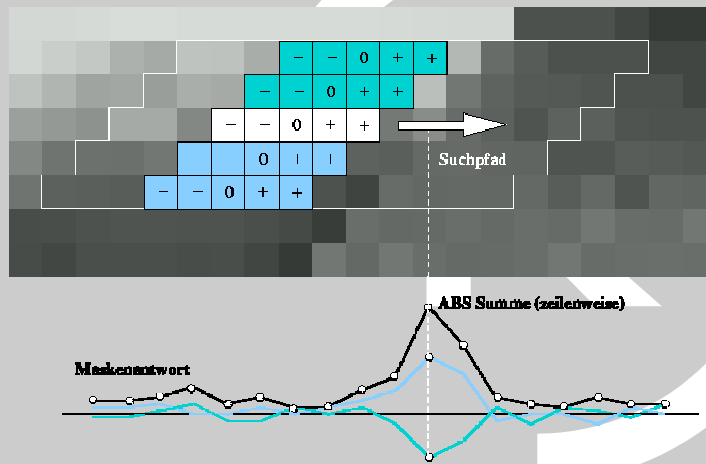
Autobahntestfahrt inkl. mehrfachem Spurwechsel (I)



Autobahntestfahrt inkl. mehrfachem Spurwechsel (II)

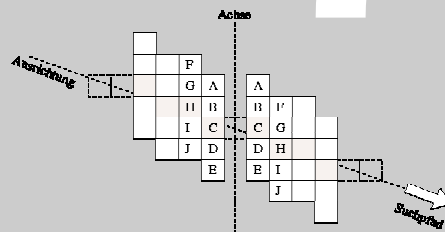


Extraktion „unspezifischer“ Helligkeitsübergänge
(ABS-Kantenoperator)

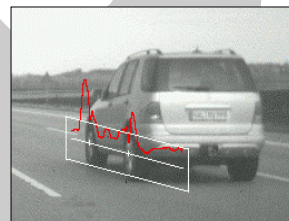


Symmetrieeoperator
SAD-Bildung über Symmetriemaske
entlang Suchpfad

- Symmetrie-Höhe (pixel) → Anzahl der Maskenzeilen
- Symmetrie-Breite (pixel) → Anzahl der Maskenspalten
- Symmetrie-Ausrichtung → Masken-Ausrichtung



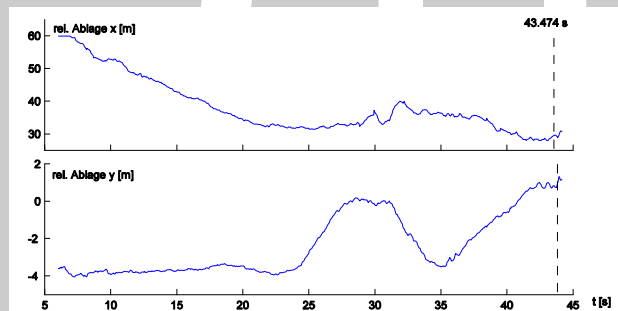
Heckansicht



Räder

Bsp.: 5x4 Symmetriemaske

jeweils nächstgelegenes Fremdfahrzeug in Eigen- u. Nebenspur



Initialisierung mittels Radarsensorik $ID(x,y,v_{rel})$

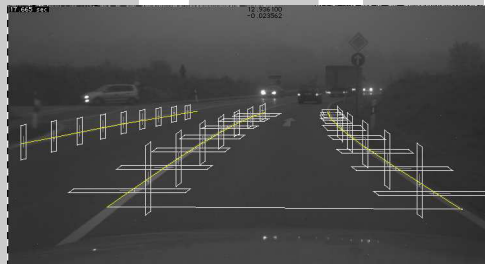


- robustes Merkmal in Tracking-Phase
- Alternative zu Radarhypothesen in Initialisierungsphase





bewegungsgesteuerte Telekamera (16mm)



starr montierte Weitwinkelkamera (9mm)

Autonome Längs- und Querführung basierend auf 3D-Umfeldmodell

