

# **Bewertung von Systemen zur Fahrumfelderfassung (FUE)**

**Dr. Dirk Dickmanns, Harald Gräf (BMW Group)  
Martin Anderschitz (eurosapce)**



# Bewertung von FUE-Systemen

## Übersicht

- 1. Motivation und Vorgehen**
- 2. Referenzsystem “GroundView”**
- 3. Auswertung**
- 4. Ausblick**



# Bewertung von FUE-Systemen

Motivation: FUE-Funktionen sind unsicher



# Bewertung von FUE-Systemen

## Motivation: Aktive Sicherheit

- bisher Einsatz in Fahrerassistenzsystemen (FAS)
  - zunehmend in aktiven Sicherheitssystemen (AS)
- ➔ immer höhere Anforderungen an FUE



# Bewertung von FUE-Systemen

## Motivation und Vorgehen

**Erforderlich: objektive Bewertung der FUE für**

- **Entwicklung und Optimierung**
- **Test und Validierung**
- **Freigabe (Testumfang!)**

**auch als Regressionstest im Labor**

**durch Vergleich der Ergebnisse der zu bewertenden Zielsysteme mit der “realen Welt” (ground truth, Referenz)  
als funktionaler (black-box) test**



# Bewertung von FUE-Systemen

## Vorgehen: prüfbare Kriterien

**Bewertungskriterien für Vergleich mit Referenz:**

- **Umfang der FUE (Nachbar-Fahrstreifen)**
- **Verfügbarkeit (richtig/Fehler 1./2. Art)**
- **Genauigkeit (damit Verlässlichkeit)**
- **Anzahl Zustandswechsel (FAS)**
- **Rechenaufwand (architekturabhängig!)**

**Gütemaße: Geeignete Abstandsmaße zur Referenz, Varianzen und Wahrscheinlichkeiten**

**Fehler 2. Art sind besonders kritisch**

**Verlässlichkeit: (richtig) verfügbar und ausreichend genau  
Nicht verlässlich ist schlimmer als falsch nicht verfügbar**



# Bewertung von FUE-Systemen

## Vorgehen: Erstellen der Referenz

**Wo kommt die Referenz her?**

- **Mensch**
- **Simulation (Vorsicht!)**
- **Referenzsystem**



# Bewertung von FUE-Systemen

## Vorgehen: Prinzip Referenzsysteme

### Bessere Sensorik und Algorithmik:

- **Zusätzliche Sensorik**
- **Günstige Sensoranordnung**
- **Bessere Umweltbedingungen (Beleuchtung)**
- **Aufwendige Algorithmik**
- **mehr Rechenleistung**
- **Offline-Auswertung und Interaktion**





# Referenzsystem GroundView

## Hardware

- 2 Kameras über B-Säule, Blick nach unten, Polsterung
- Kompakter Fzg-PC mit Frame Grabber und CAN-Karte



# Referenzsystem GroundView

## Hardware

- **Laser-Entfernungsmesser: Fahrzeugaufbaubewegung**



# Referenzsystem GroundView

## Hardware Erweiterungen

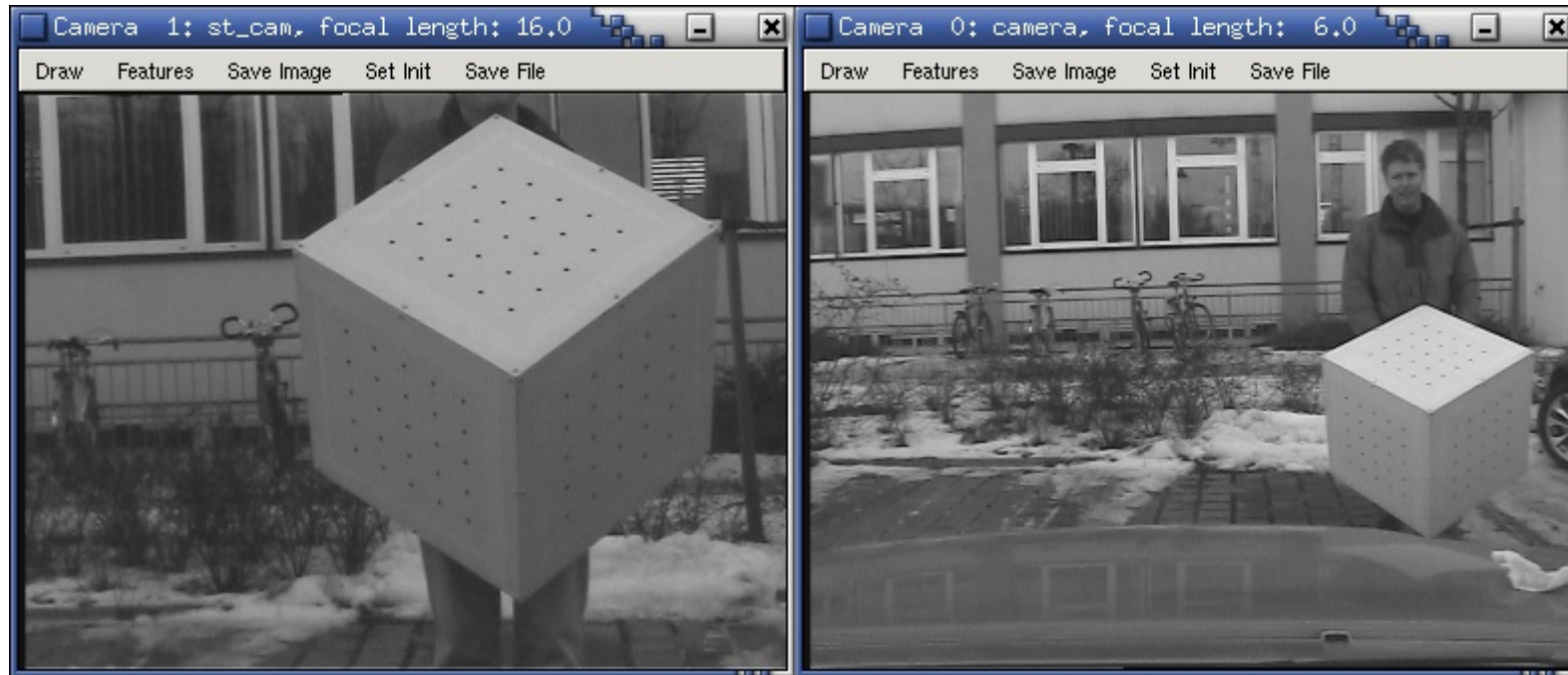
- **Inertialplattform mit**
  - **Laserkreiseln**
  - **Beschleunigungssensoren**
- **Carrier Phase Differential GPS**
- **Referenzkamera oder Zielsystem: Kamera nach vorn**
- **Weitere Referenzkamera nach hinten**
- **(infrarote) Beleuchtung seitlich, ggf. hinten**



# Referenzsystem GroundView

## Kalibrierung intrinsisch: „Würfel“

- Software von FORWISS Passau (Projekt Elektra)
- Umstellung auf Platte in Arbeit



# Referenzsystem GroundView

## Kalibrierung extrinsisch: „Teppich“

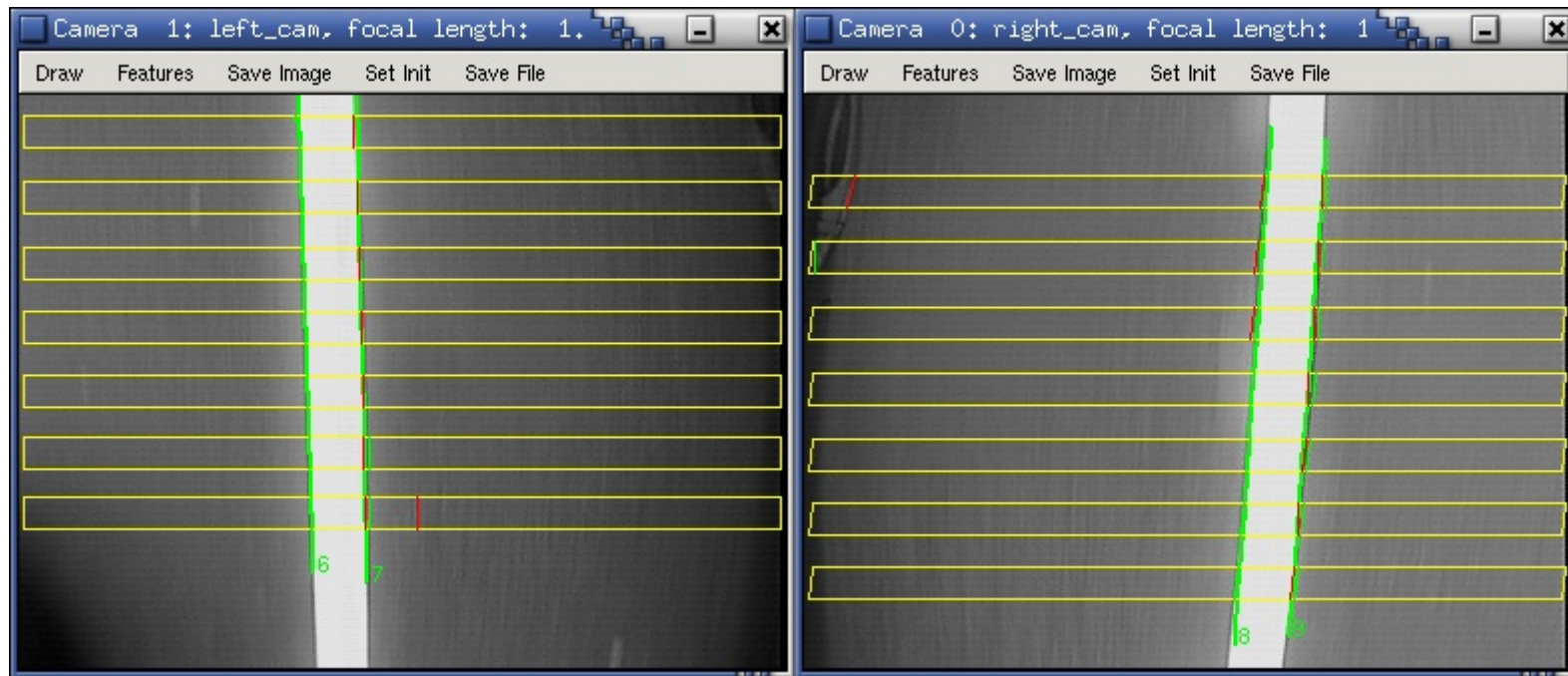
- Software von FORWISS Passau (Projekt Elektra)



# Referenzsystem GroundView

## Linienvermessung

- Straßenerfassungs-Software (Realis) angepasst
- Interaktive Nachbearbeitung der Referenz



# Referenzsystem GroundView

## Implementierung in Ada 95

### Ada-mindset: beyond coding

- **Qualität und Sicherheit**
  - **Refactoring**
  - **Entwicklungsprozess und Prozessentwicklung**
  - **Wiederverwendung vorhandener Software**
  - **Portierbarkeit**
- ... und endlose Vorbehalte ...**



# Auswertung

## Bewertung der FUE

**Verfügbarkeit: prozentualer Anteil von**

- **richtig nicht verfügbar (kein Objekt vorhanden)**
- **richtig verfügbar**
- **falsch nicht verfügbar (false negative, Objektverlust)**
- **falsch verfügbar (false positive, "Geist")**

**jeweils für linke, rechte und benachbarte Markierungen**

**Zustandswechsel und Sprünge: unerwünscht**





# Auswertung

## Bewertung der FUE

**Genauigkeit der Ablagen, des Heading-Winkels, der Krümmung und der Linienbreiten:**

- **Mittlere absolute/relative Abweichung**
- **Root Mean Square Error**

**DAS/AS-spezifische Genauigkeit von Größen**  
**Ablagen-Toleranzband nach ISO:**  
**+/- 15 cm um gewünschte Warnlinie**  
**(bei großen Ablagen geringere Anforderung)**



# Auswertung

## Bewertung der FAS/AS

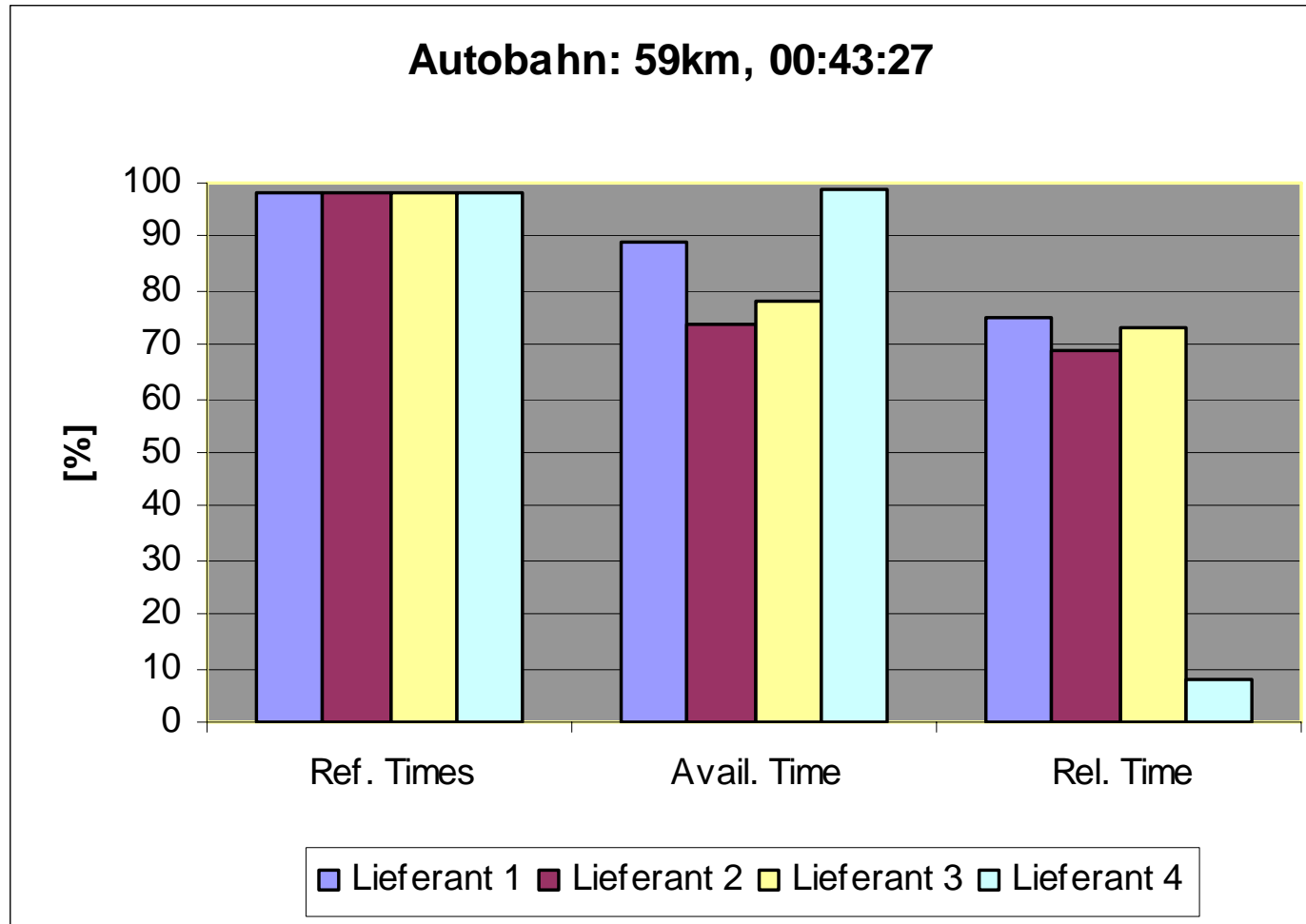
### FAS/AS Verfügbarkeit (TLC/HC):

- **Zwei Linien erfasst**
  - **Geschwindigkeit größer 60 km/h**
  - **kein Blinker oder Warnblinker**
  - **kein bremsen oder starkes beschleunigen**
  - **Systemreaktion nur nahe einer Linie**
- ➔ **Funktionsrelevanz der FUE-Fehler beachten**
- FAS/AS Leistung aus FUE-Leistung abgeleitbar**



# Auswertung

## Beispiel



# Auswertung

## Aufschlüsselung

**Strassenart: Autobahn, Bundesstraße, innerorts**

**Bekannte Problemsituationen:**

- **Schlechte Markierungen (USA)**
- **Regen, Schnee, Gegenlicht, Schlagschatten**
- **Tunnel, Baustelle, Teerfugen**
- **Doppellinien, Split/Merge, Aufweitung/Verengung**
- **kurze Markierungen, große Abstände (F)**
- **Schachbrettmuster (S)**



# Auswertung

## Aufschlüsselung

### spezifische Regressionstest-Datensätze

- **Attributierung von Clips: Typologie**
- **automatische Testdurchführung**

### auch wegen der Datenmenge:

- **Datenaufkommen bei Bildverarbeitung ca. 10-100 GB/h**
- **gesamt mehrere 100h für FAS erwünscht, mehr für AS**
- **Bilddatenkompression 1:10-1:50; Artefakte!**
- **Messdatenserver: viele TB**

**Automatische Testdurchführung möglich und erforderlich**



# Ausblick

## Georeferenzierte ground truth

### Referenzdaten:

- Bisher diskret (Attribute der Typologie) oder dynamisch (Datenspur), aber immer Clip-bezogen
- Künftig auch **statisch**: georeferenziert in digitalen (Ergänzungs-)Karten

### Vorteile:

- Referenz auch für neue Aufzeichnungen und Sensorik verfügbar
- Günstige Umweltbedingungen für Referenzerstellung bei schlechten Bedingungen nutzbar

