

Der IRT-Buggy: Autonome Navigationsplattform für Forschung und Lehre

Andreas Trzuskowsky, Matthias Reiter, Dirk Abel
Institut für Regelungstechnik (IRT)
RWTH Aachen University

Technische Daten und Mechanischer Aufbau

Mechanischer Aufbau:

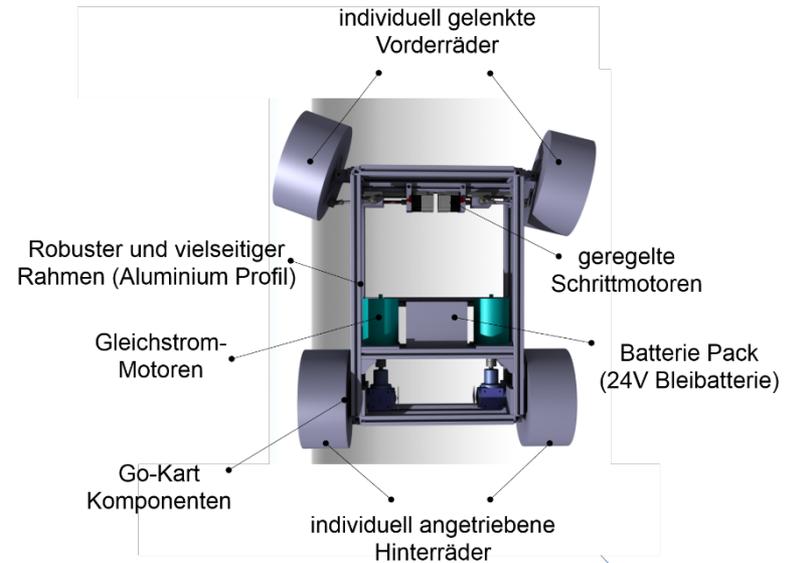
- Robuster und vielseitiger Aluminium-Profil-Rahmen
- Effizient und schnell herzustellen und zu adaptieren
- Leicht erweiterbar (Größe, Externe Komponenten)
- Go-Kart Komponenten (Felgen, Reifen, Achsen, etc.)
- Gesamtgewicht: $\sim 60kg$

Antrieb: 2 Permanentmagnet-Gleichstrom Motoren

- Leicht zu kontrollieren (Moment \sim Strom)
- Unabhängig angetrieben („virtuelles Differential“)
- Spitzenleistung: $\sim 2 \times 1.2kW$
- Höchstgeschwindigkeit: $\sim 50km/h$ (Abhängig von der Übersetzung)
- Beschleunigung: $\sim 2.5m/s^2$

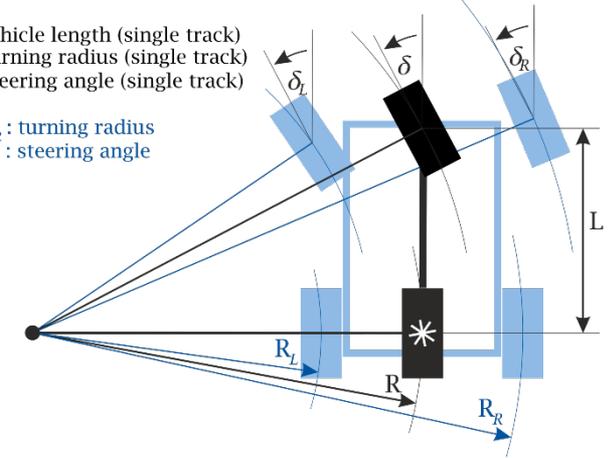
Lenkung: 2 geregelte Schrittmotoren

- Unabhängige Lenkwinkel für jede Seite
- Integrierte Leistungselektronik
- Lenkradius (Mittelpunkt): $R_{min} = 1.4m$



L : vehicle length (single track)
 R : turning radius (single track)
 δ : steering angle (single track)

R_L, R_R : turning radius
 δ_L, δ_R : steering angle



Elektronik und Steuerung: Gesamtanwendungskonzept

Generelles Konzept

- Entwickelt zur Nutzung für Regelungstechnische Zwecke
- Um Sensoren und Aktuatoren herum aufgebaut
- Leicht zu modellieren (2D, einfache und bekannte Kinematik)
- Einfacher und voller Zugriff auf alle Sensoren und Aktuatoren
- Nahezu „Plug&Play“-Nutzung für höhere Regelungsaufgaben

Betriebsmodi

- Auswahl des Modus mittel Fernsteuerung
- Der Nutzer kann jederzeit wieder die Kontrolle übernehmen



Modus 1: Fernbedienung aus / außer Reichweite
- *Sehr konservative Strom- und Geschwindigkeitsgrenzen*
- *Externe Steuerung möglich*

Modus 2: Fernbedienung überschreibbar aktiv
- *Strom- und Geschwindigkeitsgrenzen frei einstellbar*
- *Manuelle Steuerung mittels Fernbedienung*
- *Externe Steuerung überschreibt Fernsteuerung*

Modus 3: Fernbedienung alleine aktiv
- *Strom- und Geschwindigkeitsgrenzen frei einstellbar*
- *Manuelle Steuerung mittels Fernbedienung*
- *Kein Überschreiben durch externe Steuerung*

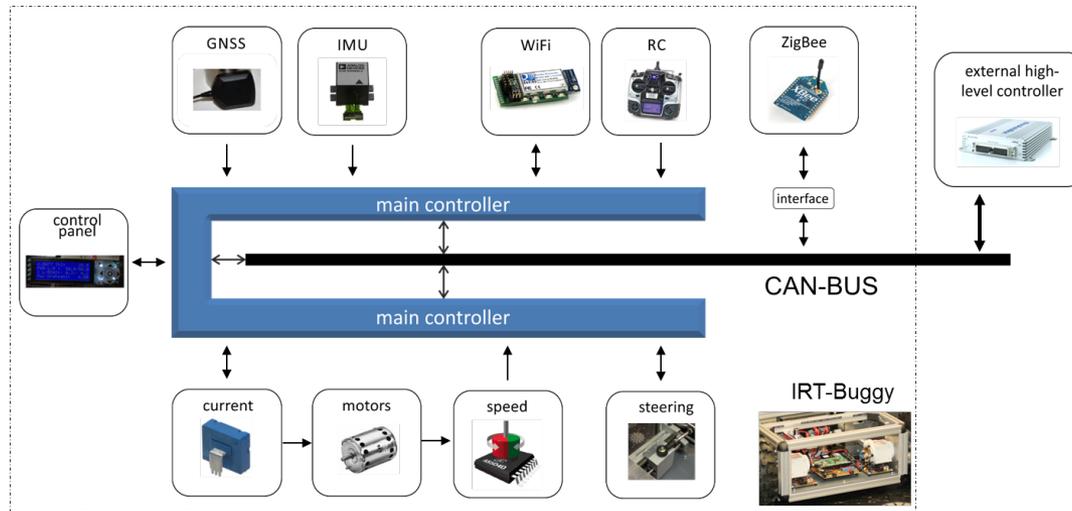
Elektronik und Steuerung: Basis Regelung

Basis Regelung

- TI C2000 DSP Controller (150Mhz)
- Modelbasiertes Softwaredesign mit Simulink®
- Schnittstelle zu Sensoren und Aktuatoren
- Low-level Regelschleifen (Strom, Geschwindigkeit, Lenkung)
- GNSS Dekodierung (NMEA-Format)
- CAN Schnittstelle zu höherem Regler

Sensoren

- Inertiale Messeinheit mit 9 Freiheitsgraden (Beschleunigung, Drehraten, Magnetfeldstärke je in 3 Achsen)
- Inkrementeller Drehzahlsensor pro Rad
- Strom Sensoren
- GNSS Sensor
- Kommunikationsanbindung (WiFi, ZigBee)



IRT-Buggy als Entwicklungswerkzeug

Die Lücke im Entwicklungsprozess schließen

- Sehr viel geringere Hardwarekosten als im Vergleich zum vollwertigen Fahrzeug
- Regel-Hardware und Sensoren sehr ähnlich dem Fahrzeug
- Erlaubt es Forschungsergebnisse mit hoher Aussagekraft für viele Anwendungen zu einem Bruchteil der Kosten zu erzeugen

Simulation

Reproduzierbare
Herbeiführung
kritischer Situationen

Schnelle Entwicklung

Keine
Hardwarekosten



Source: IPG

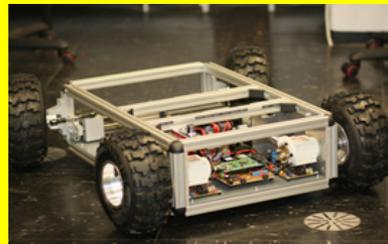
Lücke: Zwischen- Entwicklungswerkzeug

Kostengünstiger

Gute Plausibilität

Vollwertige Reglungs-Hardware

Echte Sensoren



Vollwertiges Experiment

höchste Plausibilität

Bedeutung für die
Anwendung

Hohe Hardware- und
Instandhaltungskosten



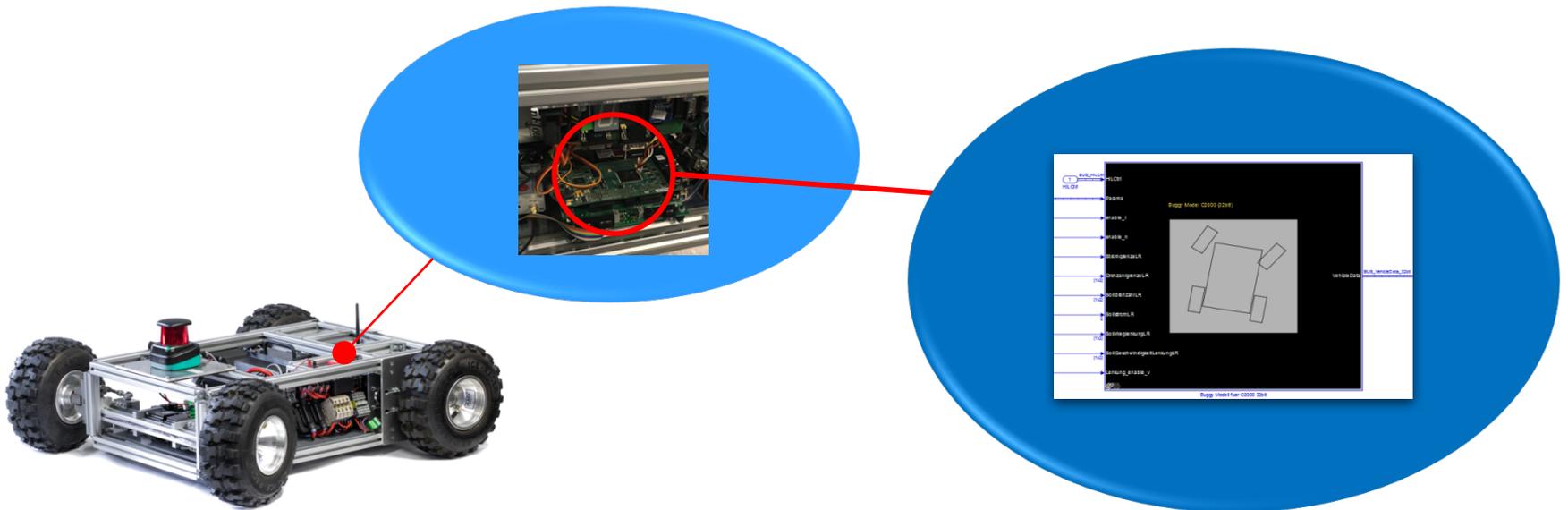
Source: ika

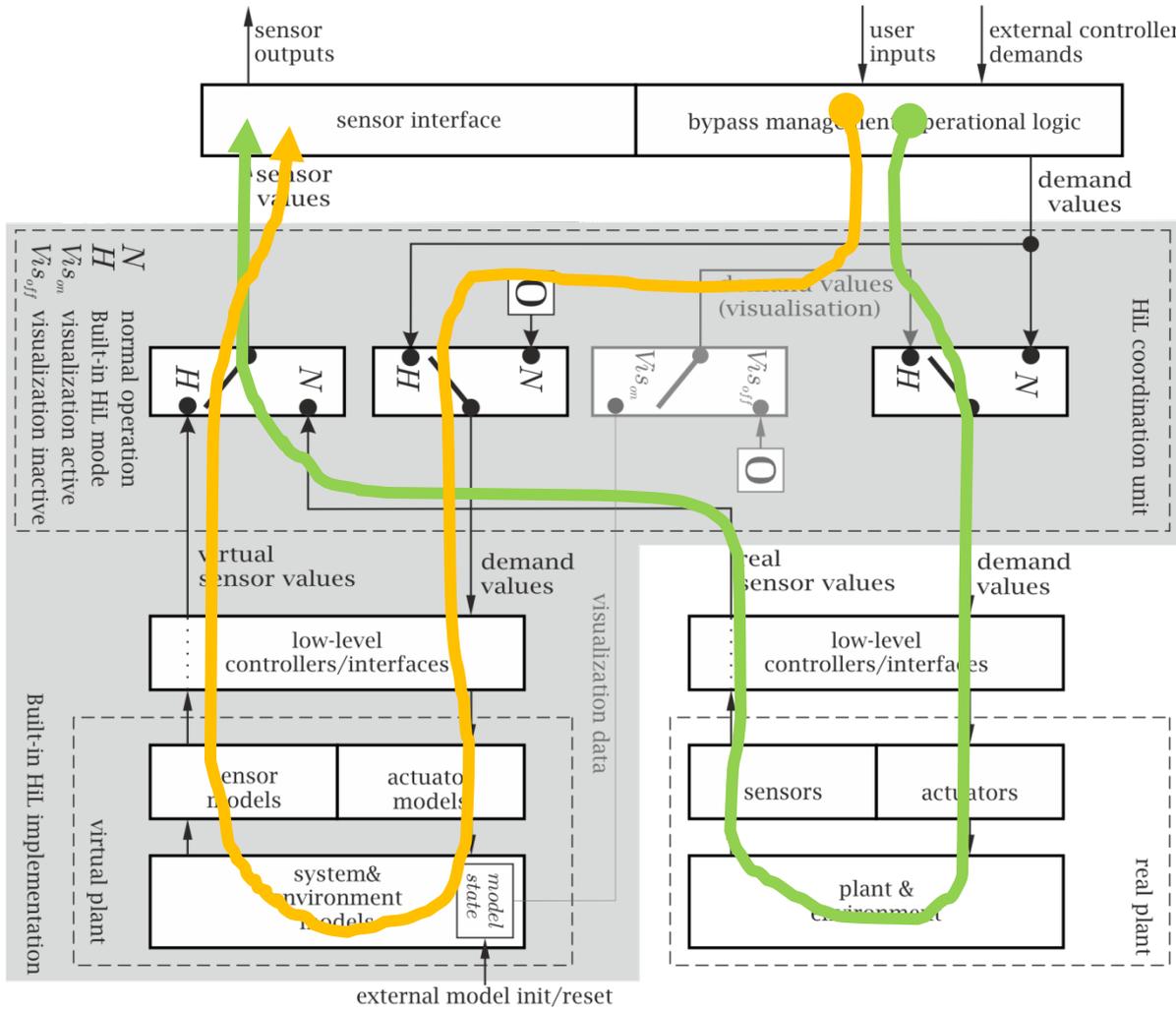
Kosten /
Aussagekraft

IRT-Buggy als Entwicklungswerkzeug

Spezial Feature: Built-In HiL Simulation

- Built-in HiL Model ist Bestandteil der Basis-Regelung
- IRT-Buggy kann „sich selbst Simulieren“
- Vollständige Testbarkeit der höheren Reglerfunktionen (Anwendungsabhängig)
- Debugging Zeitersparnis auf der Teststrecke durch Vortests im Labor („wenn es im Labor nicht geht, geht es garantiert nicht auf der Teststrecke“)
- Sehr Nützlich bei Experimenten mit mehreren interagierenden Fahrzeugen
 - Jedes Fahrzeug simuliert sich selbst
 - Zur Kommunikation wird die selbe Hardware wie im späteren Experiment verwendet



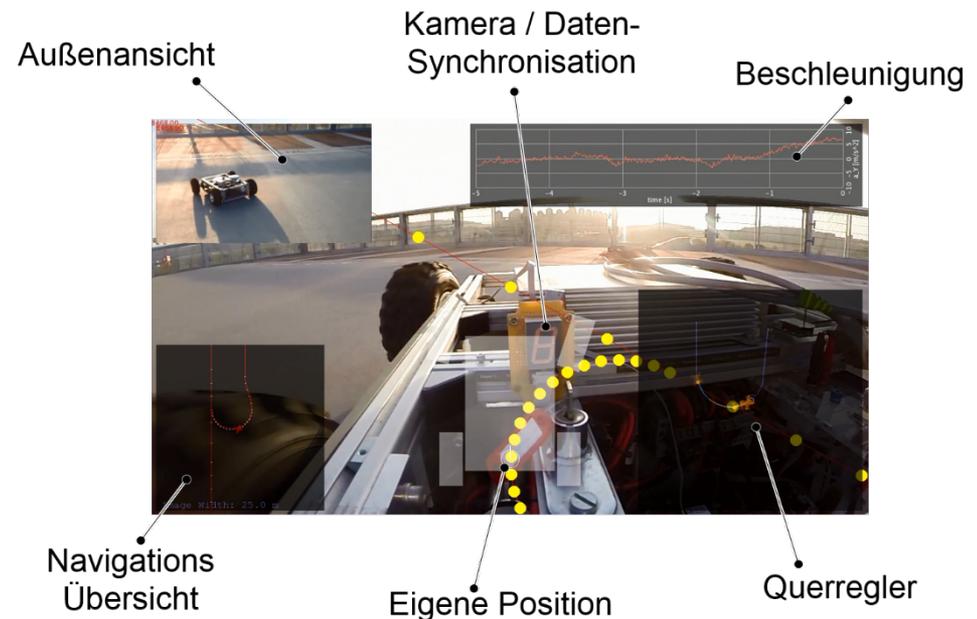
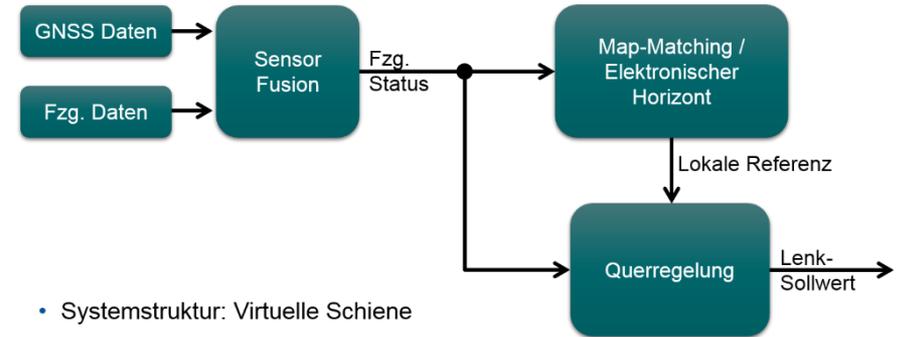


Signalpfad
(Standard Fall)

Signalpfad
(HiL Modus)

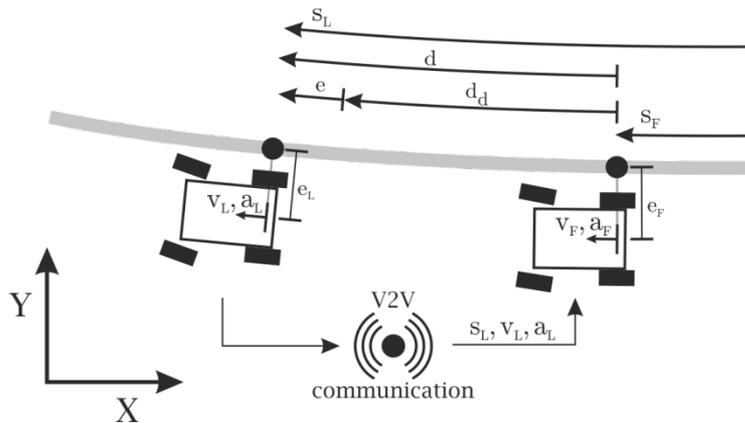
Navigationsbasierte Regelsysteme: Beispielanwendung: Virtuelle Schiene

- Fusion von GNSS- und Inertial-Sensordaten um Fahrzeug Position, Orientierung und Geschwindigkeit mit hoher Updaterate zu erhalten
- Integration von Kartendaten: Software liefert Kartenpunkte in der Nähe
- Querregler übernimmt die Lenkbewegungen; das Fahrzeug ist auf die Spur aus der Karte festgelegt
- Idee: Reduktion der Freiheitsgrade erleichtert das aufsetzen neuer Experimente, z.B. Längsregelung mehrerer verbundener Fahrzeuge (ACC)

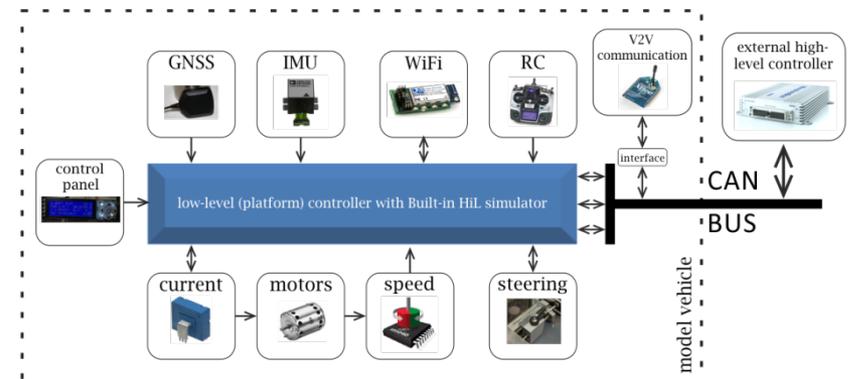


Built-In HiL Simulator

Beispielanwendung: Virtuell gekuppelte Fahrzeuge



- Fahrzeugplatoon mit konstantem Abstand
- Individuelle Querregelung
- Kommunikationsbasierte Längsregelung
- Effiziente Vorbereitung des Experiments mittels Built-In HiL Simulator



Lehren und Lernen

- Modellbasierte Entwicklung
- Regelungstechnische Aufgaben
- Nutzung moderner regelungstechnischer Hard- und Software
- Ein Gefühl für echte Sensordaten

Vielseitig und einfach nutzbar

- Strombegrenzungen erlauben sichere Nutzung nach geringer Einarbeitungszeit
- Zugriff auf und schließen von Regelschleifen mit professioneller Hardware oder einem Standard Laptop
- Geeignet für drinnen und draußen



Belastbar

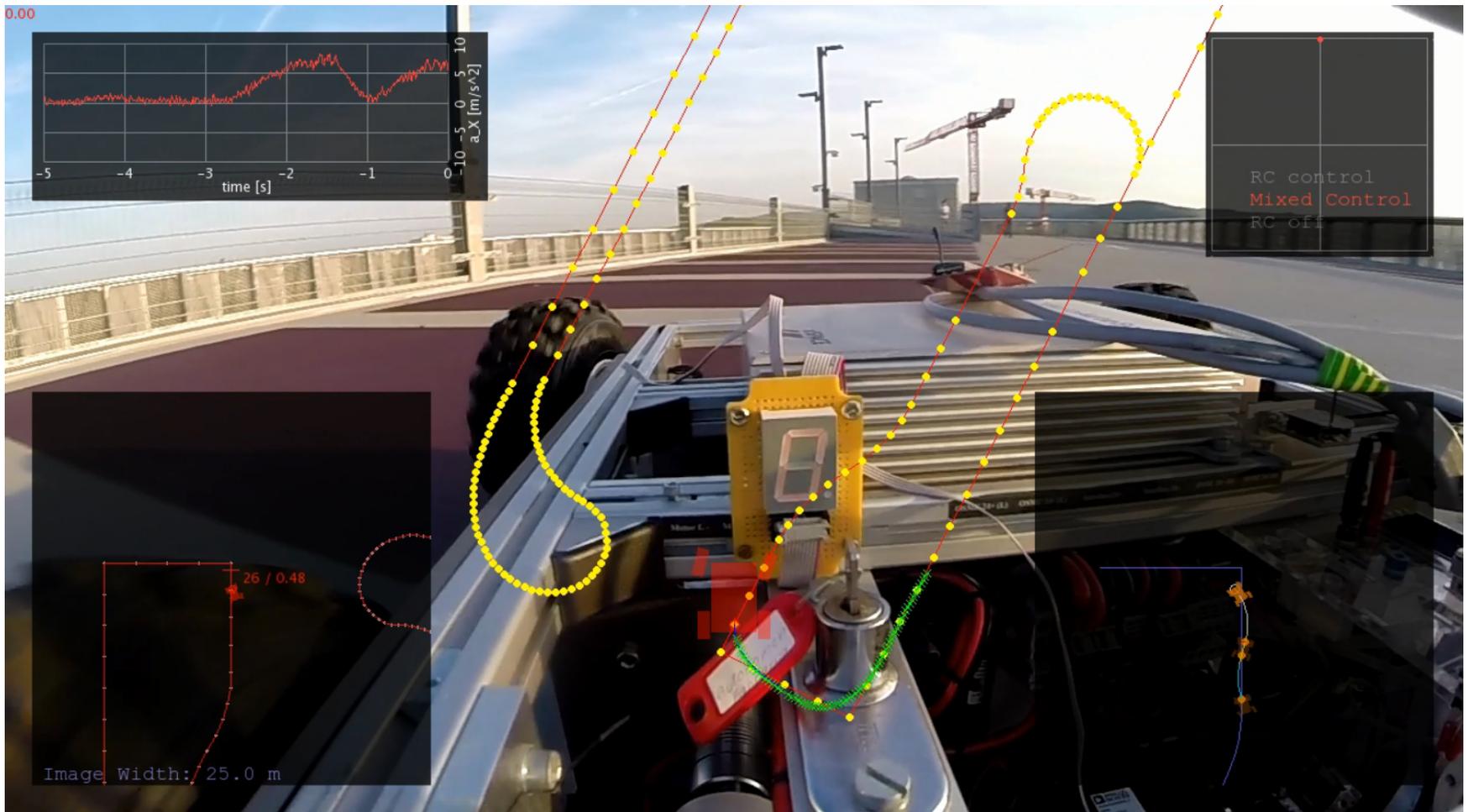


Inverses Pendel / Segway Modus



Studenten Wettbewerb: Kamera basierte Querregelung

Demo Video



- M. Reiter; B. Alrifaae; D. Abel: "Model Scale Experimental Vehicle as Test Platform For Autonomous Driving Applications". FISITA 2014 World Automotive Congress, 2.-6. Juni, Maastricht, Netherlands, 2014
- M. Reiter; D. Abel, "Two and a half carrots - a versatile and intuitive optimisation-based path-following approach for road vehicles". *23th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Torremolinos, 2015
- M. Reiter; D. Abel; S. Rofalski; D. Moormann, "GNSS-, Communication and Map-Based Control System for Initiation of a Heterogeneous Rendezvous Maneuver", *24th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems (CTS)*, Istanbul, 2016
- M. Reiter; M. Wehr; D. Abel, "Built-In HiL Simulator: A Concept for Faster Prototyping of Navigation and Communication-Based Control Systems". IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Banff, 2016

Danke

Andreas Trzuskowsky
Institut für Regelungstechnik
RWTH Aachen University