We move it – 13. Juni 2018 @ TRIWO Zweibrücken

Testen hochautomatisierter Fahrzeuge bis SAE Level 5 im Kontext von PEGASUS und ISO-Standardisierung

Patrik Vockenberg, M.Eng. MBA
iMAR Navigation GmbH, St. Ingbert

www.imar-navigation.de

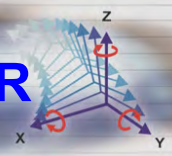
© iMAR Navigation

Inhalt des Praxisvortrags

iMAR NAVIGATION & CONTROL

- **Kurzvorstellung iMAR**
- **Testen hochautomatisierter Fahrzeuge**
  - **Warum ?**
  - **Wie ?**
  - **Wo ?**
- **Demonstration auf dem Vorfeld #3 des TRIWO Testcenter Zweibrücken**

Grußwort von Dr. Edgar v. Hinüber, CEO iMAR



iMAR NAVIGATION & CONTROL

Sehr geehrte Damen und Herren!

Leider kann ich heute nicht persönlich zu Ihnen sprechen, da es kurzfristig zu einer eigentlich für unsere Region sehr positiven Terminkollision gekommen ist:

Der internationale ISO Arbeitskreis, der für die zukünftige Standardisierung des Prüfgelände-Equipments für das Testen hochautomatisierter Fahrzeuge zuständig ist (ISO 22133-1), tagt heute bei uns in St. Ingbert !

Herr Vockenberg wird mich kompetent vertreten – ich wünsche Ihnen einen informativen Vortrag!

Edgar L. v. Hinüber

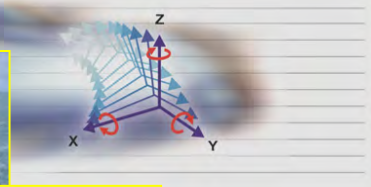
iMAR NAVIGATION & CONTROL

Firmen-Kurzdarstellung iMAR

iMAR's Aktivitäten und Ziele

Wir arbeiten seit über 25 Jahren für unsere Kunden – weltweit

- Inertialnavigations- und Hybridsysteme
- Navigation, Stabilisierung, Führung, Vermessung und Regelung
- Kreiselstabilisierte Plattformen – Zielbeobachtung & -verfolgung
- Produktion, Entwicklung, Tests im Haus – u.a. ALG, SW/FW, HW
- Märkte: Militärisch & zivil, See-, Land-, Luft und unter Tage, bemannt & unbemannt

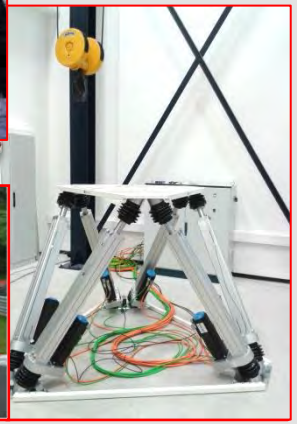


Eigentumsverhältnisse & Märkte

- 100% deutsche Firma in privater Hand, gegründet 1992
- GF/Eigentümer/Gründer: Dr.-Ing. Edgar L. v. Hinüber
- Kunden:
  - ca. 50 % militärische Anwendungen
  - ca. 50 % Industrie, Luftfahrt und Automobilindustrie

iMAR's Entwicklung-, Test- & Prüfkapazitäten

- 65 Ingenieure und Techniker, Qualitätssicherer und Administration
- Produktions- und Prüfausstattung, Ausrüstung für Kalibrierung und Verifikation
- QM: EN9100 / ISO 9001, EASA Part 21G (DE 21G0254), NATO Cage Code DN401



TÜVRheinland CERT
ISO 9001
EN 9100

www.imar-navigation.de

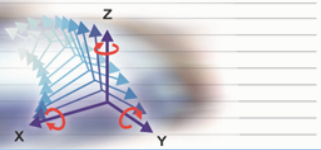
iMAR's Entwicklung-, Test- & Prüfkapazitäten

- Fertigung und Entwicklung in St. Ingbert / Saarbrücken
- Drehtische, Hexapod, Shaker
- 5 Tonnen DEMAG Hallenkran
- Testfahrzeuge, MultiCopter

TÜVRheinland CERT
ISO 9001
EN 9100

www.imar-navigation.de

Verification of Use Cases: Proving Grounds

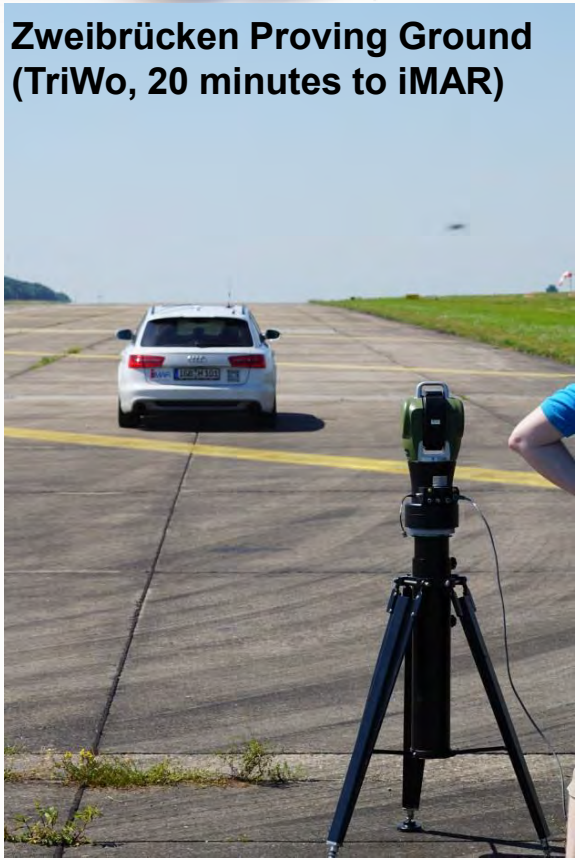


iMAR NAVIGATION & CONTROL

Customer Proving Ground

Further proving grounds close by:
Pferdsfeld Proving Ground (TriWo, 1.5 hrs)
SimCity & Immendingen Proving Ground (Daimler, 2.5 hrs)
Boxberg Proving Ground (Bosch, 3 hrs)

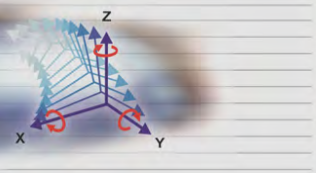
Pferdsfeld



Zweibrücken Proving Ground
(TriWo, 20 minutes to iMAR)

Märkte & Anwendungen

iMAR's Standardisierungs-Aktivitäten



iMAR NAVIGATION & CONTROL

Ende 2016 wurde iMAR durch die Intl. Standardization Organization (ISO) um Unterstützung bei der Standardisierung der Prüfmeßtechnik für das funktionale Testen hochautomatisierter Fahrzeuge aufgefordert. Seitdem ist iMAR hier de-facto der technologische „Lead".

- Member of intl. ISO / DIN Standardization:

  TC22/SC33/WG16: Road Vehicles – Test Object Monitoring & Control (ISO/WD 22133-1)

iMAR NAVIGATION & CONTROL

Automatisiertes Prüfen des Verhaltens von hoch- und vollautomatisierten Fahrzeugen in komplexen Verkehrssituationen

Verifikation und Homologation

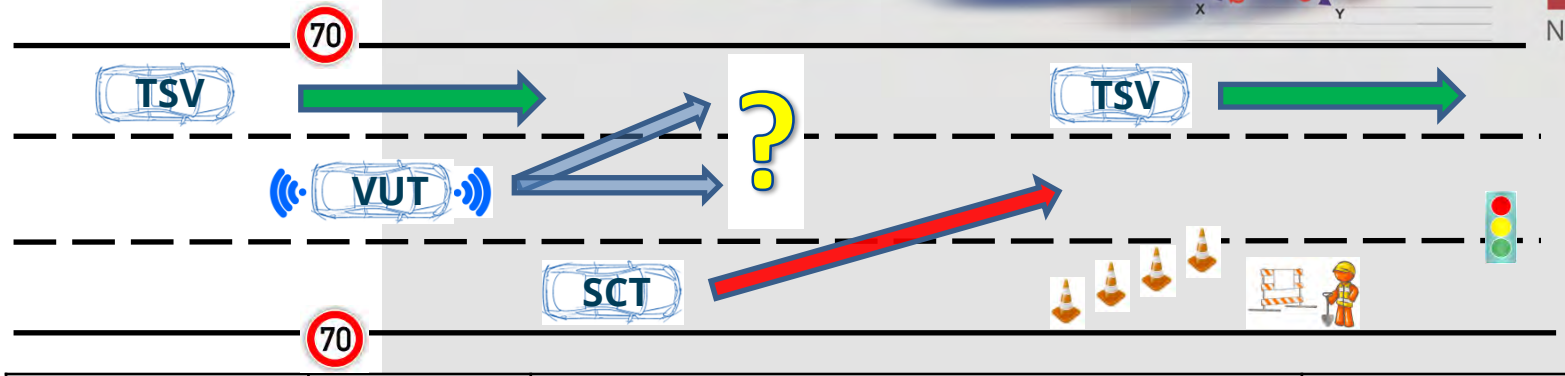
- **Tests auf dem Prüfgelände**
  - Verifikation der Funktionalität von Fahrzeug- oder Systemeigenschaften in kontrollierter Umgebung für Fahrzeughersteller („OEMs“) und Zulieferer
  - Durchführbarkeit wiederholbarer Tests durch OEMs und Zulieferer
  - Homologation (Überprüfung der gesetzlichen Konformität) des Fahrzeugverhaltens in festgelegten Prüf-Szenarien durch die zugelassenen Prüforganisationen (z.B. TÜV)

  ➔ **Prüfgelände, Meß- & Regeltechnik und Versuchsautomatisierung erforderlich**

- **Tests im öffentlichen Straßenverkehr**
  - Tests unter „realen“ Bedingungen, auch in einem Schwarm von mehreren (20+) Fahrzeugen, Fußgängern usw.

  ➔ **Meß- & Regeltechnik und Versuchsautomatisierung erforderlich**

iSWACO-ARGUS:
Typical Traffic Scenario



Type of Object	re-positioning and safe return	**longitudinal and lateral guidance** during the test (SAE automation level)	**collision avoidance** during the test
TSV	iARGUS-VCS or Safety Driver	iARGUS-VCS (fully automated driving – SAE level 5)	iARGUS-VCS or Safety Driver
70	./.	./.	./.
VUT	Safety Driver or iARGUS-VCS	**PAD - Level 2: „partial“, hands off & eyes on** **CAD – Level 3: “conditional“, hands off & eyes off - sometimes** **HAD - Level 4: „high“, hands off & eyes off & mind off - sometimes** **FAD - Level 5: „full“, no human driver required anymore**	Safety Driver or iARGUS-VCS
SCT	iARGUS-CC	iARGUS-CC	iARGUS-CC

VUT = Vehicle under Test • TSV = Traffic Simulation Vehicle • SCT = Soft Crash Target • ISE = InfraStructure Element

PEGASUS - Zielsetzung

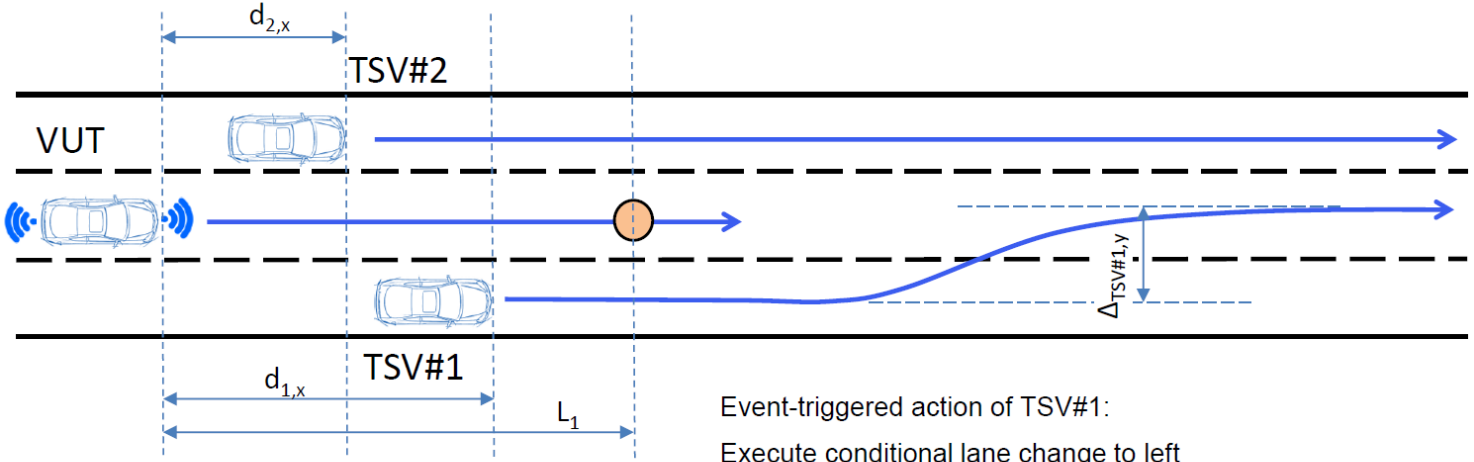
- **PEGASUS (BMWi)** http://www.pegasus-projekt.info/
  - „Verbundprojekt für die Etablierung von akzeptierten Güte-kriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen“ (Autobahnfahrt!)
    „Automatisiertes Fahren effektiv absichern“
  - Projektstart 01/2016, Laufzeit 3 Jahre
  - Teilnehmer (u.a.): Audi, Continental, Daimler, DLR, fka, **iMAR**, IPG, Opel, Qtronic, FZD, TÜV SÜD, VIRES, VW, assoziierter Partner ist das BaSt

Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy
on the basis of a decision by the German Bundestag

iSWACO-ARGUS:
Motion Synchronization for Traffic Scenario with manned and unmanned Vehicles

Complex Lane Change Scenario (PEGASUS Scenario #1 – as Scenario #0 + TSV#2):

conditional lane change of TSV#1, when the TSV#1 has reached a distance of L1 in front of the VUT. TSV#2 shall drive always with a distance of L2 in front of the VUT.



$v_{VUT,x}$ = 10 m/s

$v_{TSV\#2,x}$ = adaptive controlled to keep $d_{2,x} = L_2$=-15 m („target – hunter“)

$v_{TSV\#1,x}$ = $v_{VUT,x}$ + 2 m/s (adaptive controlled)

Event-triggered action of TSV#1:

Execute conditional lane change to left with attributes: $v_{TSV\#1,x}$ = const. $\Delta y_{TSV\#1,y}$ = +3.5 m, $a_{TSV\#1,y}$ = +2.44 m/s², T = 2.4 s

as soon as $d_1 \geq$ L1=25 m becomes initially true

Action 2 s after the lane change has been executed:

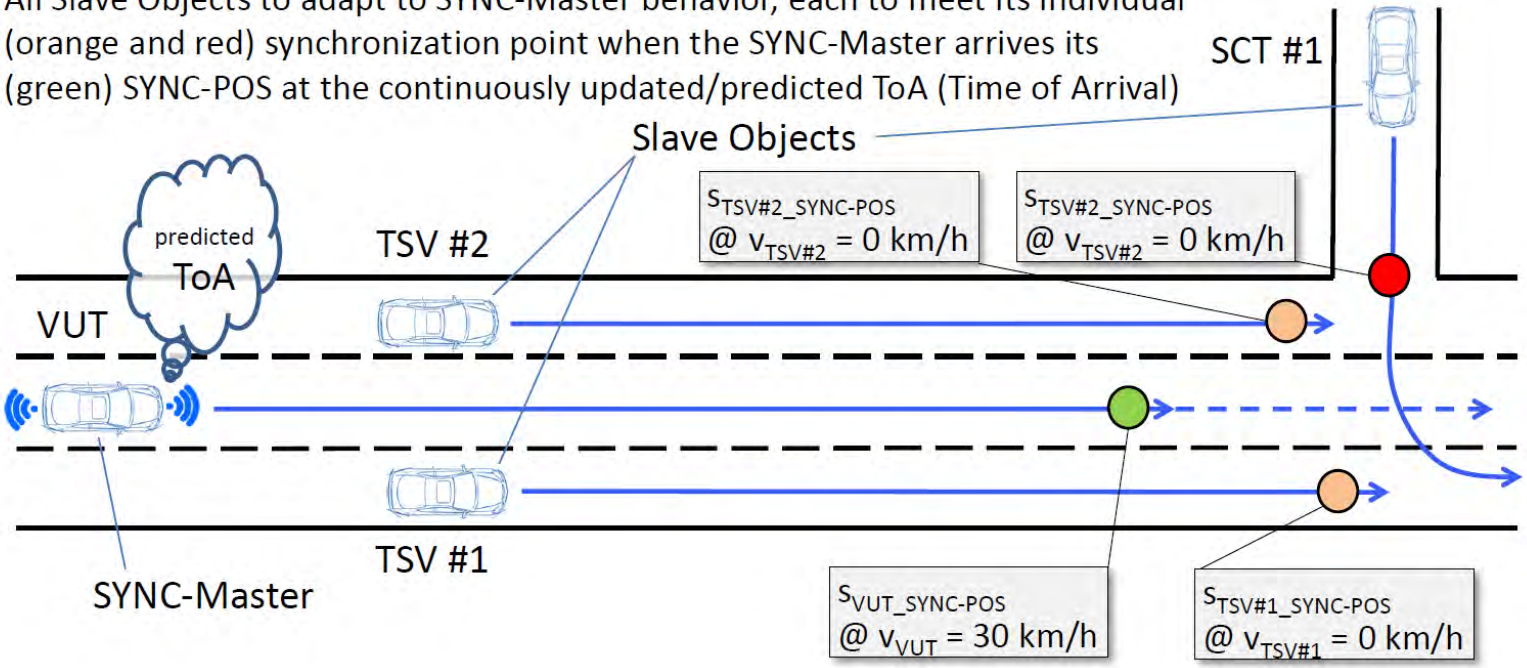
$v_{TSV\#1,x}$ = 8 m/s (braking with -3 m/s²) and $v_{TSV\#2,x}$ = 10 m/s (const)

Expected action of automated guided VUT: It should perform a lane change and follow the TSV#2 to overtake TSV#1

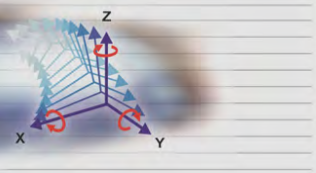
iSWACO-ARGUS:
Motion Synchronization for Traffic Scenario with manned and unmanned Vehicles

Adaptive Synchronization:

All Slave Objects to adapt to SYNC-Master behavior, each to meet its individual (orange and red) synchronization point when the SYNC-Master arrives its (green) SYNC-POS at the continuously updated/predicted ToA (Time of Arrival)



iSWACO-ARGUS Hardware for MVT



iMAR NAVIGATION & CONTROL

VUT with iARGUS-RCS:
iNAT INS/GNSS with
dual-antenna setup &
iDMN-OHS (object's hotspot)

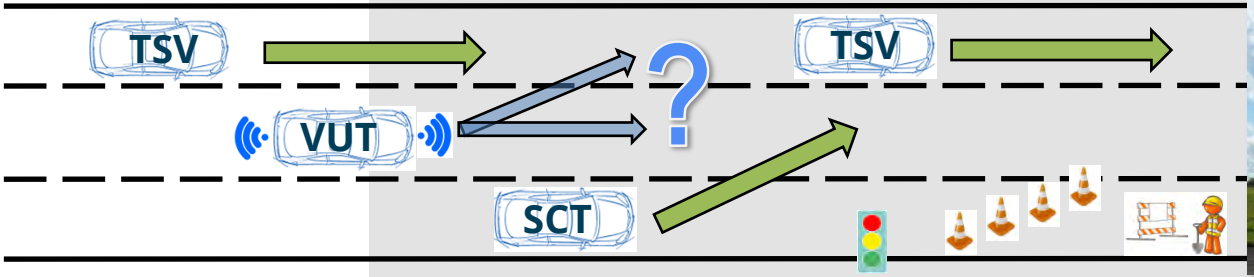
TSV with iARGUS-RCS:
iNAT INS/GNSS &
iDMN-OHS (object's hotspot)
& iARGUS-MV
(stereo vision head)

optional iDMN-FHS
(flying hotspot)

SCT (4a) with iNAT INS/GNSS
(with TSV and VUT)

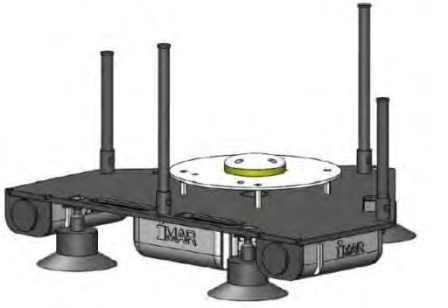
optional iDMN-THS
(tripod mounted hotspots)

Control Center
with iDMN-MHS, iREF
(mast-mounted hotspot)



iSWACO-ARGUS Hardware for MVT

iDMN-FHS



iARGUS-RCS

iTraceRT-MVT-5x0 iTraceRT-MVT-20x

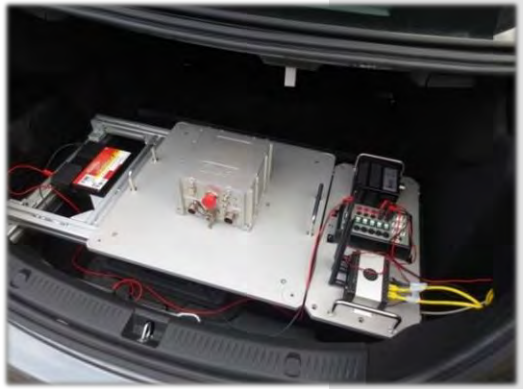
iDMN-THS

iARGUS-CC: Control Center

iREF-GNSS

Einsatzgebiet: Überwachung und Führung von Testfahrzeugen

iSWACO-ARGUS auf Testgelände: Pkw, überwacht, geführt und geregelt via iARGUS-VCS (Zeit, Position, Geschwindigkeit, Richtung, TTC bzgl. Umfeld)



iMAR covers all tasks:

- Trajektorienplanung / -ausführung
- INS/GNSS/ODO (HW/SW)
- Fahrzeuginterface & -regelung
- Kognitive Umfelderkennung („deep learning“), Stereo-Vision
- iDMN Multi-Target Kommunikation
- Generic Setup

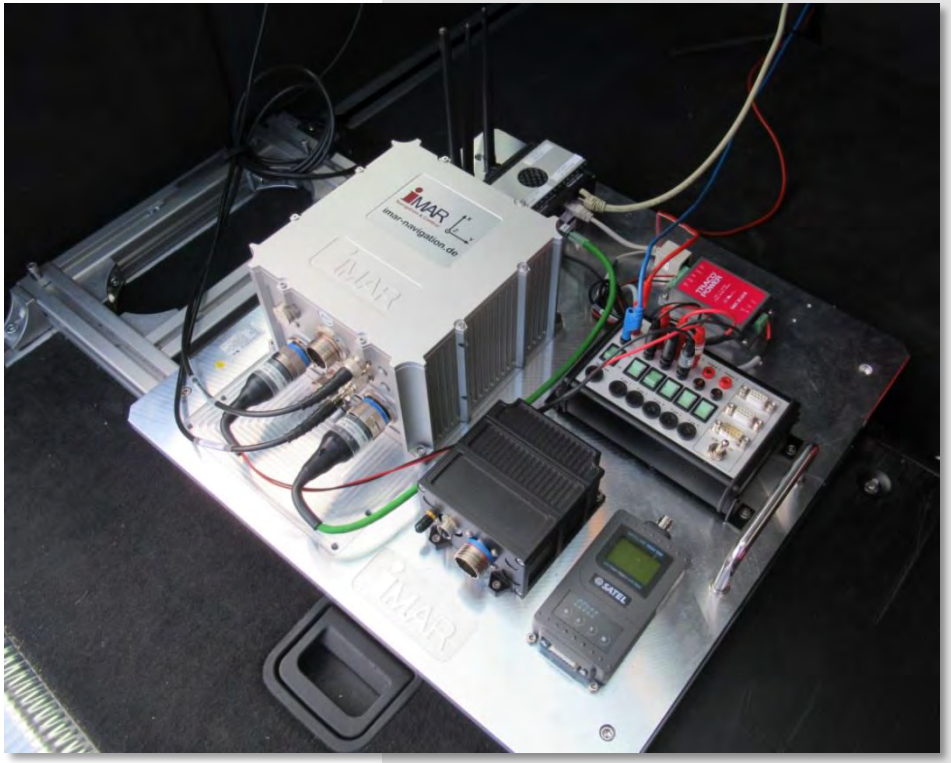
iSWACO-ARGUS: TSV

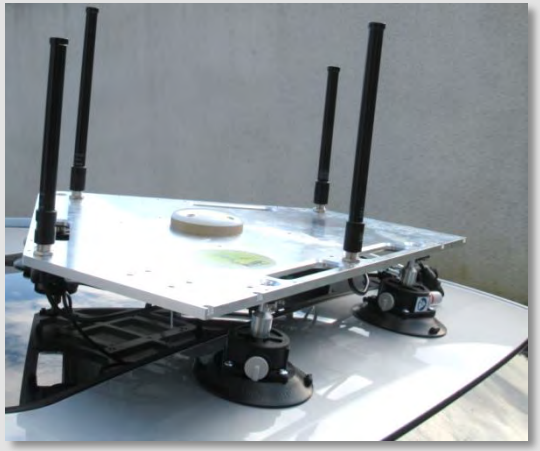
Unmanned **Traffic Support Vehicle** (TSV) with
Localization (iNAT), Dyn. Mesh Communication (iDMN),
Vehicle Control System (iARGUS-VCS),
optional Safety Driver Guidance Tool (iARGUS-SDGT)

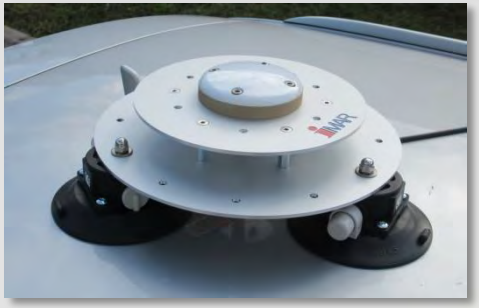
Vehicle Integration

Left figure: Vehicle Implementation on Mounting Plate
iNAT-FSLG-01, iARGUS-VCS Vehicle Control System,
Communication (LTE/GSM/GPRS, WLAN, VHF/UHF)

Right up: iDMN-OHS with GNSS antenna
Right down: GNSS antenna with semi-chokering





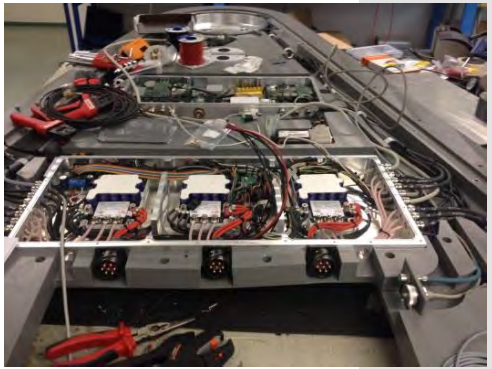


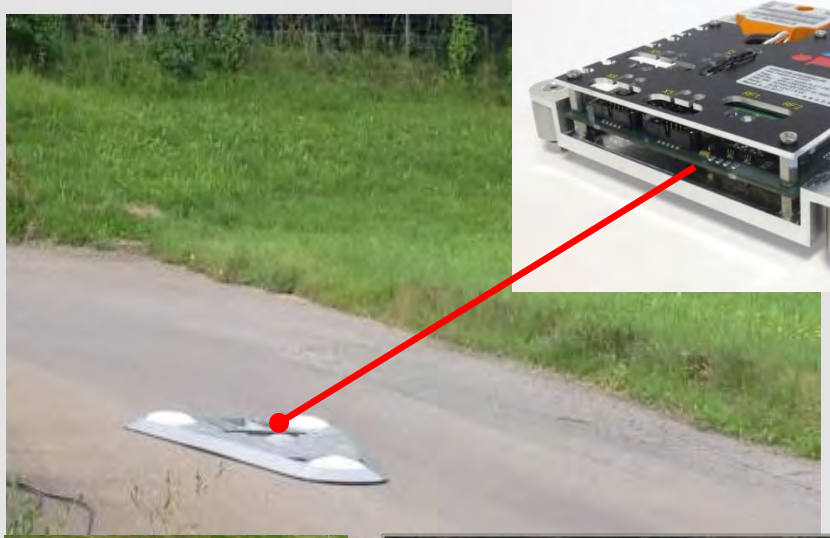
Use Case: Soft Crash Target with iMAR's INS/GNSS Solution

INS/GNSS solution iNAT-M200-FLAT-OEM
for Soft Crash Targets (SCT)

Implementation Example:
Autonomous Driving Platform
„4activeFB" by 4a Systems
(50+ units under contract):

< 50/85 mm height
64/80 km/h velocity
130 kg weight
traversable by cars & trucks





Note: iMAR's design, performance and support won against NovAtel, OXTS, RaceLogic, Genesys and others

iSWACO-ARGUS:
Typical Traffic Scenario (10/2017 in Pferdsfeld)

iMAR NAVIGATION & CONTROL

iARGUS-CC
iREF-L1L2
iDMN

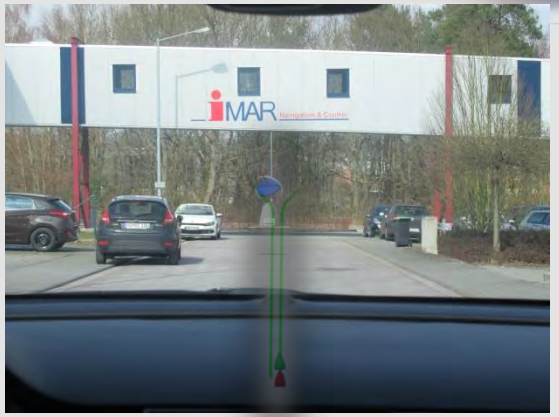
VUT, TSV &
2 SCTs

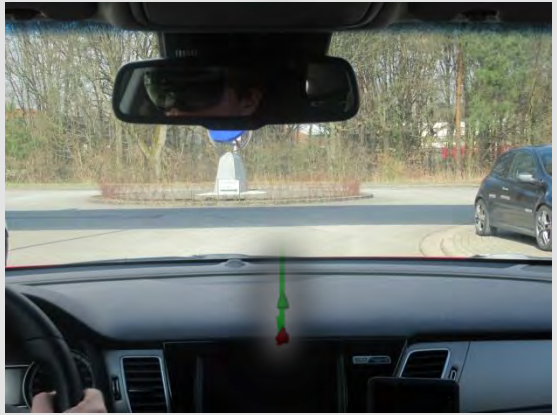
Picture and video acquired from flying hot-spot iDMN-FHS

iARGUS-MV: Machine Vision

- Stereo Vision
- Up to 60 ms frame rate in real-time
- Deep Learning
- Classification and Localization of Objects for Position Aiding of INS
- Visual Odometry for relative Position Aiding w/o Map
- Example: Highway A6, Kaiserslautern to Saarbrücken

iARGUS - Safety Driver Guidance Tool

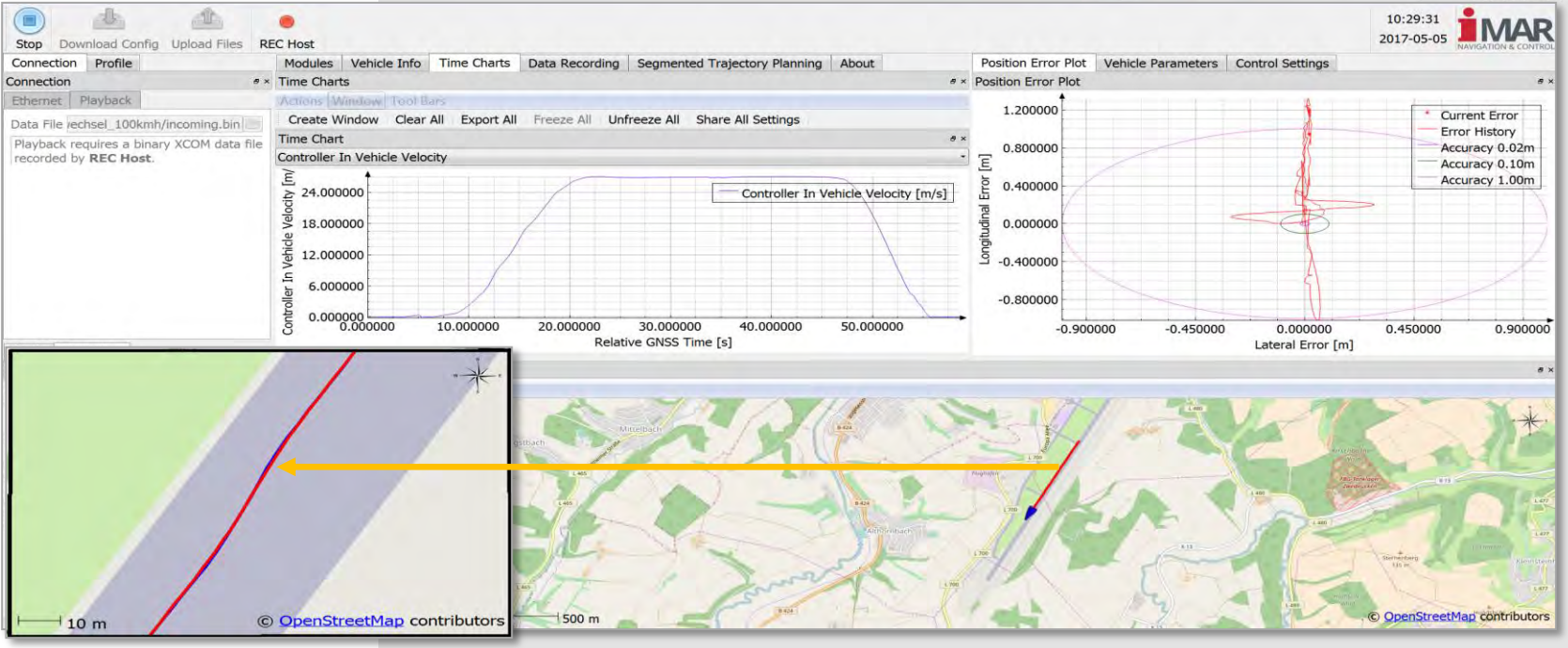




iARGUS-SDGT:

Interactive Guidance
of the Safety Driver
along the
desired Trajectory

iSWACO-ARGUS: Highly Automated Driving – Entire Proving Ground Setup



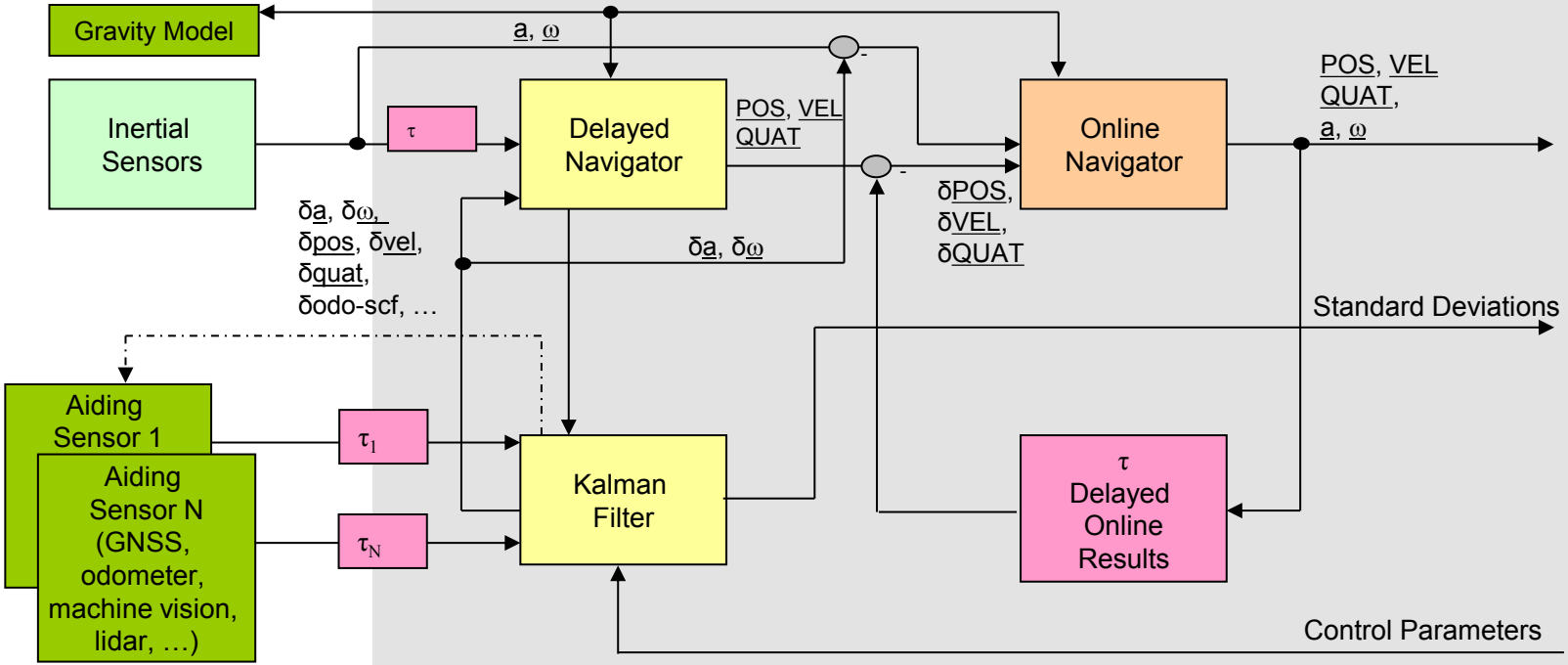
iMAR's Trajectory Planning, Test Execution and Visualization Tool iARGUS-CMD:

Example: Lane change (3.75 m lateral) at 100 km/h with 0.5 g (!) lateral acceleration, driven with full autonomous controlled passenger car (by iMAR's iSWACO-M200 with iARGUS-VCS).

→ lateral deviation < 10 cm @ 80 km/h and 30 cm @ 100 km/h

Datenfusion: Kalman Filter Aided Navigator

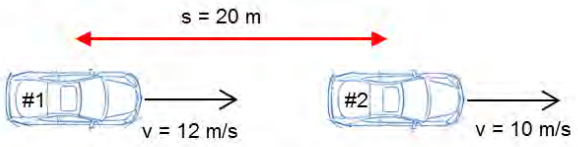
Aufgabe: sehr genaue Zeitsynchronisation aller Messwerte!
Hochgenaue Verfügbarkeit der Position, Richtung und Meßunsicherheit aller Fahrzeuge in Echtzeit!



iSWACO-ARGUS:
Generalized Time-to-Collision

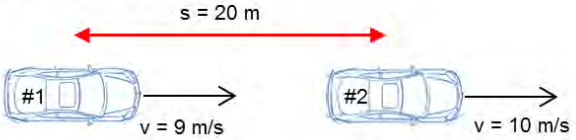
Generalized Time to Collision - TTC

Example 1:



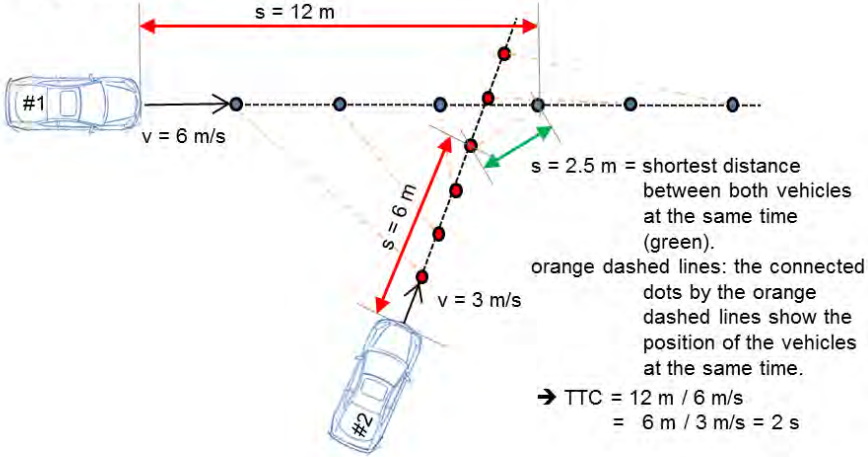
➔ TTC = 20 m / 2 m/s = 10 s

Example 2:



➔ TTC = 20 m / -1 m/s = N/A s (distance increasing)

Example 3:

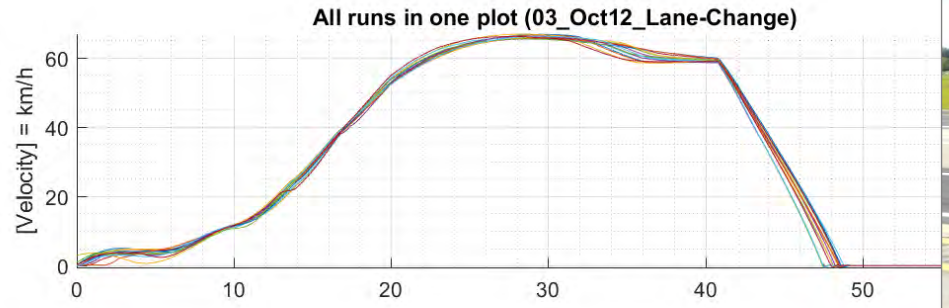


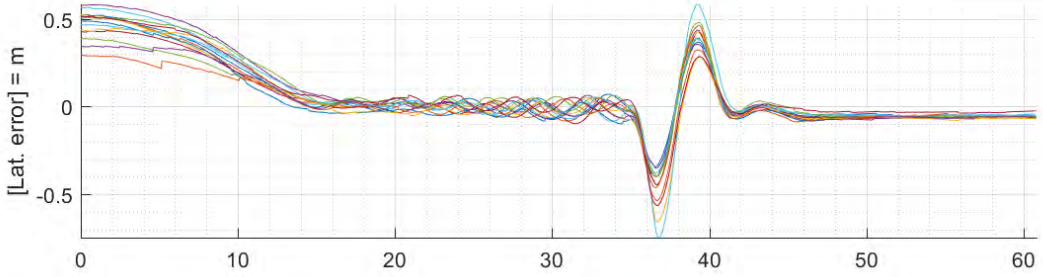
s = 2.5 m = shortest distance between both vehicles at the same time (green).

orange dashed lines: the connected dots by the orange dashed lines show the position of the vehicles at the same time.

➔ TTC = 12 m / 6 m/s
= 6 m / 3 m/s = 2 s

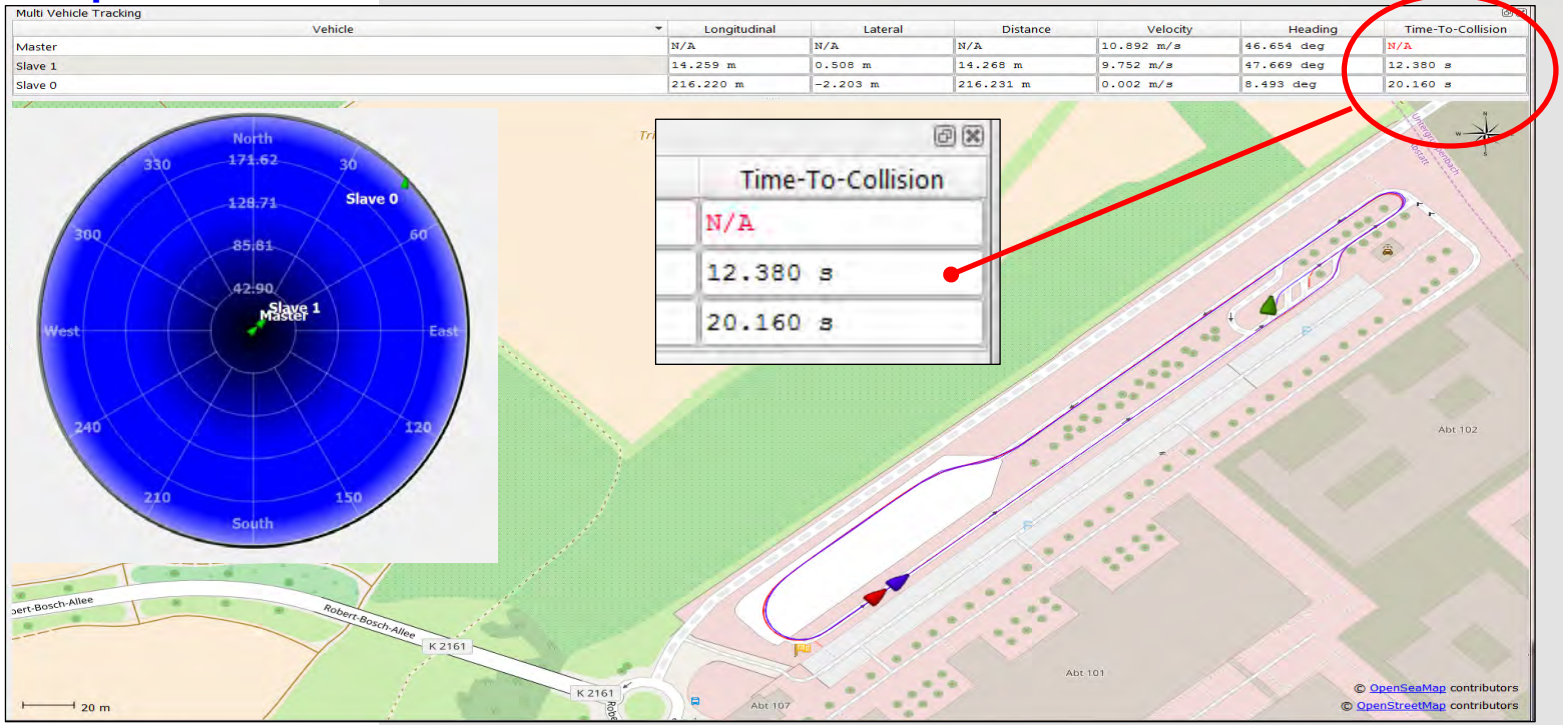
iSWACO-ARGUS:
Lane Change Traffic Scenario





Lateral deviation between actual and desired (planned) trajectory (10 repeated driven tests).
KIA Soul (TSV) fully automated driven by iMAR's iARGUS-VCS using the internal actuators
(no driving robot for steering and throttle)

iSWACO-ARGUS:
Vehicle Tracking in Centimeter Level
- Map and Radar View -



Demonstration of Mobility and Performance at Customer Site: Setup within 1 hour

green: iARGUS-CC Control Center and Slave 0; red: Master (500 Hz); blue: Slave 1 (1…500 Hz)

iMAR NAVIGATION & CONTROL

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

www.imar-navigation.de