

23rd LEIBNIZ CONFERENCE OF ADVANCED SCIENCE

**„Laborgestützte Validierung von GNSS-Systemen
mittels Software Defined Radio Plattformen“**

22. – 23. November 2018

Robert Richter

Gliederung

- Motivation
- Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator
- Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios
- Nutzung von SDR zum Testen für automatisiertes Fahren
- Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich

Motivation/Herausforderung - Wo müssen verkehrstelematische Anwendungen funktionieren?



<http://www.schwanstetten.de/index.php?id=36>



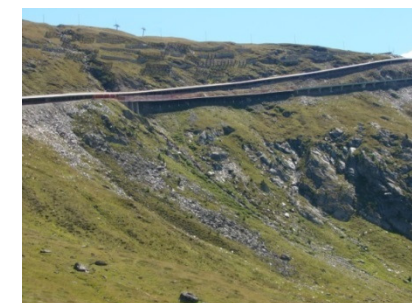
<http://www.fahrbier.de/2012/04/lightrail-minneapolis.html>



<http://www.s-bahn-forum.de/viewtopic.php?p=2857>



<http://kynnel.biz/photography/>



[ISS 2014]

Motivation/Herausforderung - Wo müssen verkehrstelematische Anwendungen funktionieren?

Fahrzeuge der Zukunft – Signale – Ortung, Kommunikation, Umfeld, ...?



Motivation/Herausforderung - Wo müssen verkehrstelematische Anwendungen funktionieren?

Ziel →

Telematikkomponenten (z.B. GNSS-Empfänger) unter gleichen Umgebungsbedingungen im Labor validieren



Warum?

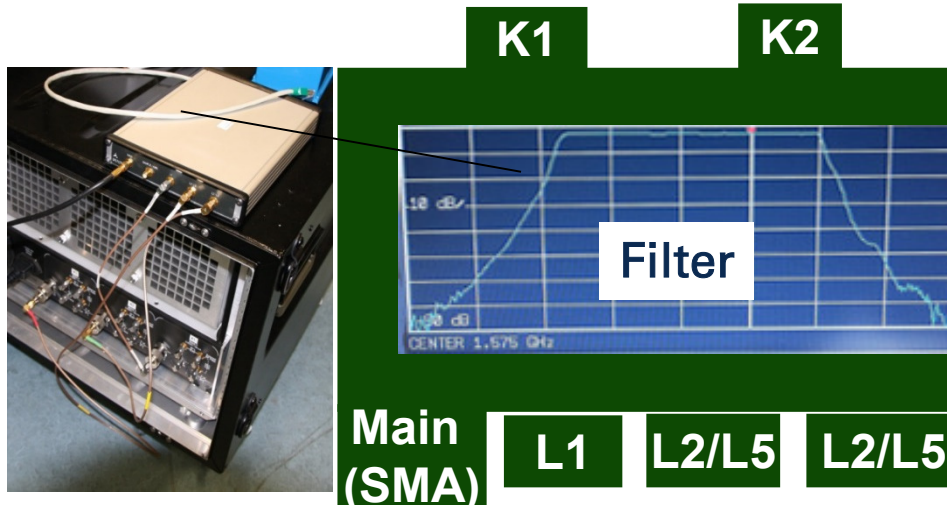
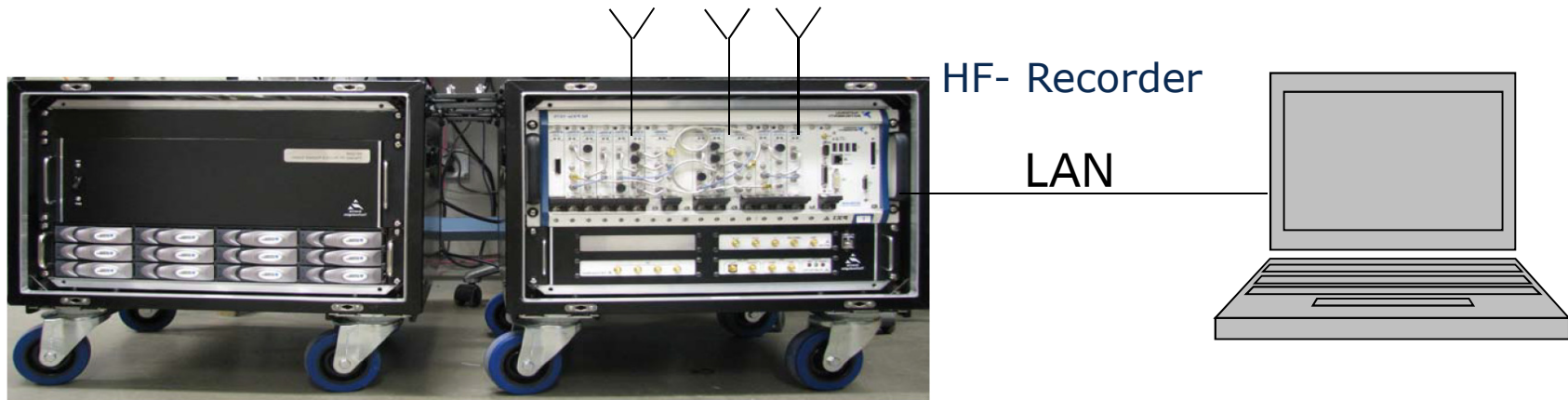
- Feldtests oft aufwendig durchführbar und kostenintensiv (VT: Straße, Schiene, Wasser, Luft)
- Wiederholbarkeit bezgl. gleicher Ausgangs- und Umgebungsbedingungen i.Allg. unmöglich

Fazit: nur Bewertung der im Feldtest eingesetzten Telematikkomponenten gegeben



Wie?

Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator



- Disk Array (20 TB)
- 3 Kanal RF Recorder (IQ Daten)
- Remote Einheit
- Filter (angepasster Bandpass)

Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator

Ansatz

Hochfrequenz (HF) - Umfeldsimulator



(HF) – Generator

- Generierung protokollkonformer HF -Signale



(HF) - Aufzeichnung

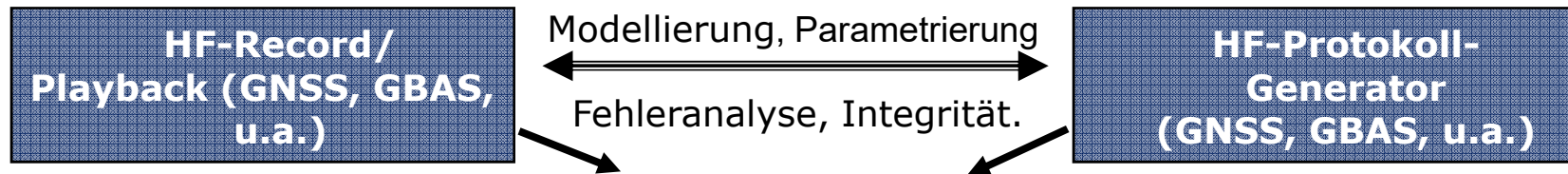
- Signalaufzeichnung von HF-Umgebungs-
signalen



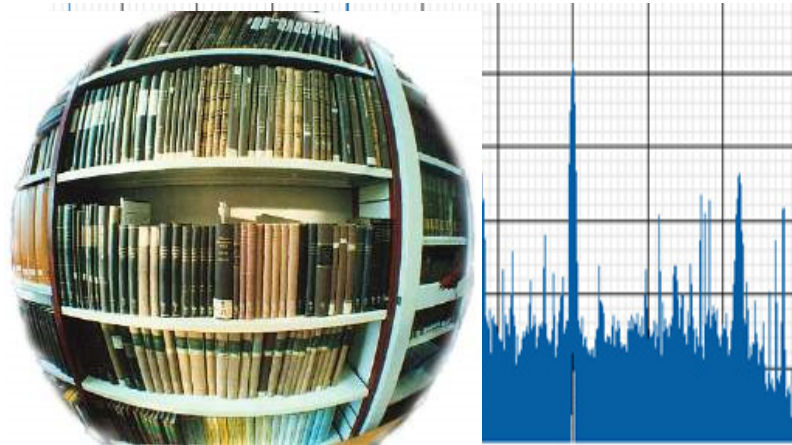
(HF) - Wiedergabe

- Signalwiedergabe von HF-
Umgebungs-
signalen

Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator



GNSS-gestützte Validierungs-, Experimental- und Demonstratorplattform



*Bibliothek von markanten Signal -
umfeldszenarien für*

Schifffahrt / PNT (Schleuse, Brücke,
Kanalfahrt, u.a.)

Schienenverkehr / TLU (Bahnhof, Tunnel,
Schranke, u.a.)

Straßenverkehr (Stadt, Autobahn, Tunnel,
u.a.)

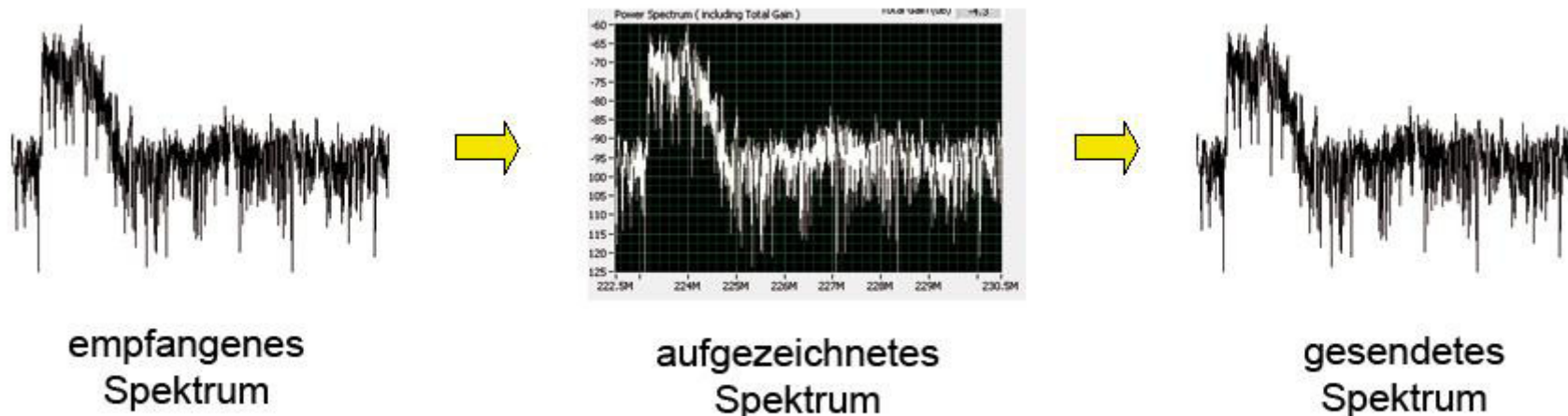
Luftfahrt (Rollfeld, ACAS, Altimeter, u.a.)

Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator

→ Aufzeichnung/Playback von HF-Signalen

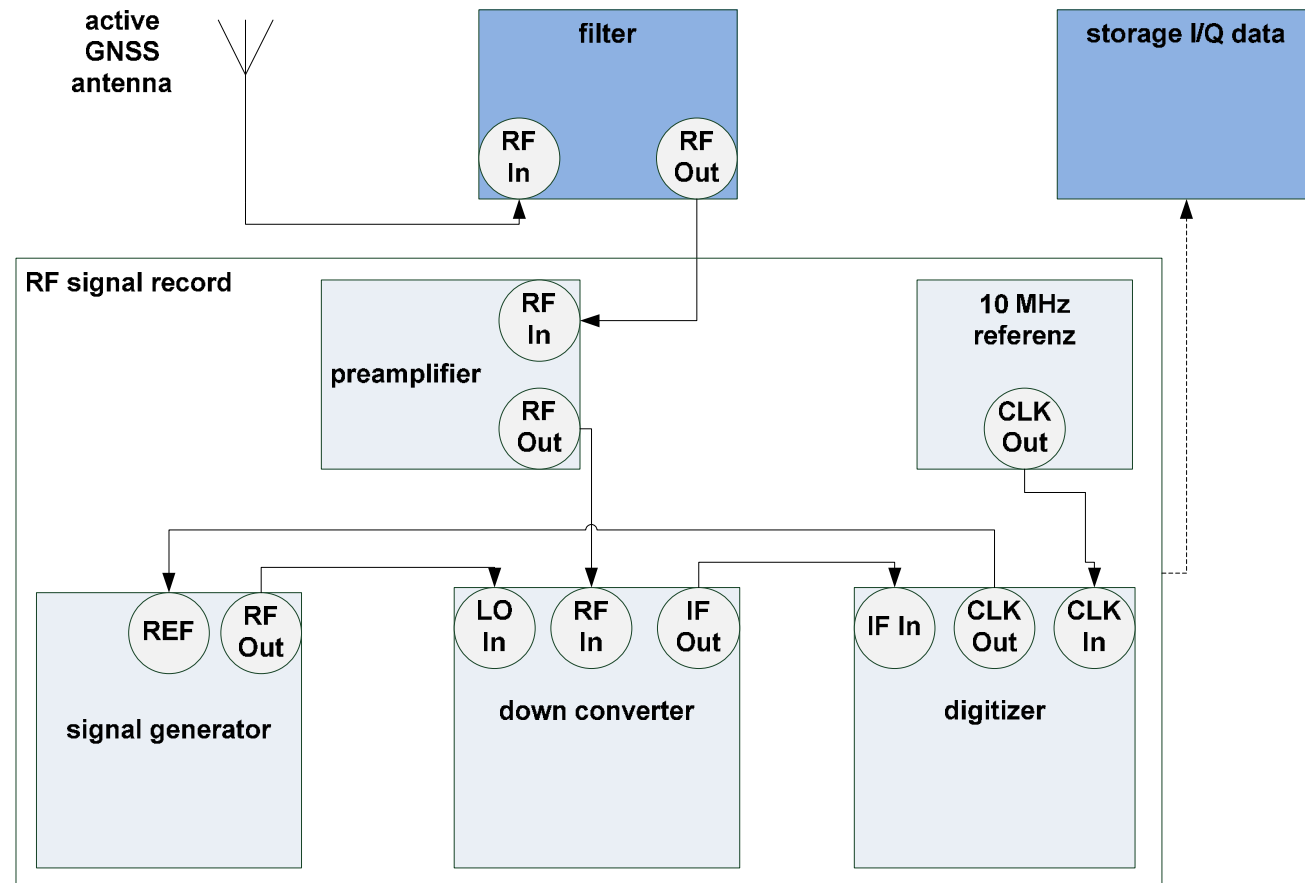
→ Generierung/-analyse von HF-Signalen

- Typische Bandbreite derzeit (2018) 50 - 160 MHz
- Spektrum zwischen 150 kHz und 6 GHz
- Dynamikumfang > 130 dB (mit Vorverstärker)
- Dynamikumfang Kontrolle
- Automatische Verstärkungskontrolle



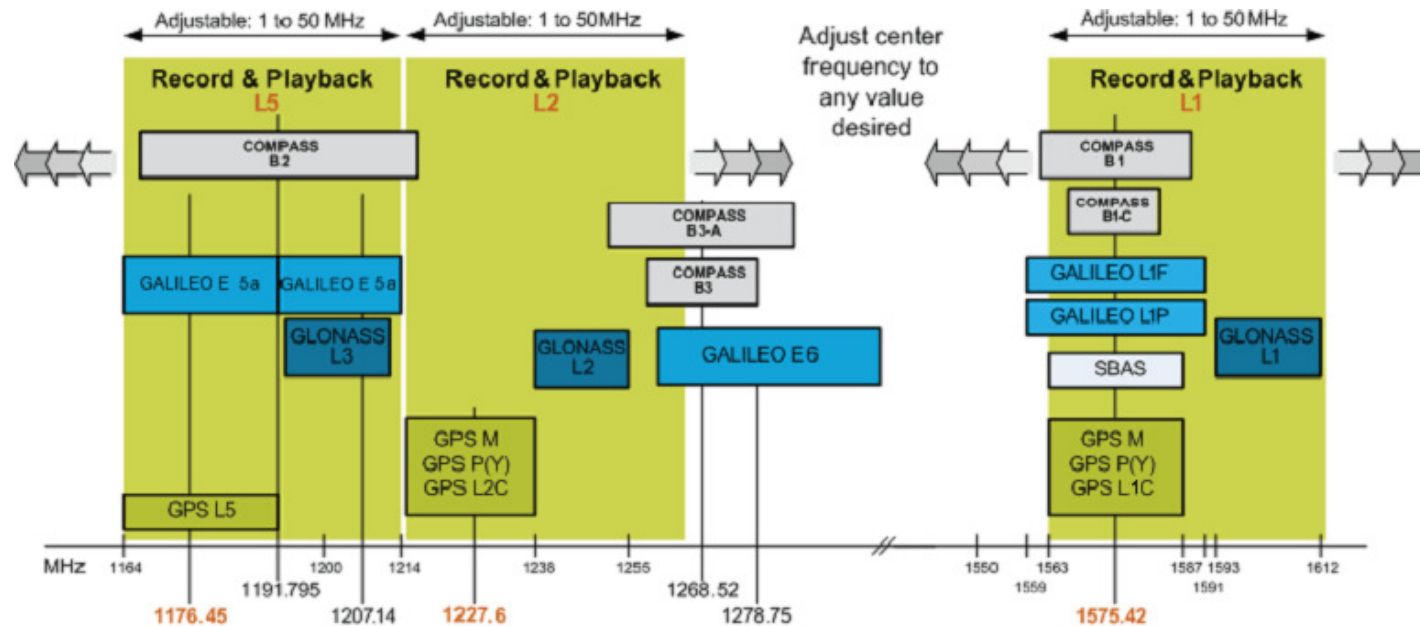
Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator

RF Signal Recorder



Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator

- 3 x variable HF-Kanäle für GNSS Messungen (BW = 50 MHz)
- z.B. L1 GPS+SBAS, L2 GPS, L1 GLONASS



[Averna.11]

Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator

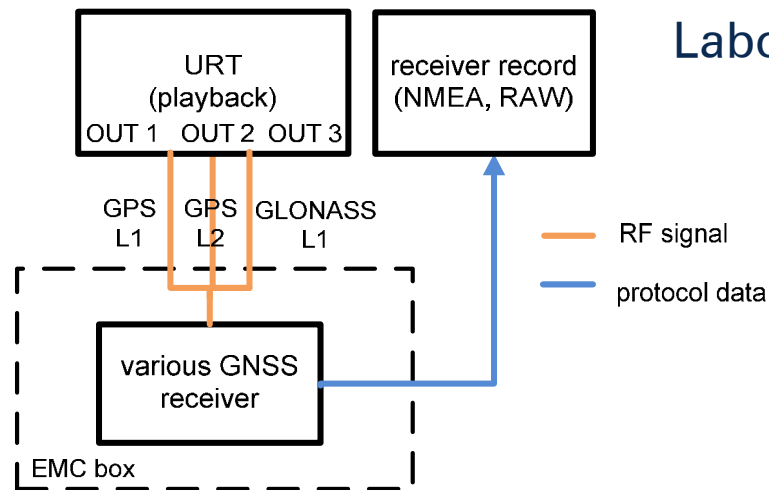
- Speicherbedarf in Abhängigkeit von der Bandbreite

Bandbreite (MHz)	Abtastrate (MSamples/s)	Speicherbedarf (MByte/s)
1	1,25	5
2	2,5	10
2,5	3,125	12,5
4	5	20
5	6,25	25
6	8,333	30
8	10	40
10	12,5	50
13,333	16,667	66.667
20	25	100

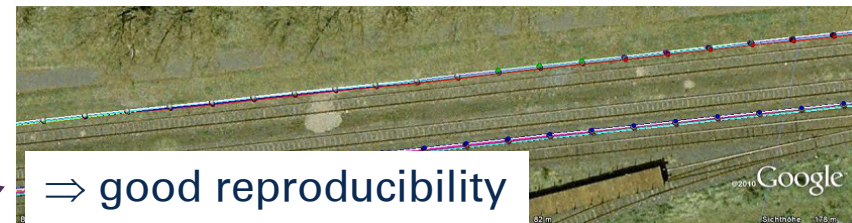
→ Raid 0 – Striping Verbund (Beschleunigung ohne Redundanz)

→ Aktuell für Record 50 MHz Bandbreite und damit 250 Mbyte/s

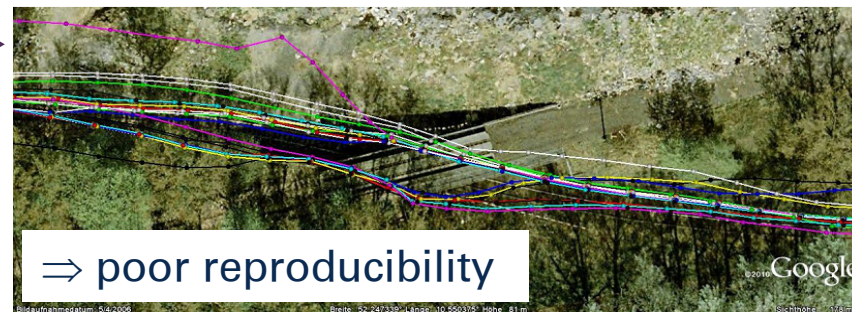
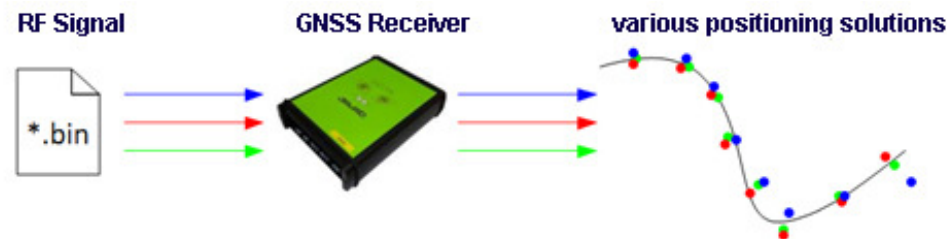
Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator



First Results:

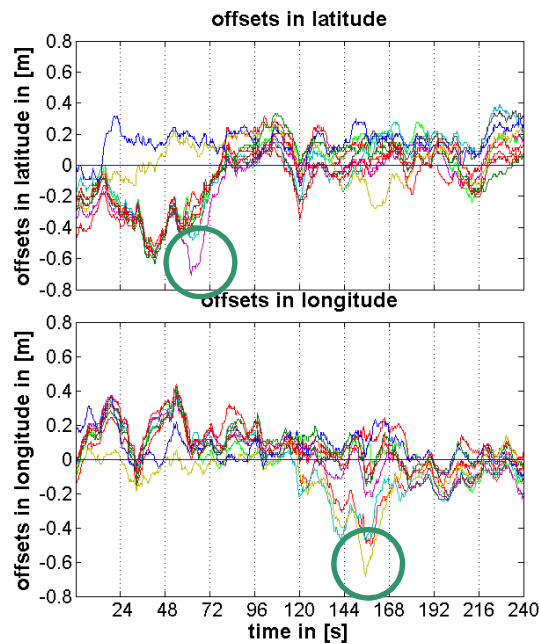


Evaluation Procedure



Grundlagen - Software Defined Radio als Umfeldsimulator

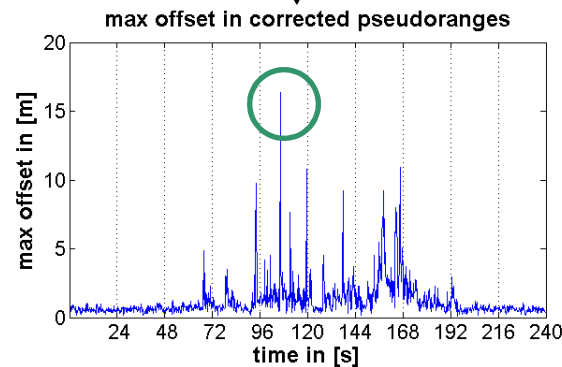
- Leistungsnachweis der Validierungsumgebung
- Laborauswertungen am Bsp. Kinematischer Messungen



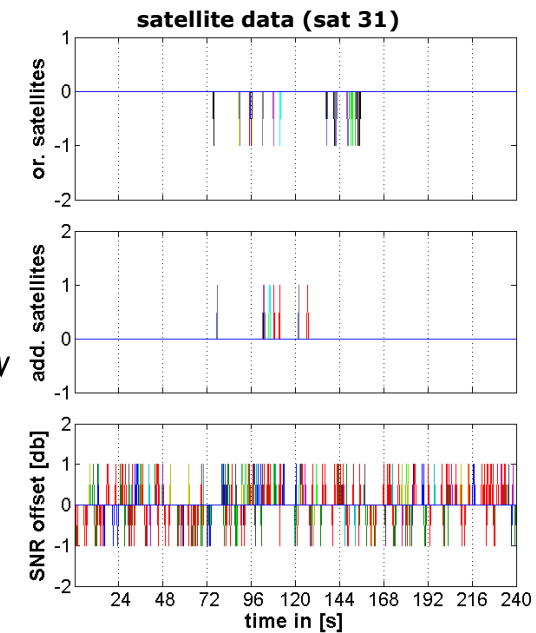
offset in longitude / latitude
 $\leq 0.8 \text{ m}$

zero line = values originally recorded by receiver
 coloured lines = offset in playback runs

Maximum offset in raw data measurement of playback runs (satellite 31)



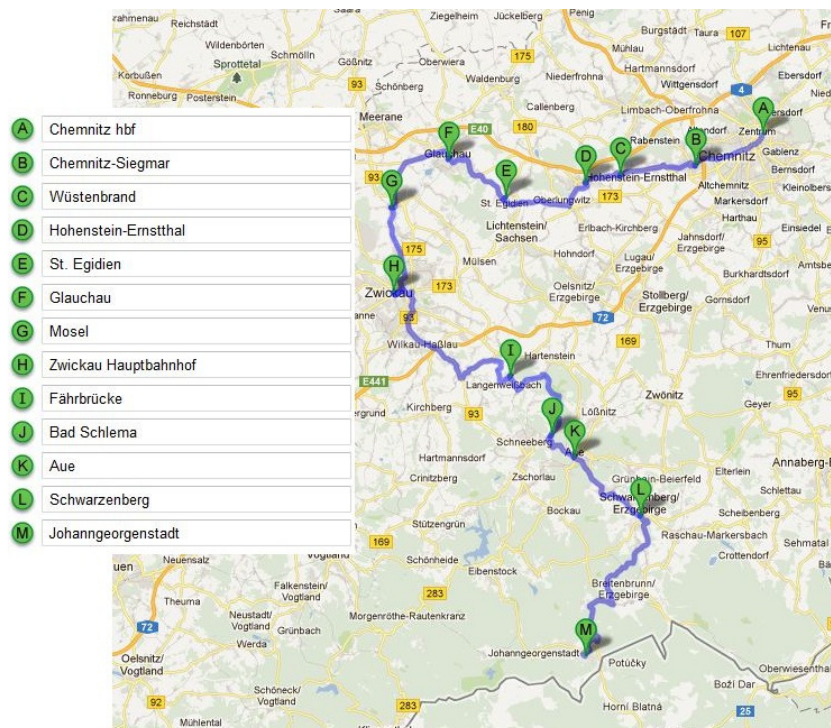
offset in pseudoranges
 $\leq 17 \text{ m}$



$\Delta_{\text{original sat.}} \leq 1$
 $\Delta_{\text{additional sat.}} \leq 1$
 $\Delta_{\text{SNR}} \leq 1 \text{ dB}$

Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Aufzeichnung von Messdaten
 - Messfahrten mit der Erzgebirgsbahn (2012)



Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

Testdaten / Aufzeichnung PNT/TLU relevanter Signale und Szenarien



- HF-GNSS, RAW, NMEA



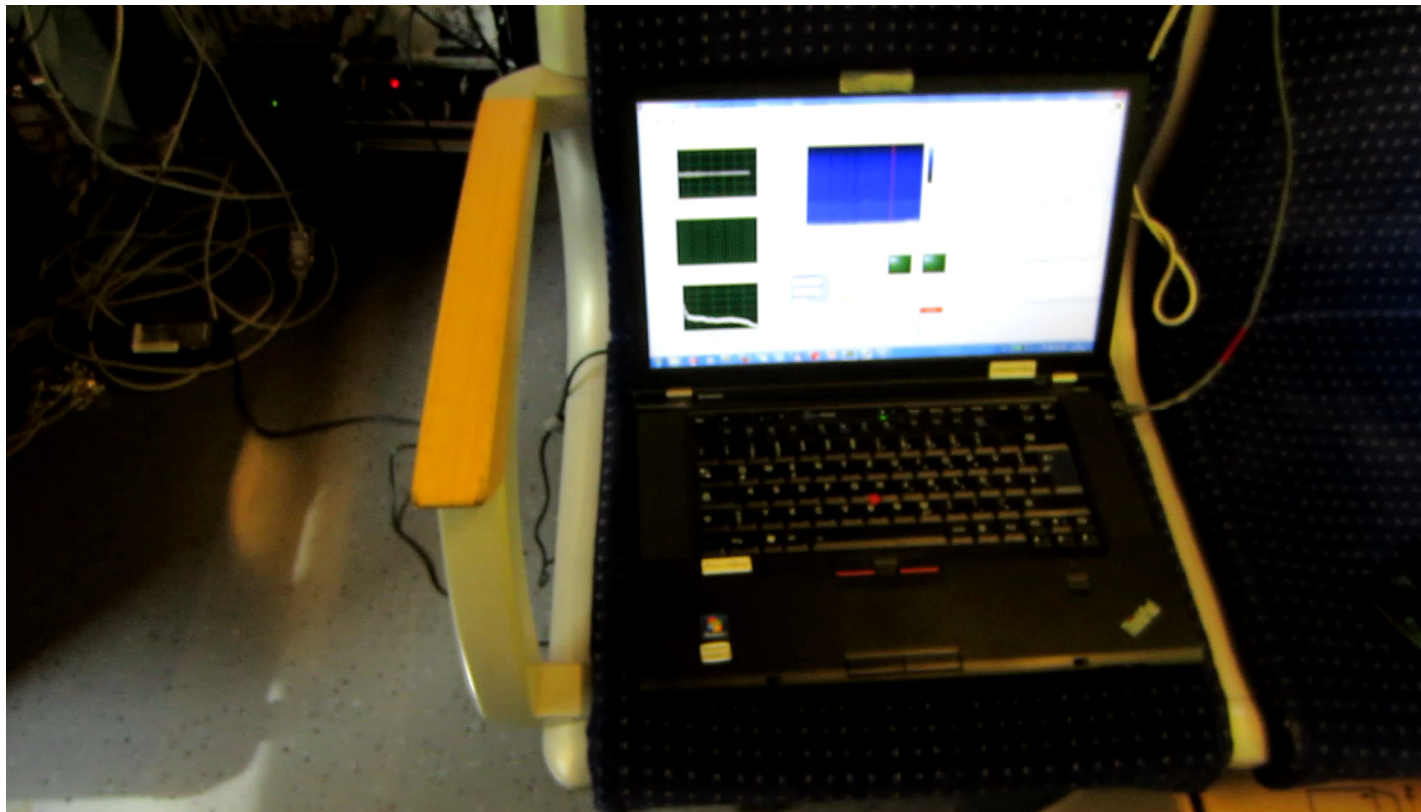
- Beschleunigungs-,
Vibrationssensoren



- Mikrophon

Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Video zur Aufzeichnung von Messdaten im Bahnumfeld – Messfahrt mit Einsatz des Software Defined Radio basierten Umfeldsimulators

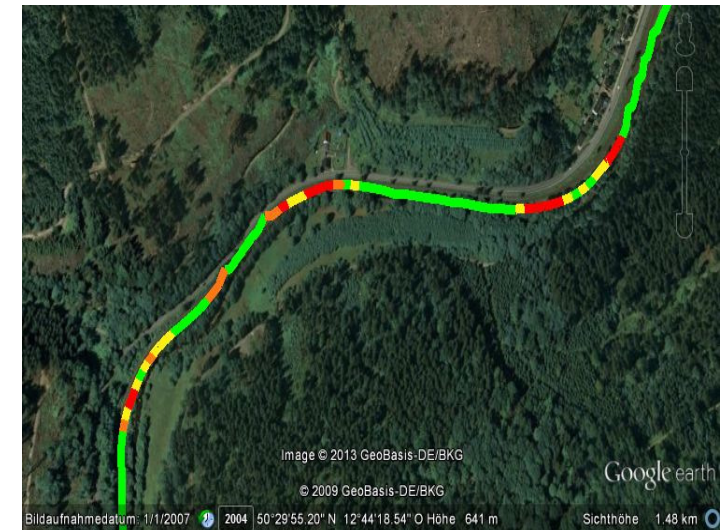


Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Beispielanwendung - Automatische Spurkranzschmierung

Ziel → Vermeidung von Kurvenquietschen

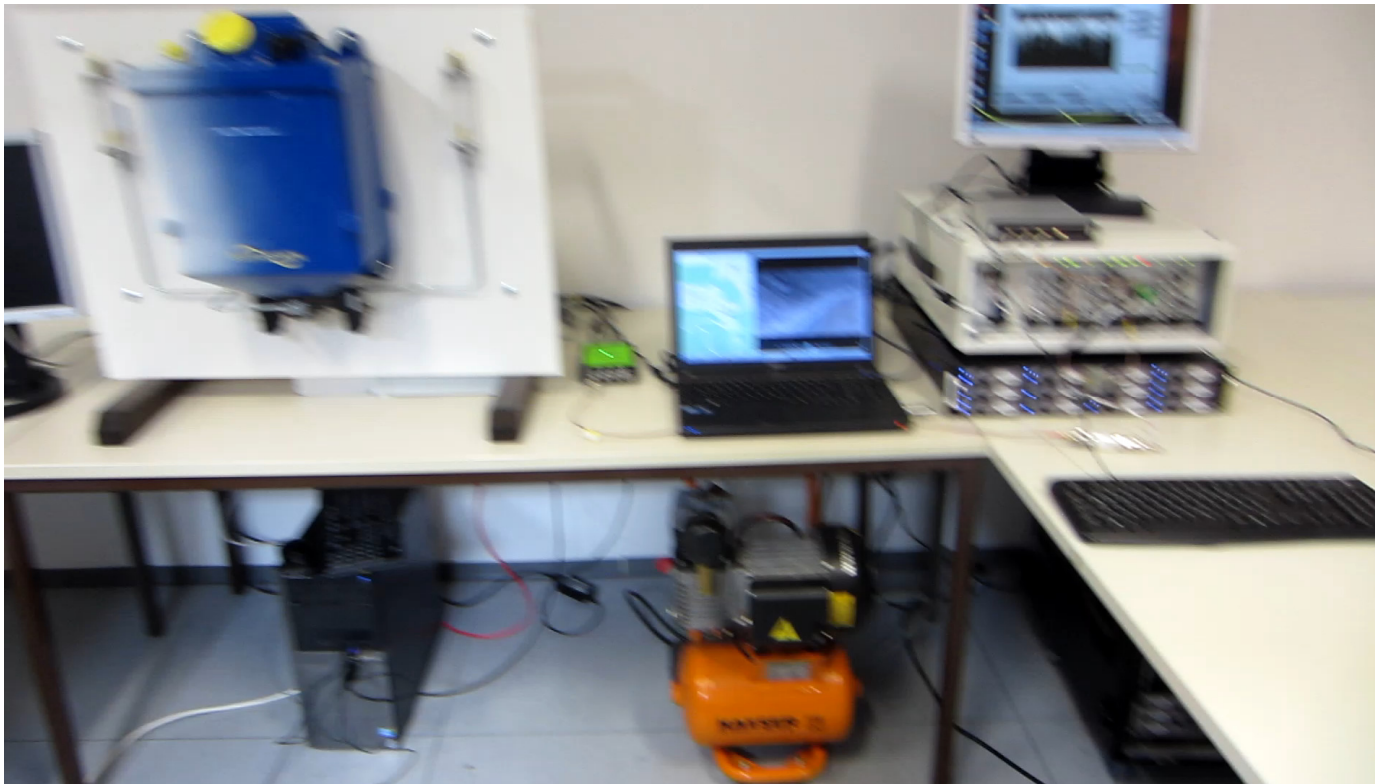
- Verringerung des Verschleiß durch Reibung von Rad und Schiene
- Minimierung der Lärmbelästigung
- Verwendung von Inertialsensorik und GNSS zur gleisselektiven Ortung für virtuelle Balisen
- Aufnahme und Auswertung von Akustikdaten
→ Intensitätsschwellen
- Test und Optimierung unter Laborbedingungen



Quietschintensitätskarte: grün
kein, gelb leichtes, orange
starkes, rot sehr starkes
Quietschen

Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

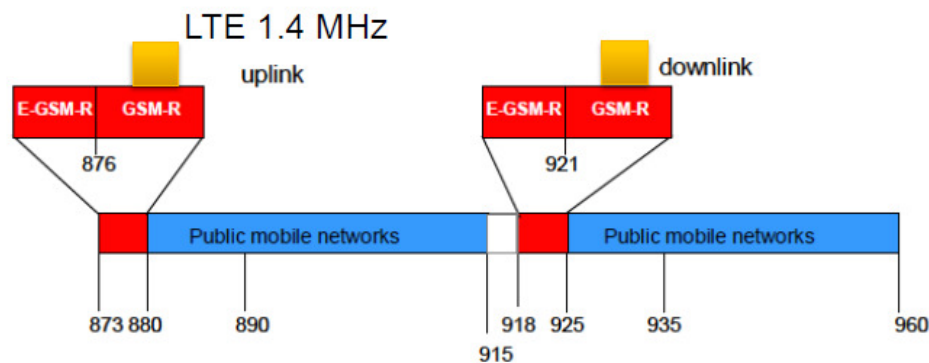
- Video zur Validierung einer Spurkranzschmierung auf Basis von vorher aufgezeichneten und wieder im Labor generierten Bahnumfeldsignalen



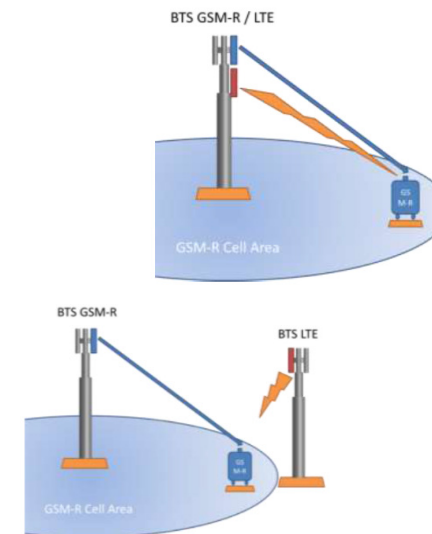
Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Beispielanwendung - Interoperabilitätsuntersuchungen zwischen LTE und GSM-R für Bahnbetriebsanwendungen auf Basis SDR-Komponenten

Ziel → Modernisierung der Bahnkommunikation hin zu höheren Datenraten

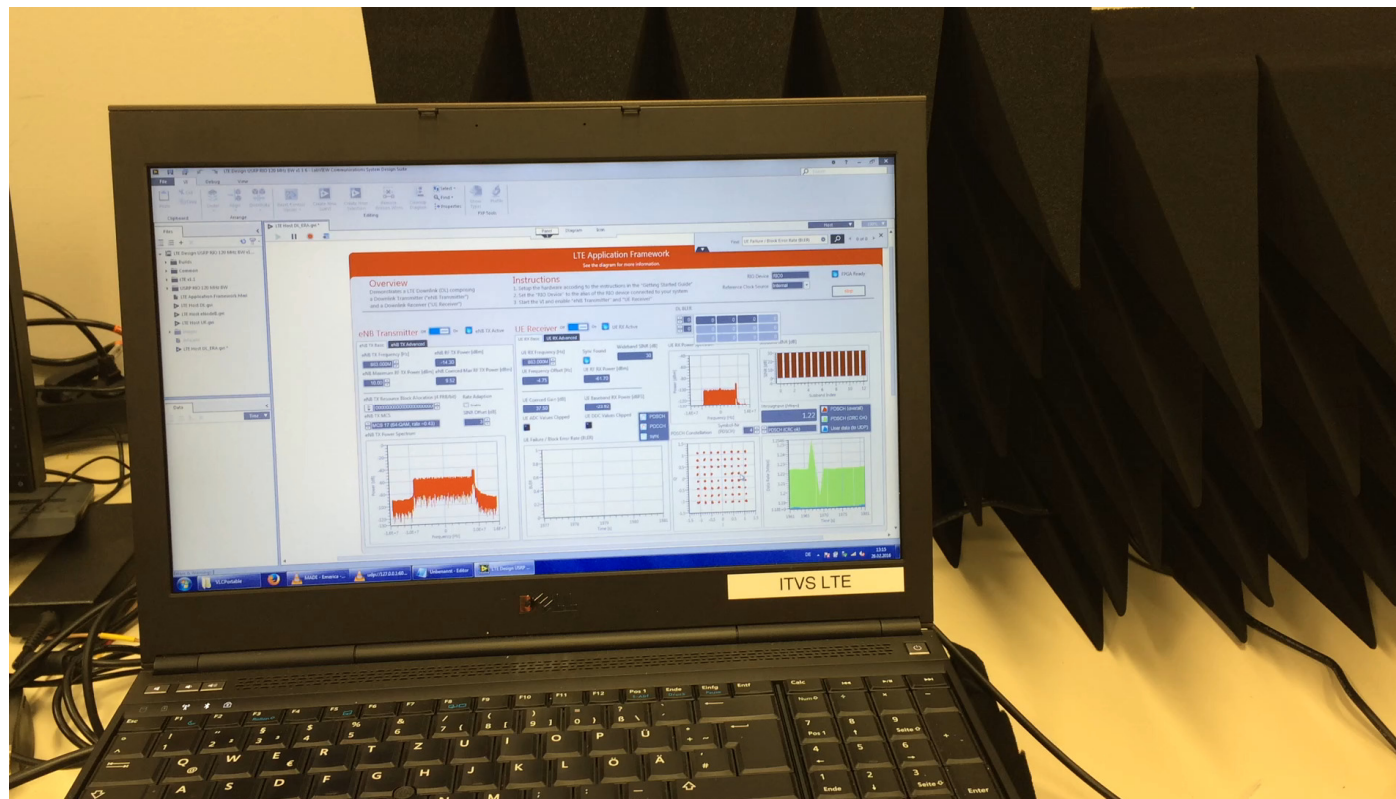


- Interoperabilität bei Parallelbetrieb
- Offen: Systematische Untersuchung der Grenzbedingungen
- verschiedene Szenarien



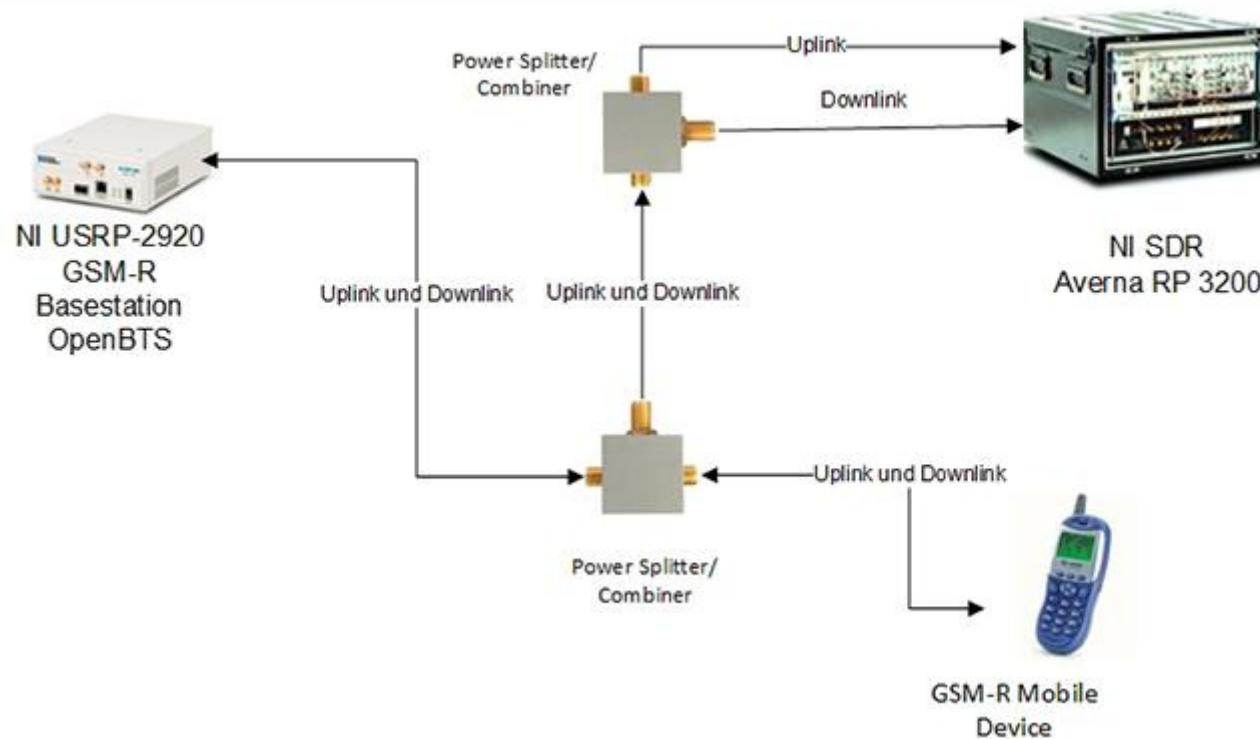
Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Video zur Untersuchung der Interoperabilität von GSM-R und LTE auf Basis von Software Defined Radios



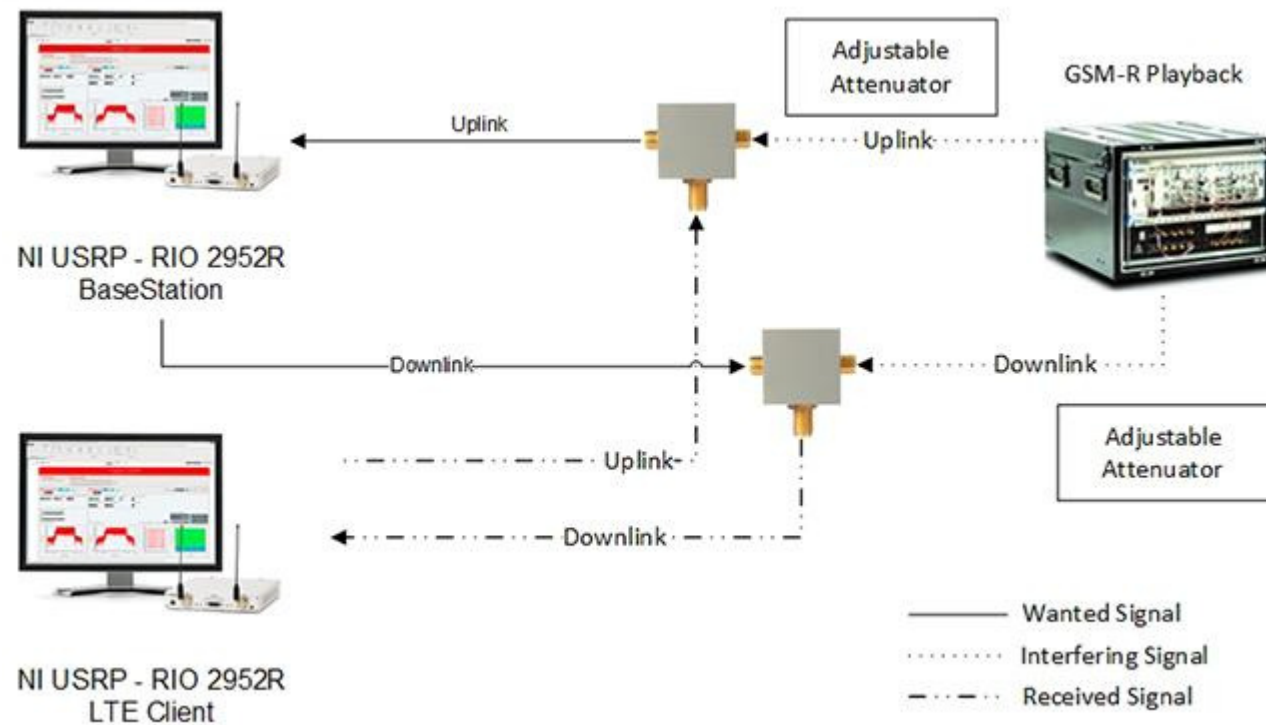
Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Untersuchung der Interoperabilität von GSM-R und LTE auf Basis von Software Defined Radios

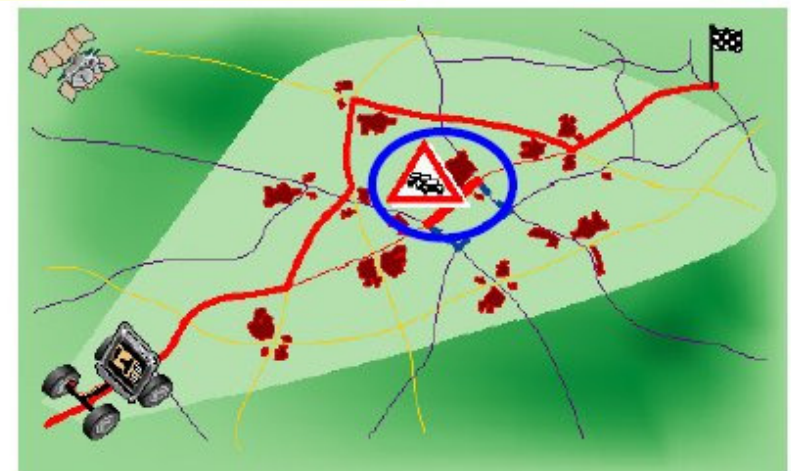
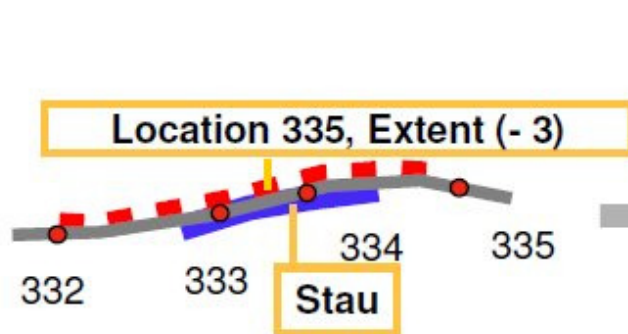
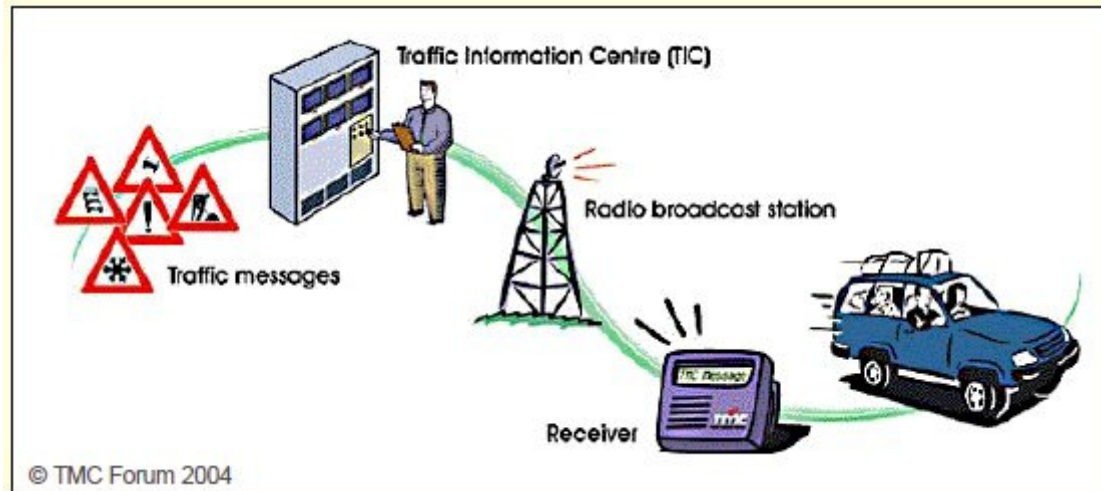


Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- Untersuchung der Interoperabilität von GSM-R und LTE auf Basis von Software Defined Radios



Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

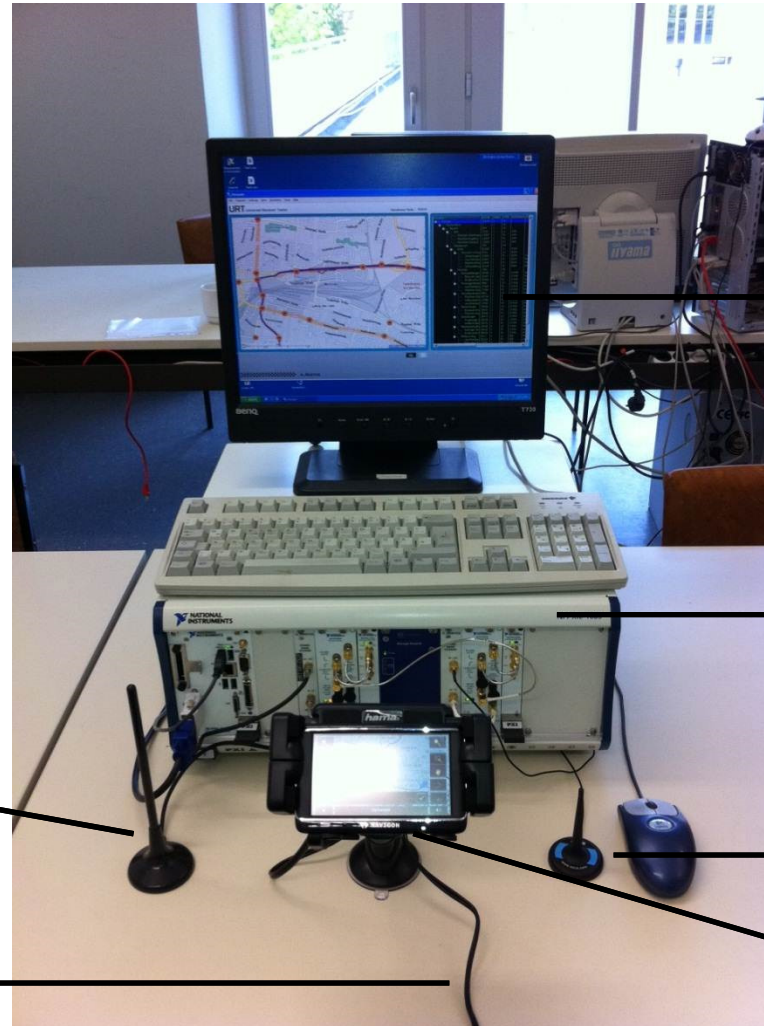


Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

Verkehrstelematische
Anwendung



Diagnose von Navigationsgeräten



GPS – Streckenerstellung
+
TMC Meldungsgenerierung

HF-Playbacksystem
(Generierung GPS+TMC)

GNSS-Sendeantenne
Playbacksystem

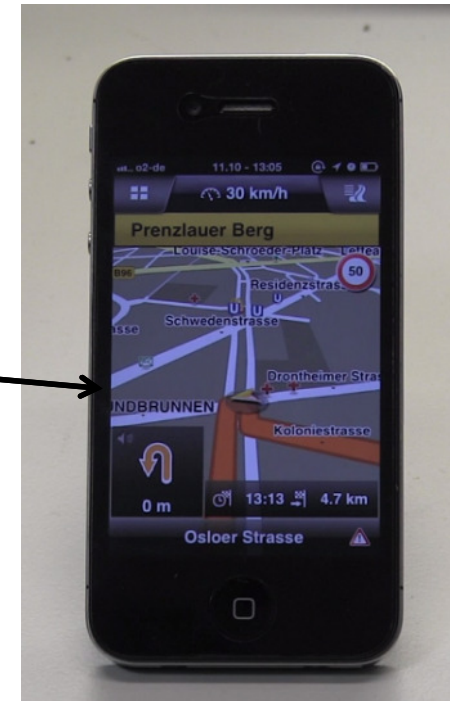
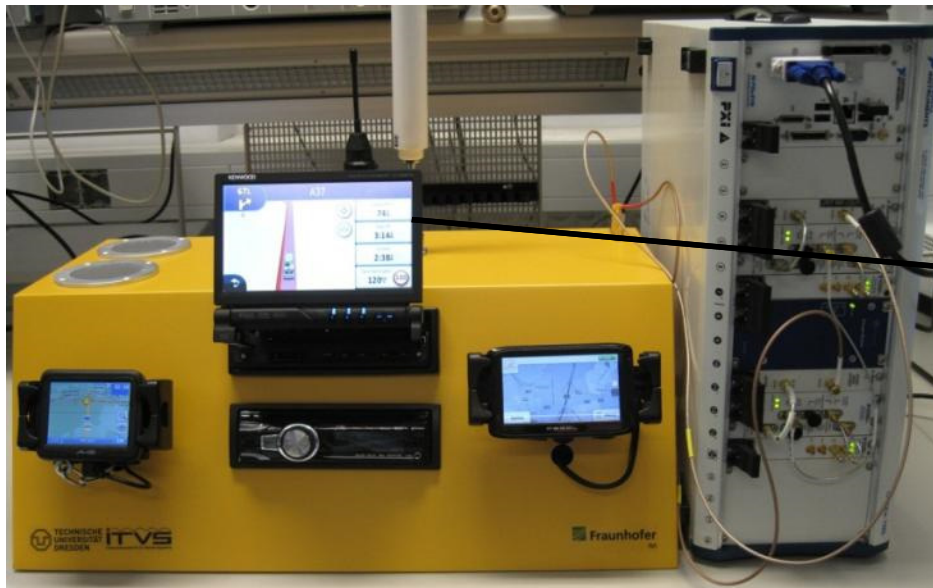
TMC-Sendeantenne
Playbacksystem

TMC-Empfangsantenne
Navigationssystem

Navigationssystem zur
Vorführung

Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

Test von mobilen Navigationsgeräten



GPS + RDS/TMC Generator

2x Signalgeneratoren & 2x Aufwärtswandler

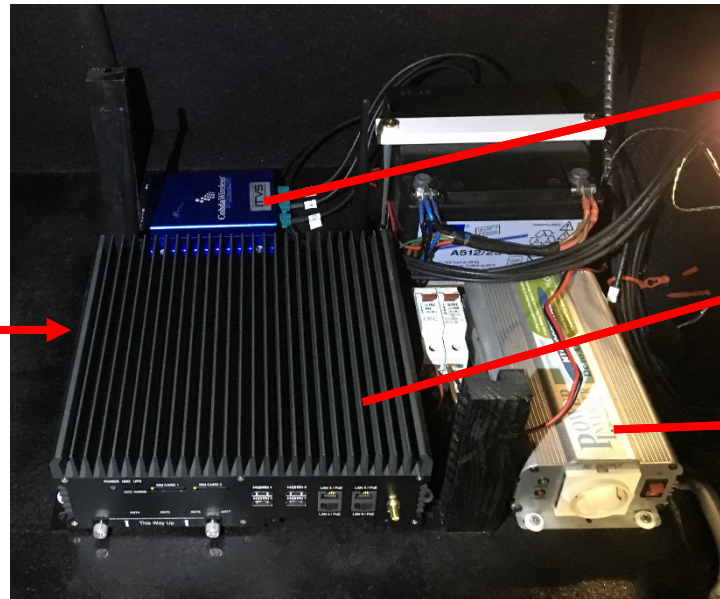
Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- 3D Druck – Schirmkapsel TUD-ITVS
 - Ziel Abschirmung von Antennen für Signal Spoofing



Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- 3D Druck – Schirmkapsel TUD-ITVS
 - Ziel Abschirmung von Antennen für Signal Spoofing



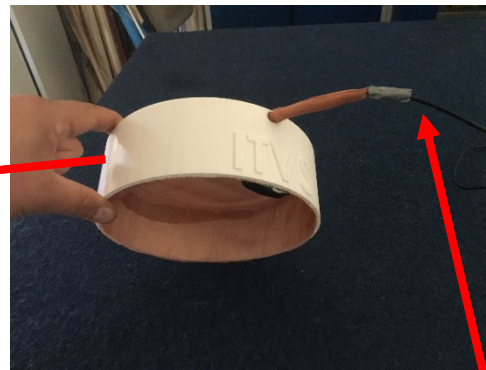
Car2X OBU

Car PC

DC/AC-Converter

Einsatzmöglichkeiten von Software Defined Radios

- 3D Druck – Schirmkapsel TUD-ITVS
 - Ziel Abschirmung von Antennen für Signal Spoofing



GPS L1 Spoofing



Nutzung von SDR zum Testen für automatisiertes Fahren

Folgende Gedanken/-spiele dazu:

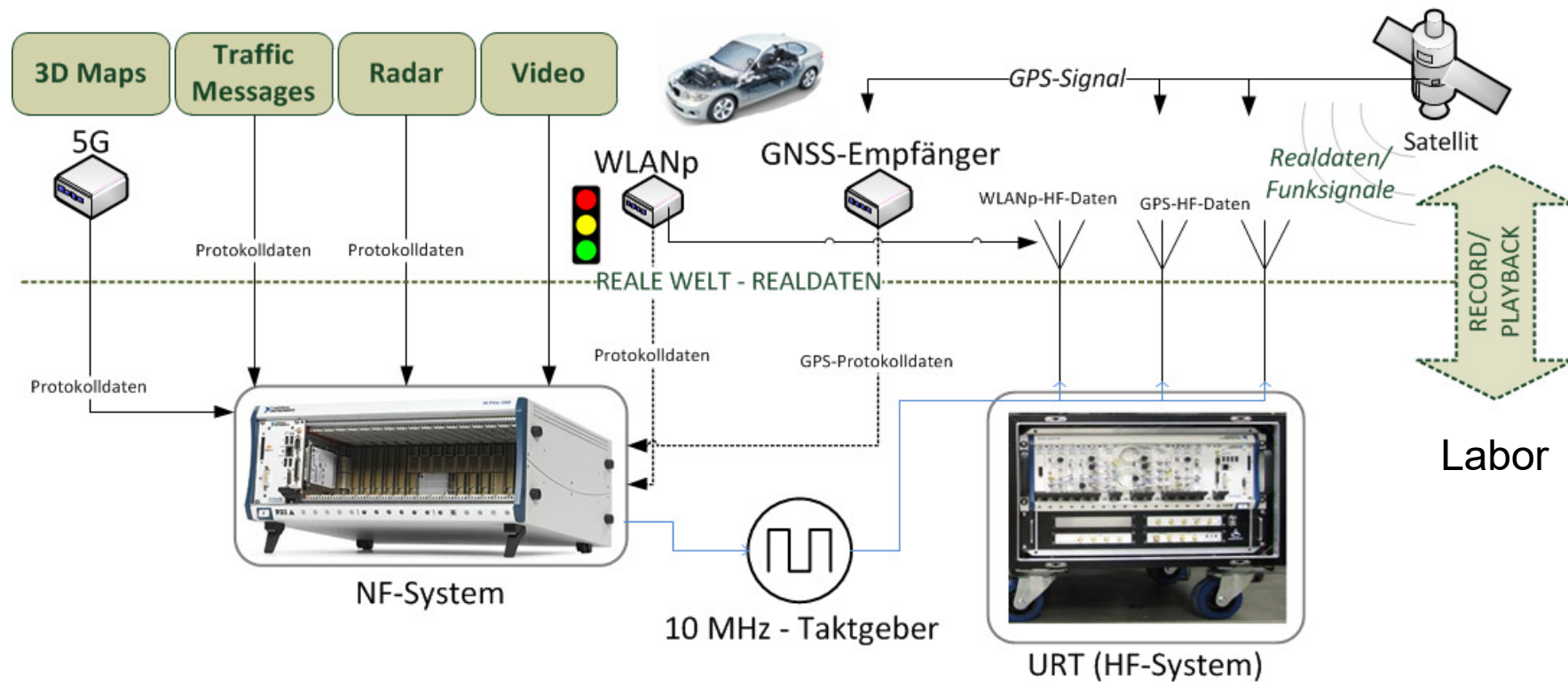
- Ein vollautomatisiertes und später autonom fahrendes Fahrzeug muss vollumfänglich hinsichtlich seiner Funktionen (Fahr- und Betriebsstrategien) getestet sein um überhaupt eine Erstzulassung (Homologation) zu bestehen.
- Alle dazu erdenklichen verkehrlichen Szenarien können in Echt-(-zeit) nicht getestet werden. Dafür sind zum einen manche Szenarien und Ereignisse extrem selten und zum anderen würde die schiere Vielzahl der restlichen, alle derzeitigen Testmöglichkeiten an ihre Grenzen bringen.
- Als These sei hier gestellt – Selbst wenn autonome Fahrzeuge auf beispielsweise 500.000.000.000 km Testfahrten trainiert und untersucht werden, ist dies nicht ausreichend.

Nutzung von SDR zum Testen für automatisiertes Fahren

Schlussfolgerungen:

- Man muss also den Zeitbezug der zu trainierenden Szenarien eliminieren bzw. ausreichend verringern um sinnvoll testen zu können.
- Man muss weiterhin in der Lage sein, die Szenarios zum Training entweder hinreichend genau nachzustellen oder aus der Realität (Testfahrt) aufzeichnen und später reproduzierbar wiedergeben.
- Man muss sich Gedanken machen, welche Signale für eine virtuelle Systemfunktionalität überhaupt relevant sind. Dies meint vereinfacht, wie kann ich dem Fahrzeug vorgaukeln, dass es fährt obwohl es im Labor steht?
- Software Defined Radios können dazu einen Beitrag leisten.

Nutzung von SDR zum Testen für automatisiertes Fahren



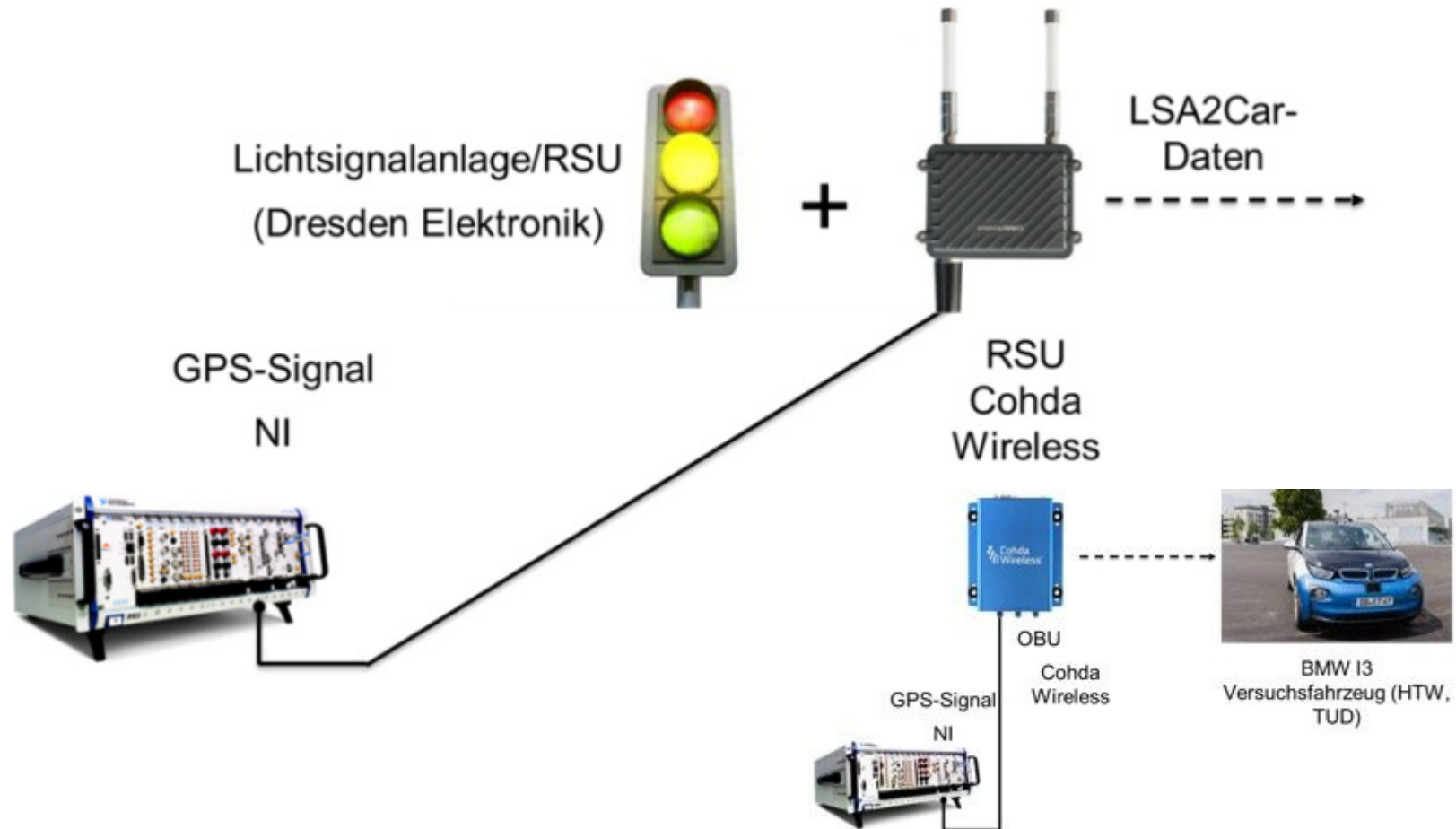
Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich



Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich

- Voraussetzungen für einen SDR-basierten Labortest
- Es muss konkret ein Szenario mit technischen Teilsystemen nachgestellt werden, welches eine Anfahrt auf eine beliebige Lichtsignalanlage in einer Stadt so real wie möglich darstellt.
- Nachfolgende Teilsysteme sind dazu relevant:
 - Eine Lichtsignalanlage mit Kommunikations- und Ortungsmodul der sogenannten Road Side Unit (RSU)
 - Ein im städtischen Bereich fahrendes Fahrzeug mit Kommunikations- und Ortungsmodul der sogenannten On Board Unit (OBU)

Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich



Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich



Abbildung 4 – Lichtsignalanlage der Firma dresden elektronik auf deren Betriebsgelände während eines SDR-GNSS Tests



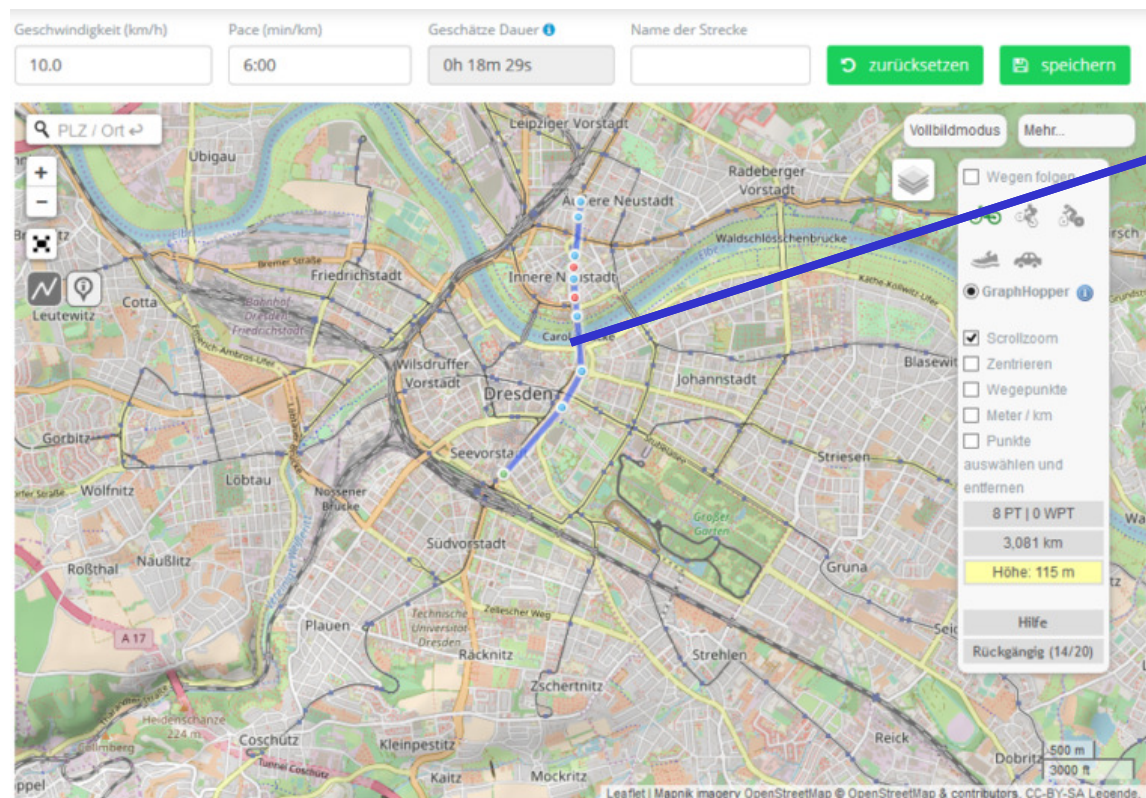
Abbildung 5 Unser kleines SDR (NI USRP) welches eine statische hochfrequente WGS84-GPS Koordinate erzeugt. Das HF-Kabel geht direkt oben an den GNSS Eingang der RSU (siehe Pfeil)

deTRAmob light



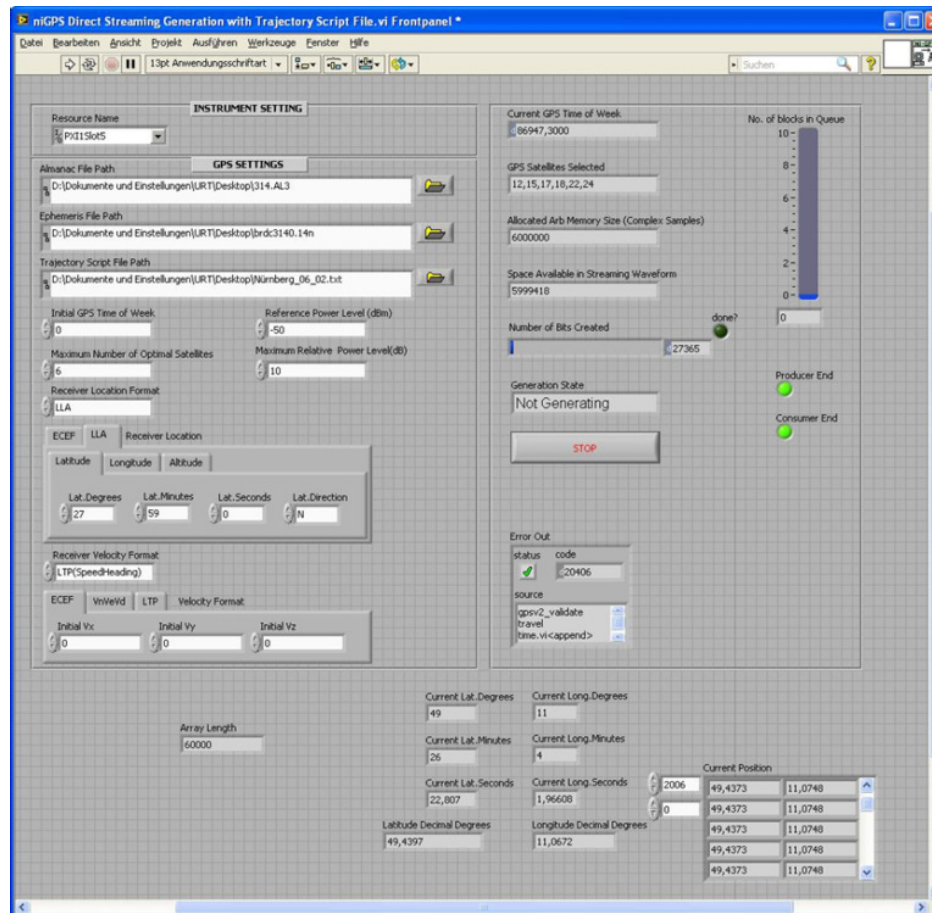
Abbildung 6 – Steuerzentrale der LSA, welche hinten in dem Schuppen Abbildung 4 verbaut ist

Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich



Generierung GNSS-Track

Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich



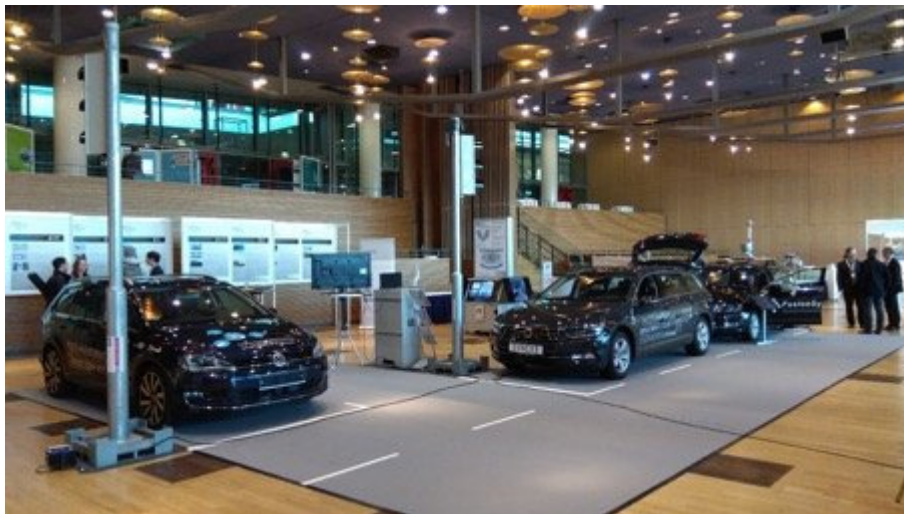
Parametrierung des HF-GPS Signals

- Satellitenauswahl
- Initialwerte (GPS Week, ...)
- Almanach Daten
- Ephemeriden Daten
-

Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich

- Ergebnis: Das Fahrzeug fährt obwohl es steht

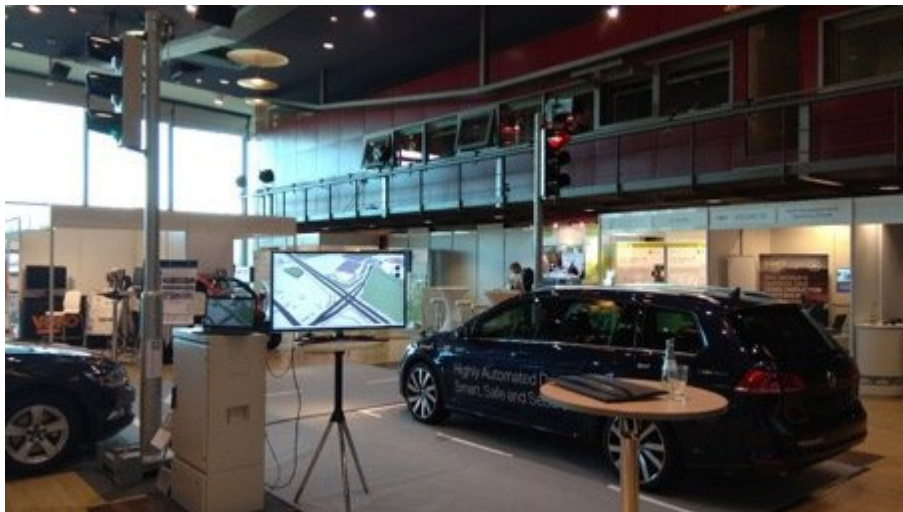
ASAM-Conference 2017 in Dresden



Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich

- Ergebnis: Das Fahrzeug fährt obwohl es steht

ASAM-Conference 2017 in Dresden



Software Defined Radios zur Entwicklung und Evaluierung von Green Light Optimized Speed Advisory Funktionen im Automotive Bereich

- Ergebnis: Das Fahrzeug fährt obwohl es steht

ASAM-Conference 2017 in Dresden



Fazit

- Vorstellung eines Messsystems zur synchronen Aufnahme und Wiedergabe von hochfrequenten und niederfrequenten Signalen, sowie Protokolldaten
- Test neuartiger Anwendungen für hybride Ortungssysteme und Kommunikationssysteme im verkehrlichen Umfeld im Labor sind möglich
- Der modulare Aufbau von HF- und NF-System gewährleistet den separaten Einsatz der Systeme sowie deren Weiterentwicklung/Adaptierung
- Vorstellung diverser bahnspezifischer und automotivspezifischer verkehrstelematischer Ortungs- und Kommunikationsszenarien sowie deren Problemfelder
- Vorstellung einer Schirmkapsel zum Signal Spoofing
- Vorstellung des SDR Einsatzes auf der ASAM Conference 2017 in Dresden

Kontakt

Dipl.-Ing. Robert Richter

robert.richter@tu-dresden.de

Tel. 0351 463 36842

Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“

Institut für Verkehrstelematik

Professur Informationstechnik für Verkehrssysteme

oliver.michler@tu-dresden.de

Tel. 0351 463 36781

Fax. 0351 463 36782

