Fibre Optic Sensing als Ergänzung zur hochgenauen und sicheren fahrzeugseitigen Lokalisierung im Projekt Greenlight

ÖBB INFRA

M2C ExpertControl

DI(FH) Manfred Stättner, ÖBB Infra
Dr. Christian Robl, M2C ExpertControl

Einleitung

ÖBB-Infrastruktur Bahnsysteme:

Bahnsysteme stellt die Verfügbarkeit, Sicherheit und den wirtschaftlichen Betrieb sicher und hat die technische, (eisenbahn-)rechtliche und wirtschaftliche Anlagenverantwortung. Als anlagenverantwortlicher Vertreter des Eigentümers nimmt Bahnsysteme dessen Interessen wahr.

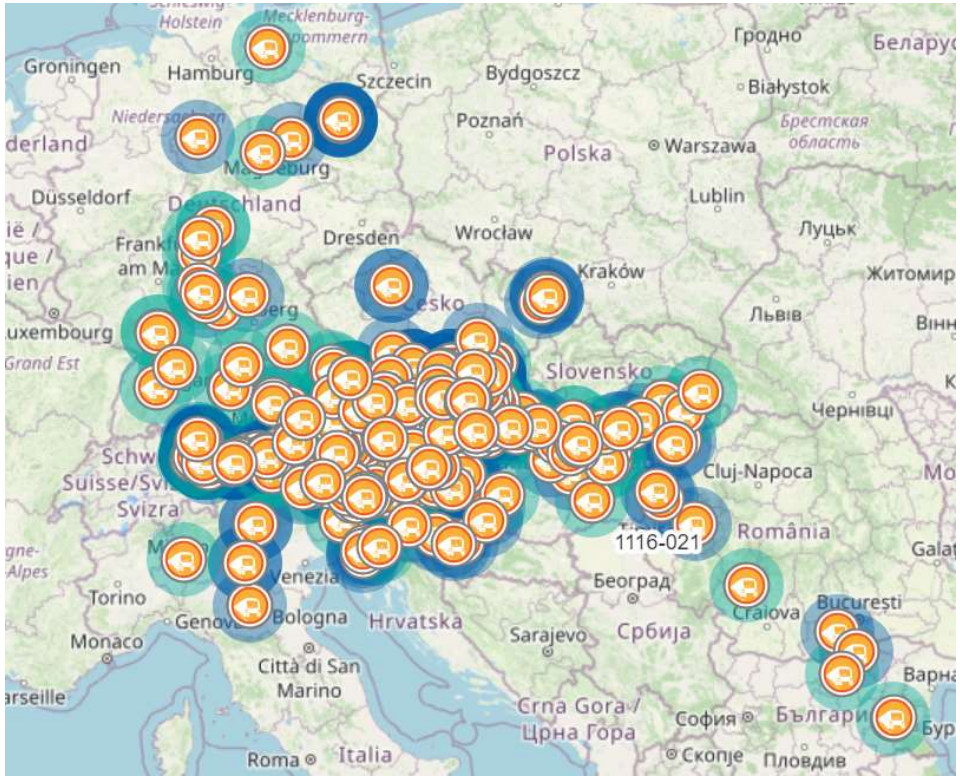
M2C ExpertControl GmbH:

- Innovative Software- und Systemlösungen im Bereich Bahntechnik, Automotive und Telematik
- Sicherheitskritische Systeme/Software bis zu SIL 4 gemäß CENELEC EN 5012x, 50657 oder ähnliche.
- Hochgenaue und sichere Lokalisierung, Modellbasierte Entwicklung

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

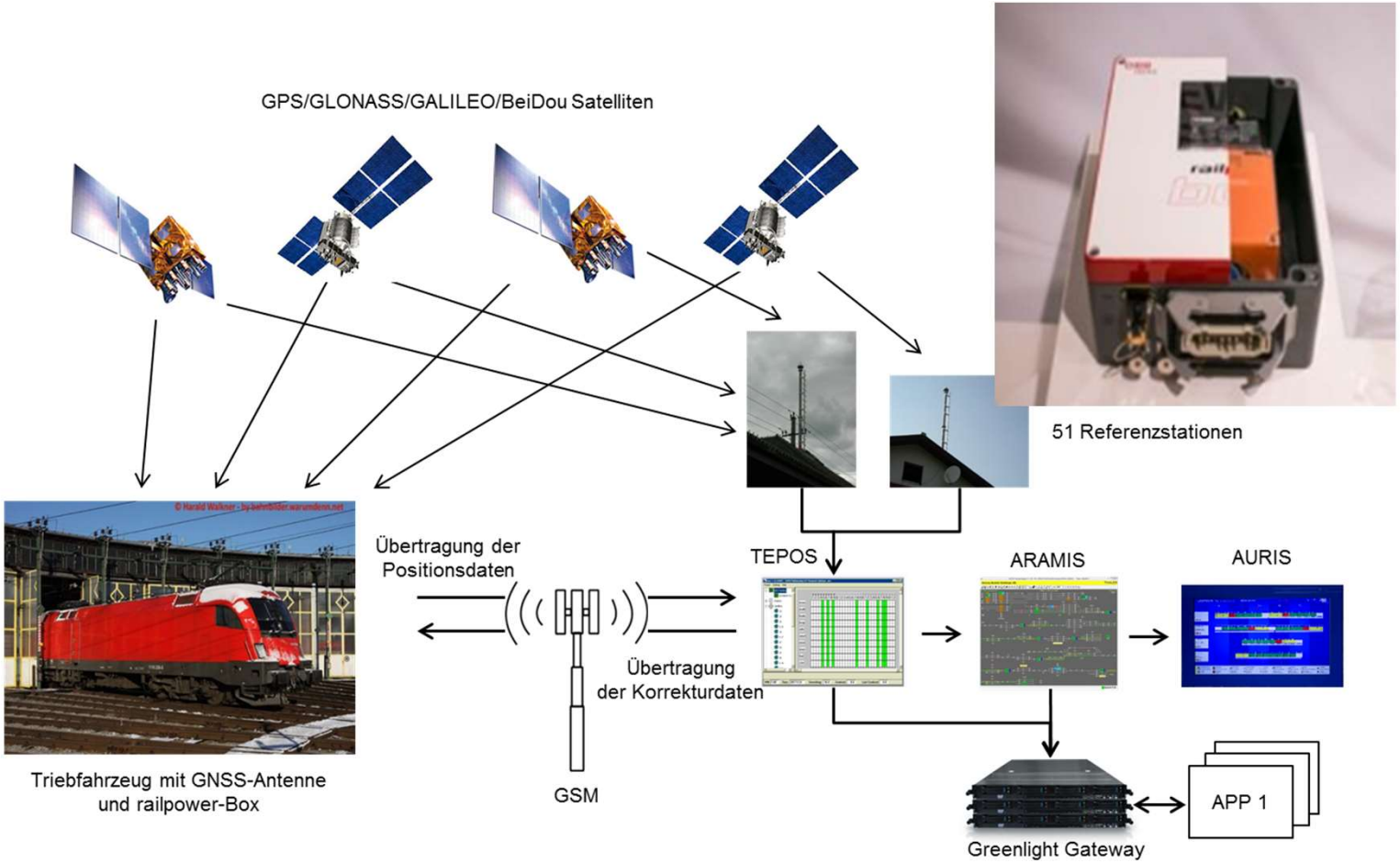
Was ist Greenlight?

- Derzeit werden bei der ÖBB Infrastruktur ~1700 TFZ mit dem System Greenlight positioniert.
- Greenlight basiert auf einer Energiezählerbox mit integriertem GNSS Empfänger, welcher Korrektursignal (TEPOS) zur Verbesserung der Genauigkeit verarbeiten kann.
- Anwendung in Assistenzsystemen:
  - Warn-App „Anfahren gegen Halt“
  - Verschub-App (in Entwicklung)



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Aktueller Stand Greenlight



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Weiterführende Zielsetzungen

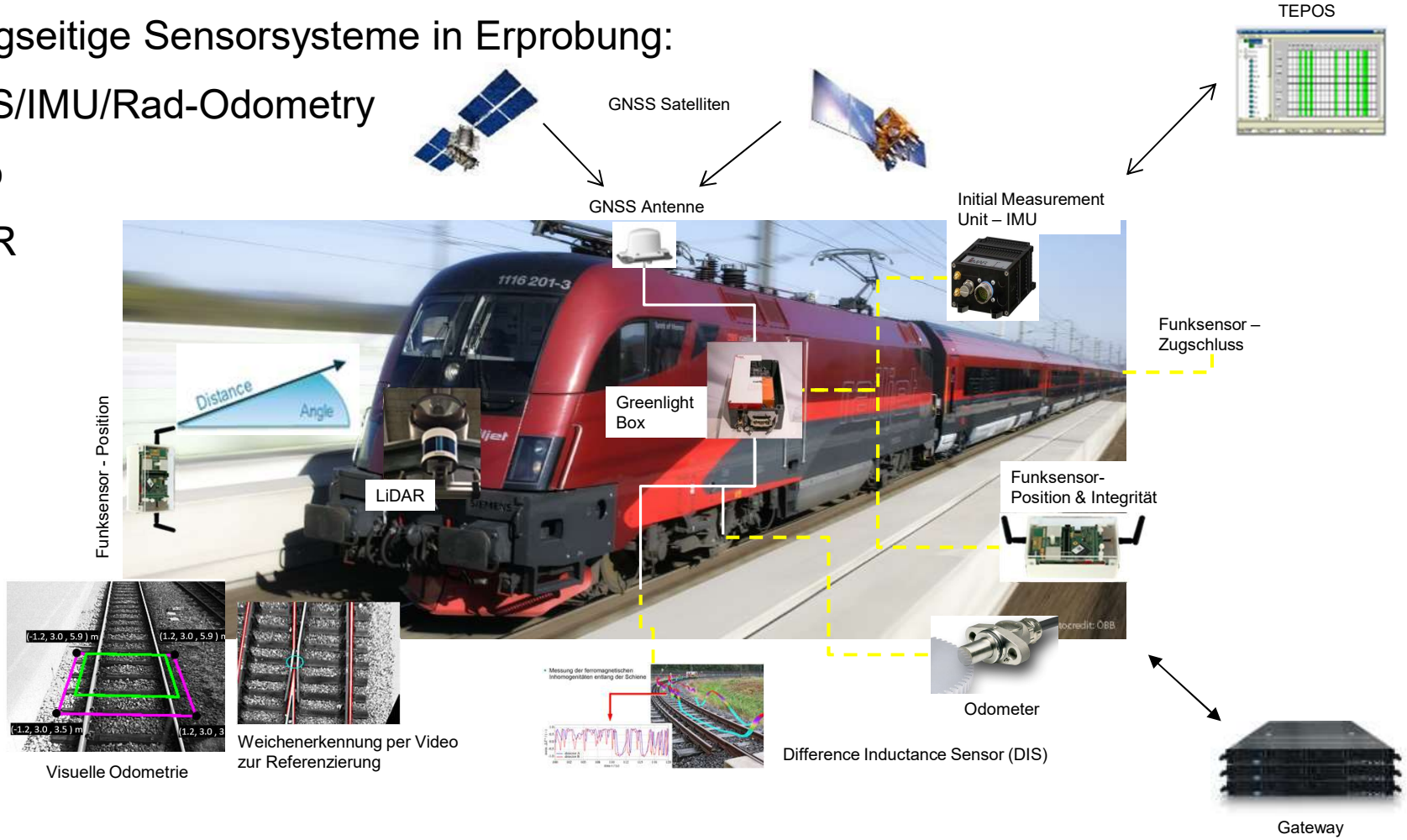
- Weiterentwicklung zu einem SIL2 bzw. SIL4 fähigen Lokalisierungs-System
  - als Basis für effiziente Zugsteuerung auf Nebenbahnen, AZL und ATO
  - als Beitrag für EKs der Zukunft
  - als Beitrag zum effizienten Aufstarten bei ETCS L2
  - als Basis für einen zukünftigen dichteren Zugverkehr durch Aufhebung des blockbasierten Fahrens (moving block, ETCS L3)
- Testfahrten zur Demonstration der Funktionalität und Qualifizierung der Sensorik
- Aufbauend auf den Ergebnissen der Testfahrten und den Anforderungen zur Sicherheit und Verfügbarkeit erfolgt die optimale Wahl der Sensorkombination
- Einstieg in den CENELEC Lebenszyklus mit dem Ziel der Zulassung

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Übersicht Greenlight für SIL

Fahrzeugseitige Sensorsysteme in Erprobung:

- GNSS/IMU/Rad-Odometry
- Video
- LiDAR
- Funk
- DIS

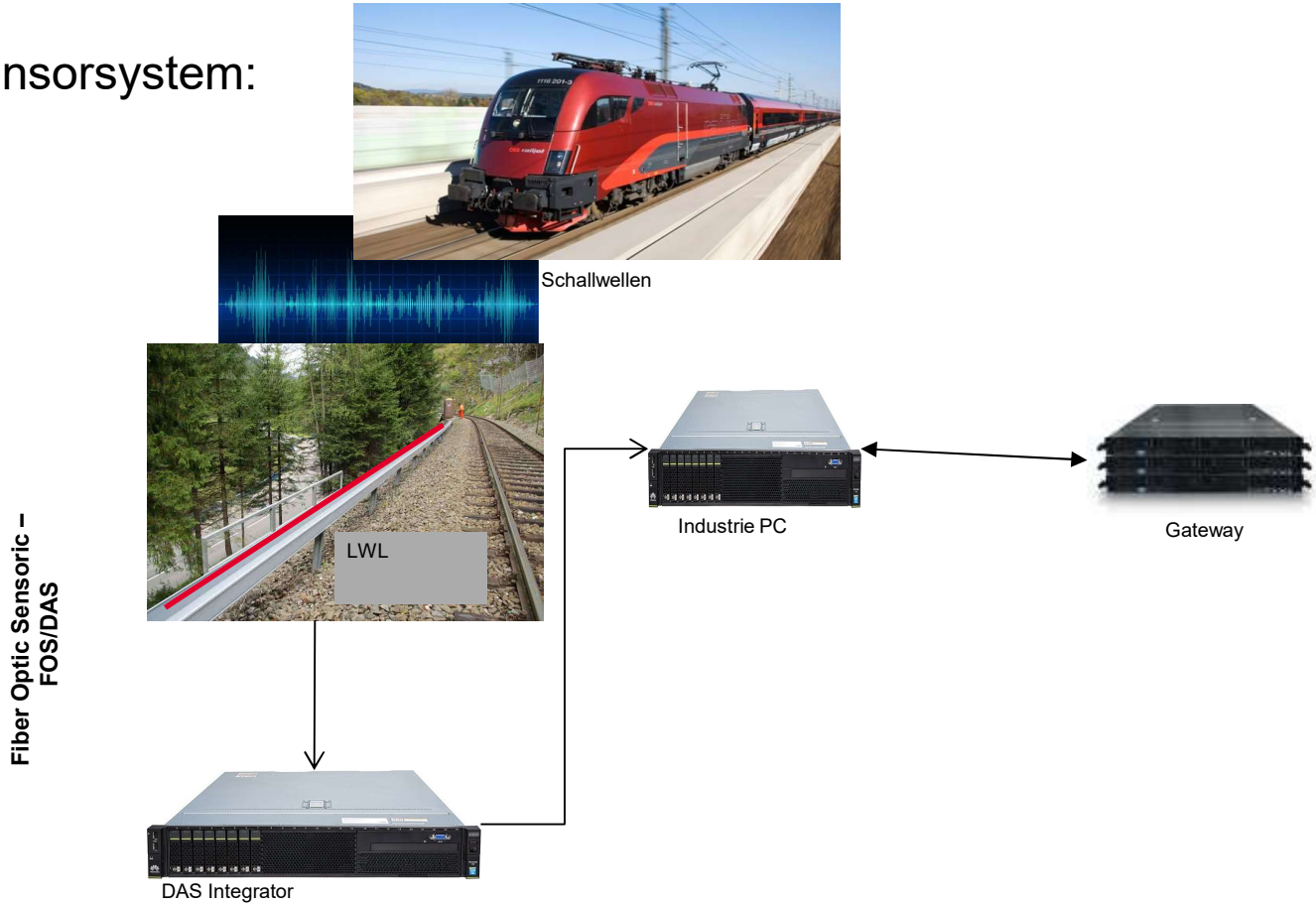


Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Übersicht Greenlight für SIL

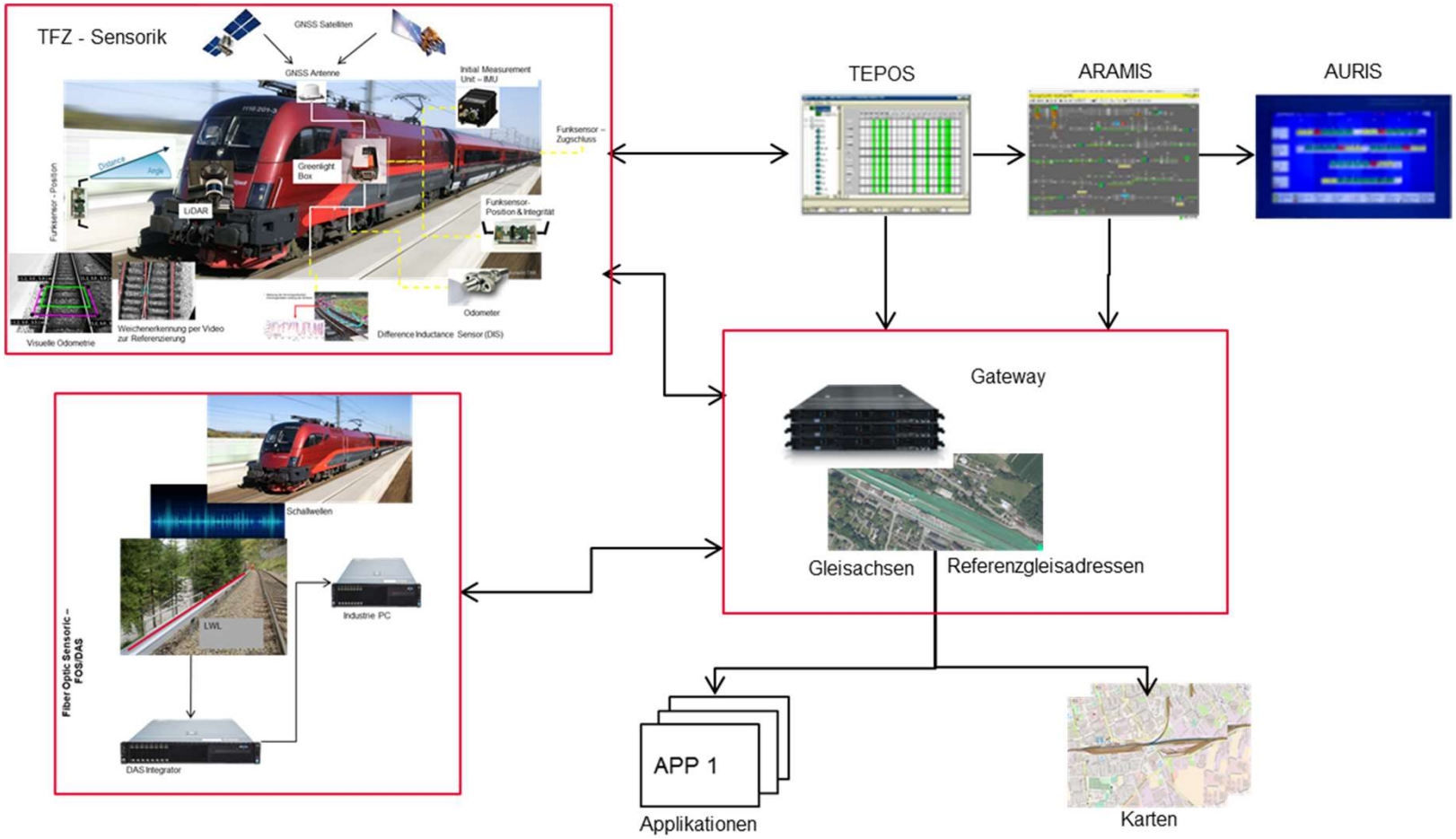
Infrastrukturseitiges Sensorsystem:

- Fiber Optic Sensing (FOS/DAS)



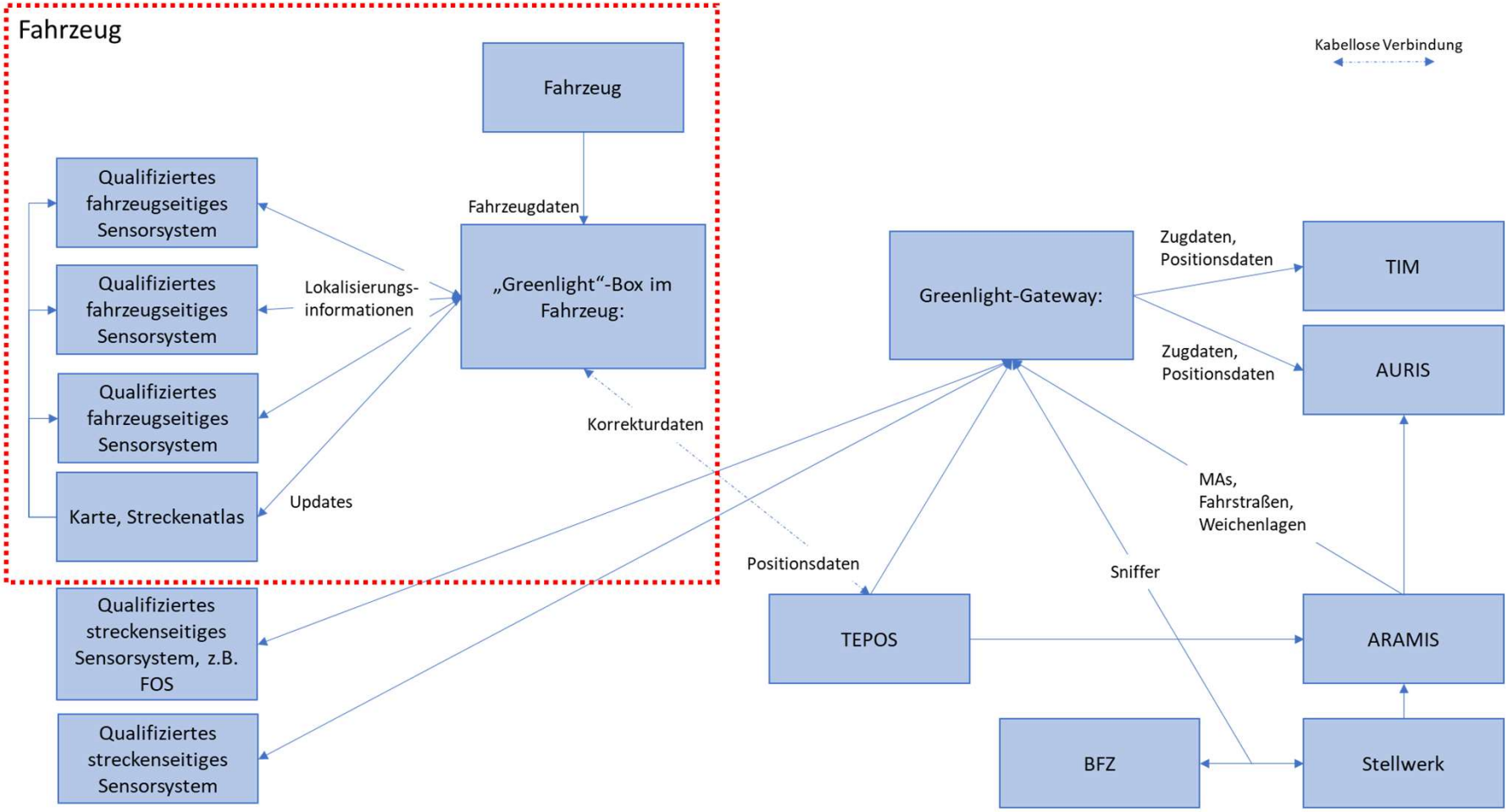
Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Systemkonzept Greenlight



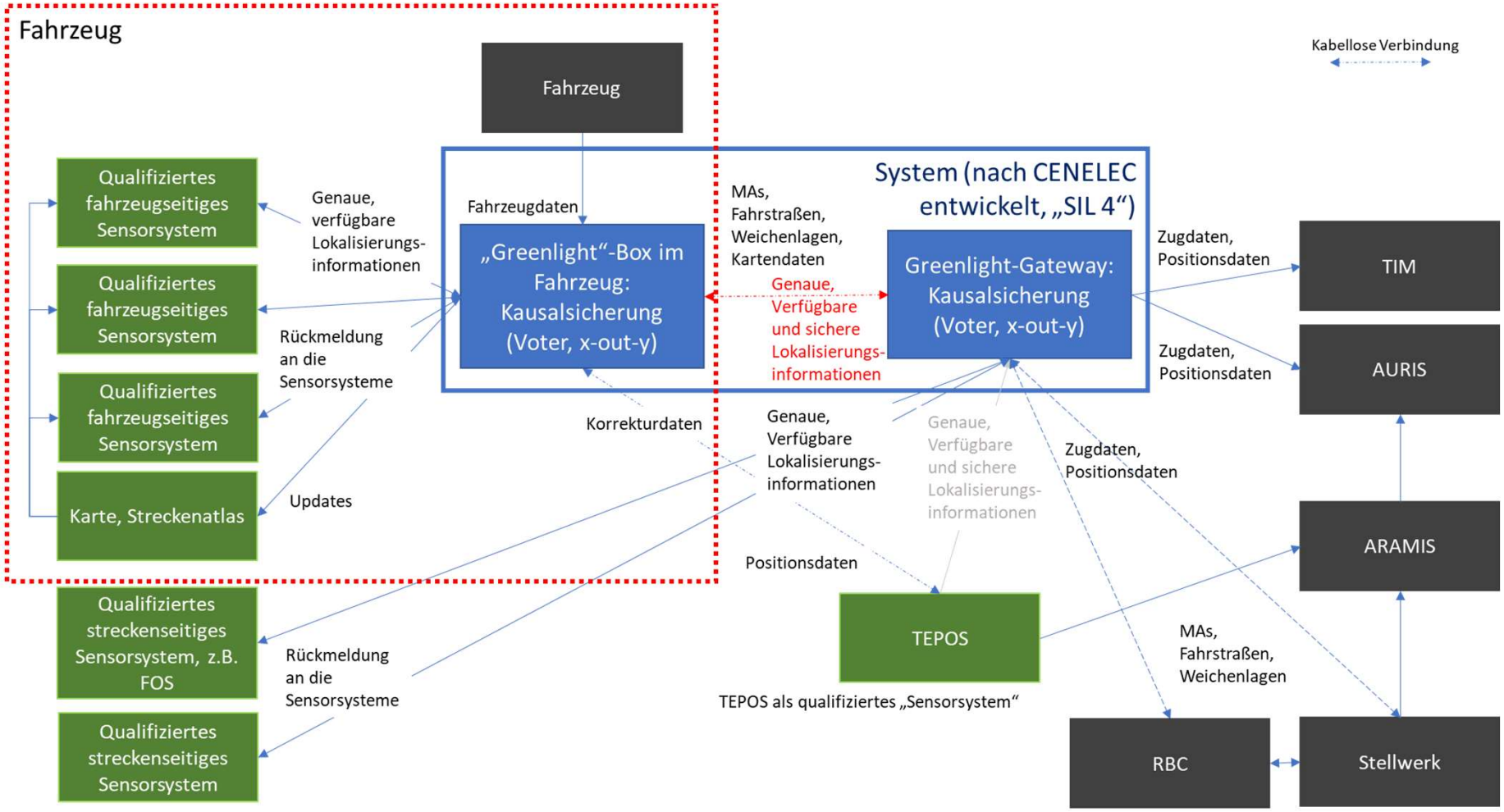
Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Systemdefinition Greenlight



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Systemdefinition Greenlight SIL



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

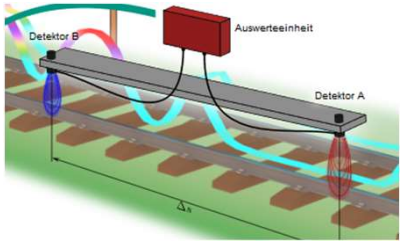
Setup Messfahrt(en)

- Verwendete Sensorik
  - GNSS/IMU
  - Odometer
  - LiDAR
  - Video – Odometrie
  - DIS
  - FOS

GNSS

Video-Odometrie

LiDAR



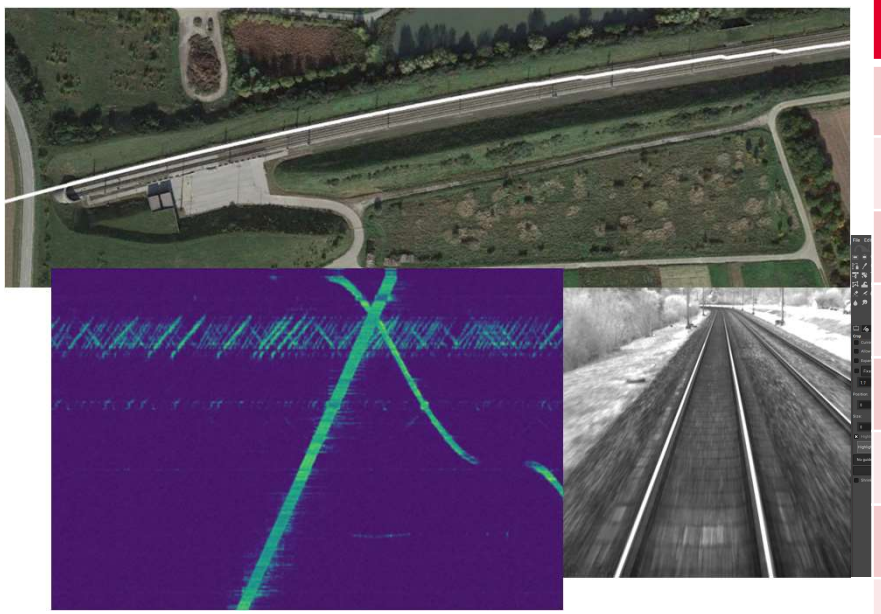
DIS

FOS

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Ziele Messfahrt(en)

- Eignung der Sensorsysteme
  - Wo funktioniert welches Sensorsystem?
  - Welche Probleme mit den Sensorsystemen gibt es im Einsatz
- Vergleich der Sensorsysteme
- Ermittlung der Unabhängigkeit der Sensorsysteme

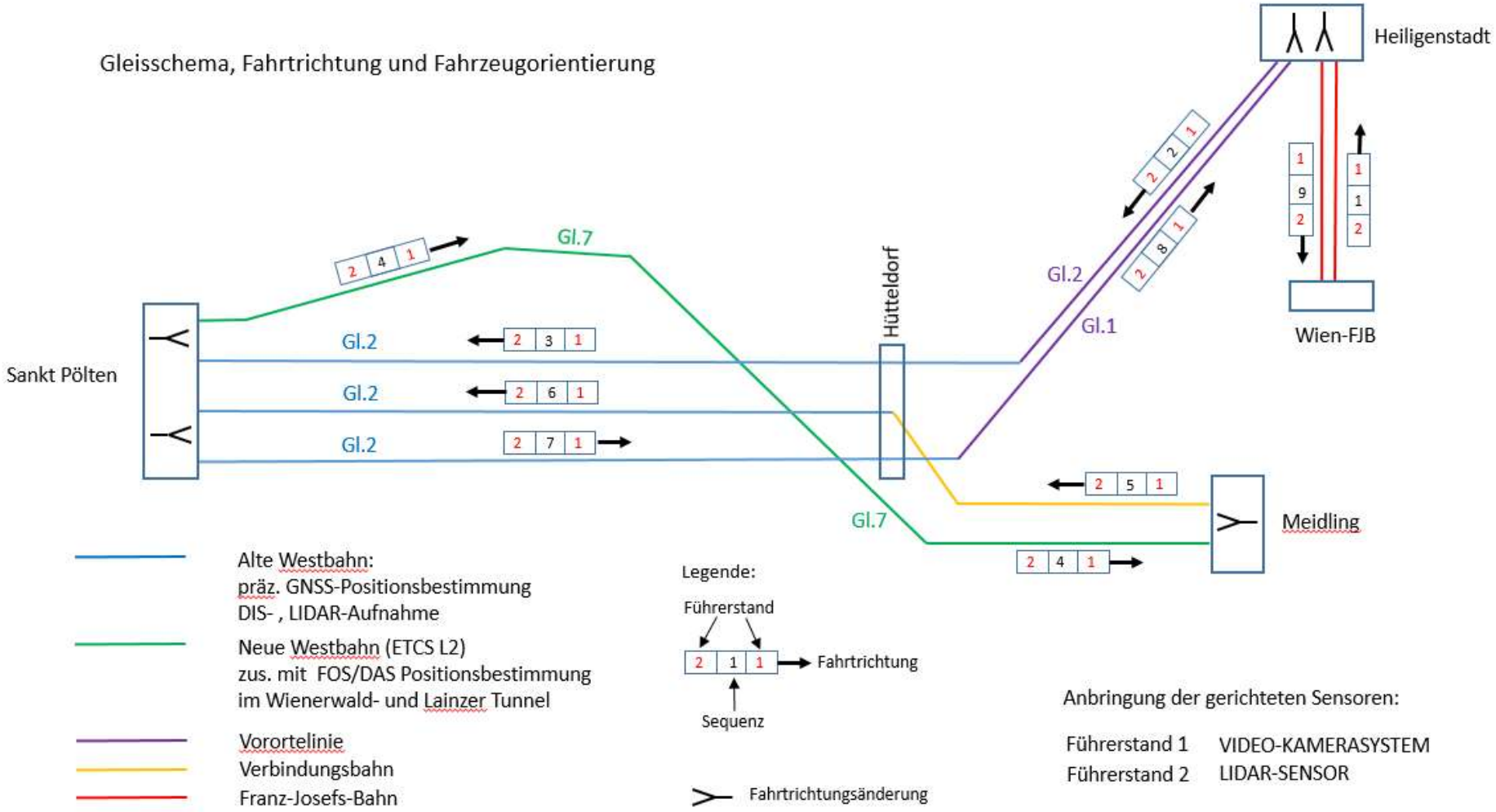


Sensor	Zuge-lassen	Reife	Still-stand	Tunnel	EMV	…
GNSS/IMU		+	0	0	+	
FOS		0	--	++	+	
Video		0	+	+	+	
LIDAR		0	+	+	+	
DIS		-	--	++	-	
Eurobalise	√	++	--	++	0	
Funk		-	+	+	-	
…						

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Messfahrt(en)

- Periodisch gleiche Strecke im Frühjahr und Herbst



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Methodik: Vergleich mit Referenz (1)

Ziele:

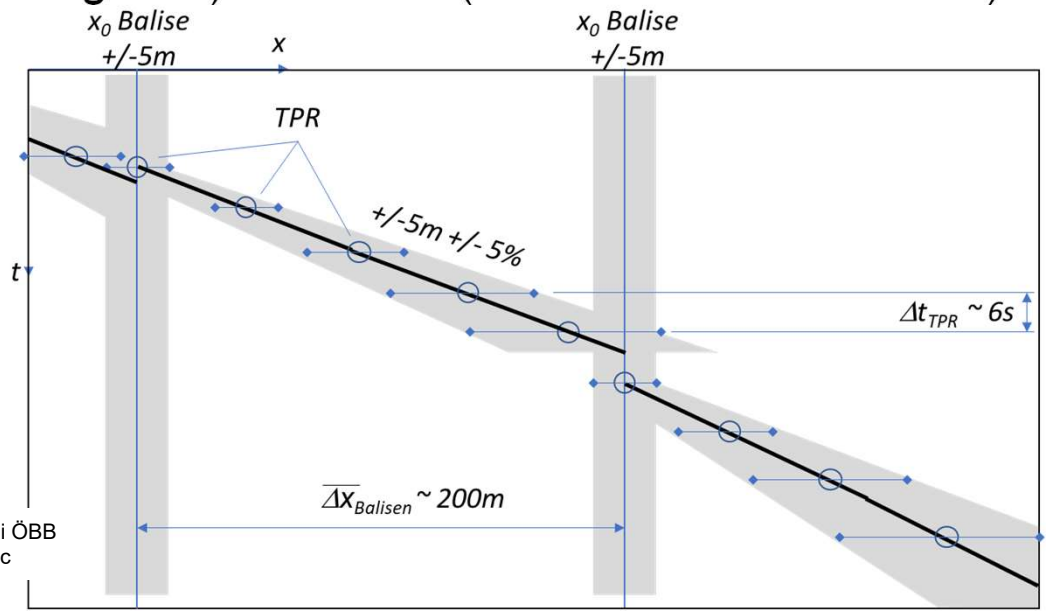
- Methodik zum Vergleich von Sensoren bei ETCS-Regelfahrten gegenüber einem Referenzsystem zum Nachweis gleicher Sicherheit
- Bestimmungen der Zugspitzenposition
- Verwendung als Standard-Methode im Projekt ÖBB-Greenlight für die Qualifizierung von Sensorsystemen
- Referenzfahrt mit dedizierter Messfahrt
- Überprüfung mit wenigen ETCS-Regelfahrten
- Gutachterliche Bewertung
- Anwendung auf viele ETCS-Regelfahrten auf verschiedenen Strecken und Jahreszeiten zur Generierung statistisch relevanter Zahlen

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Methodik: Vergleich mit Referenz (2)

TPR als Referenz:

- Train Position Reports (TPR) von mit ETCS ausgerüsteten Triebfahrzeugen
  - SIL4 zugelassenes System
  - Zulässige Toleranz +- 5m +- 5% der Distanz zur letzten Balisengruppe
  - TPR Odometrie-Messungen sind immer auf Balise 1 in der Balisengruppe bezogen
  - TPR wird vom Zug zyklisch (in der Regel 6s) zum RBC (Radio Broadcast Center) gesendet
- TPRs sind immer in der lokalen Zeit des Zugs, die Logfiles mit den TPRs verwenden die lokale Zeit des RBC.
- Startpunkt der TPR Odometrie-Messung ist die erste überfahrene Balise



Quelle: Vergleich Sensorsysteme gegenüber Referenz bei ÖBB Greenlight 3, M2C ExpertControl, AIT, Frauscher Sensonic

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Methodik: Vergleich mit Referenz (3)

Anforderungen:

- Festlegung Koordinatensystem
  - 1D Koordinaten wie ETCS
    - Gefahrene Strecke in km bezogen auf die Gleiskilometrierung
    - Gleiskilometrierung kann diskontinuierlich sein
- Festlegung Referenzpunkt im Triebfahrzeug
- Synchronisation auf einheitliche Zeitbasis (z.B. GPS Zeit)
- Festlegung gleicher Datenformate für alle Sensoren

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Methodik: Vergleich mit Referenz (4)

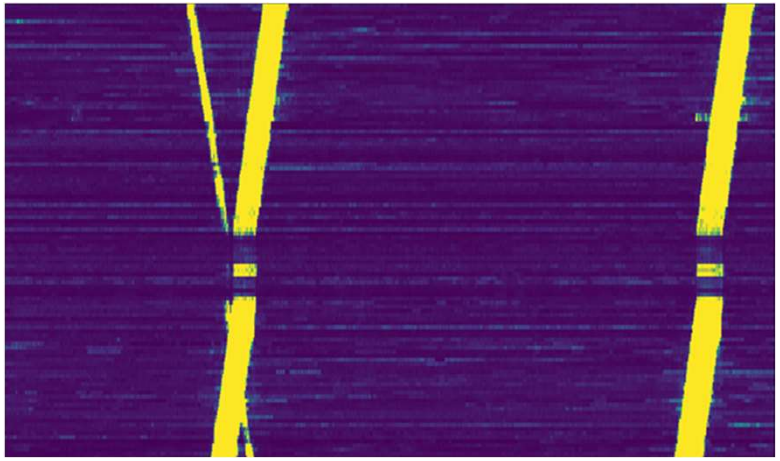
Methoden für den Vergleich:

- Schätzung der Latenzzeit mittels Kreuzkorrelation von xSensor(t) und xTPR(t)
  - Ähnlichkeit der Kurven
- Abweichungen zwischen xSensor(t) und xTPR(t) über die gesamte Messfahrt
  - Nachweis, dass Kurven nicht voneinander wegdriften
- Einschränkung der Auswertung auf Bereiche an bzw. nahe der Balisen
  - Elimination des Einflusses der Drift der Rad-Odometrie

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Kalibrierung FOS

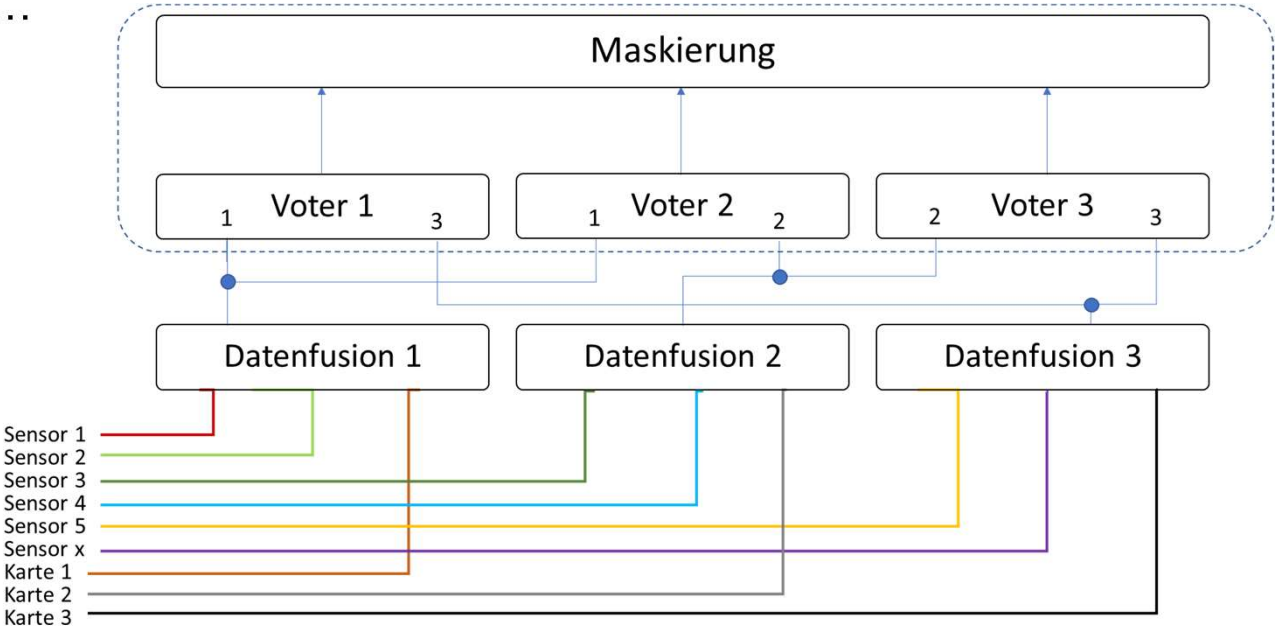
- Entfernen der Überlängen
- Bestimmung der restlichen Faserlänge
- Iterative Ermittlung des Korrekturfaktors Faser zu Gleislage
  - Z.B. mittels gezielter Anregung der Faser (Hammerschlag)
  - Divide and Conquer bis erforderliche Genauigkeit erreicht ist
- Überprüfung z.B. mittels Messfahrt



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Kalibrierung fahrzeugseitige Sensoren

- Anpassung der Koordinatensysteme notwendig
- Karten bzw. Streckenatlas zum Mappen von Sensorsystem zu Gleiskilometrierung
  - Z.B. 3D zu 1D bei GNSS/IMU/Radodometrie
  - Kilometrierung von Weichenherzstücken und anderen Referenzpunkten für Video
  - Zuordnung Gleissignatur zu Gleiskilometrierung bei DIS
  - …

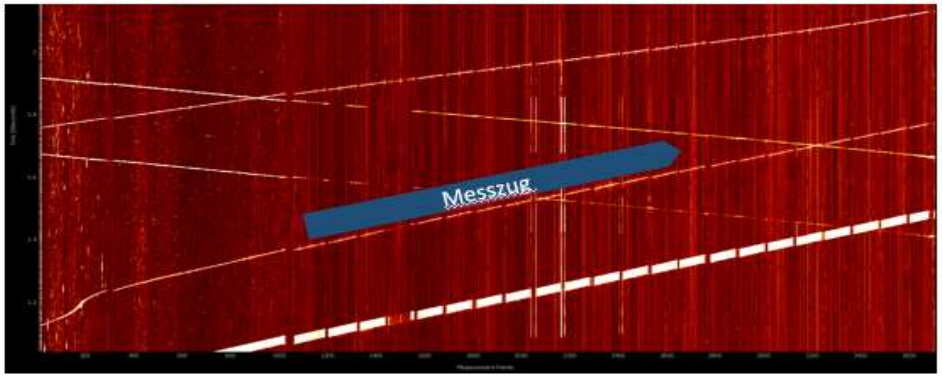


Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

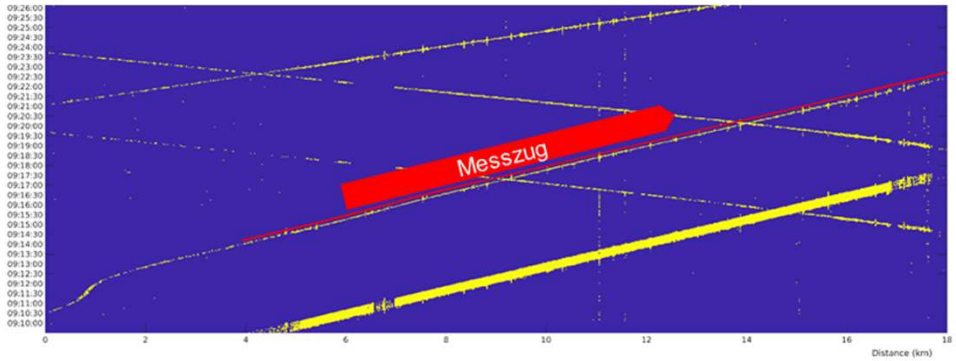
Testmessung Wienerwaldtunnel: 22.07.2020

- Beteiligte DAS Systeme

  - DAS Interrogator
    - Aufzeichnung mit 2 kHz
    - Hersteller: FEBUS Optics
    - Phasensensitiv



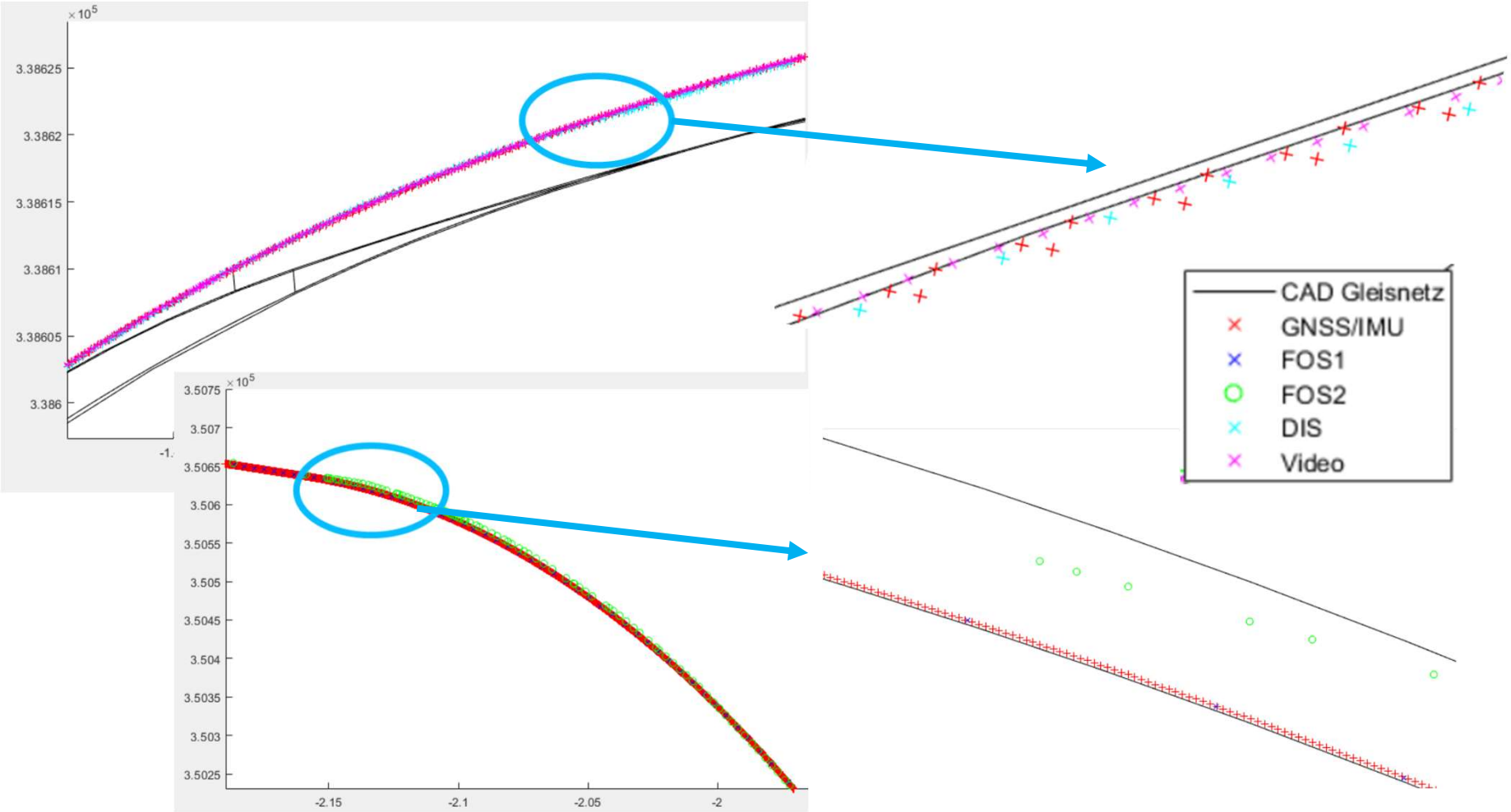
  - DAS Interrogator
    - Aufzeichnung mit 2 kHz
    - Hersteller: Frauscher Sensonic
    - Phasensensitiv



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Ergebnisse

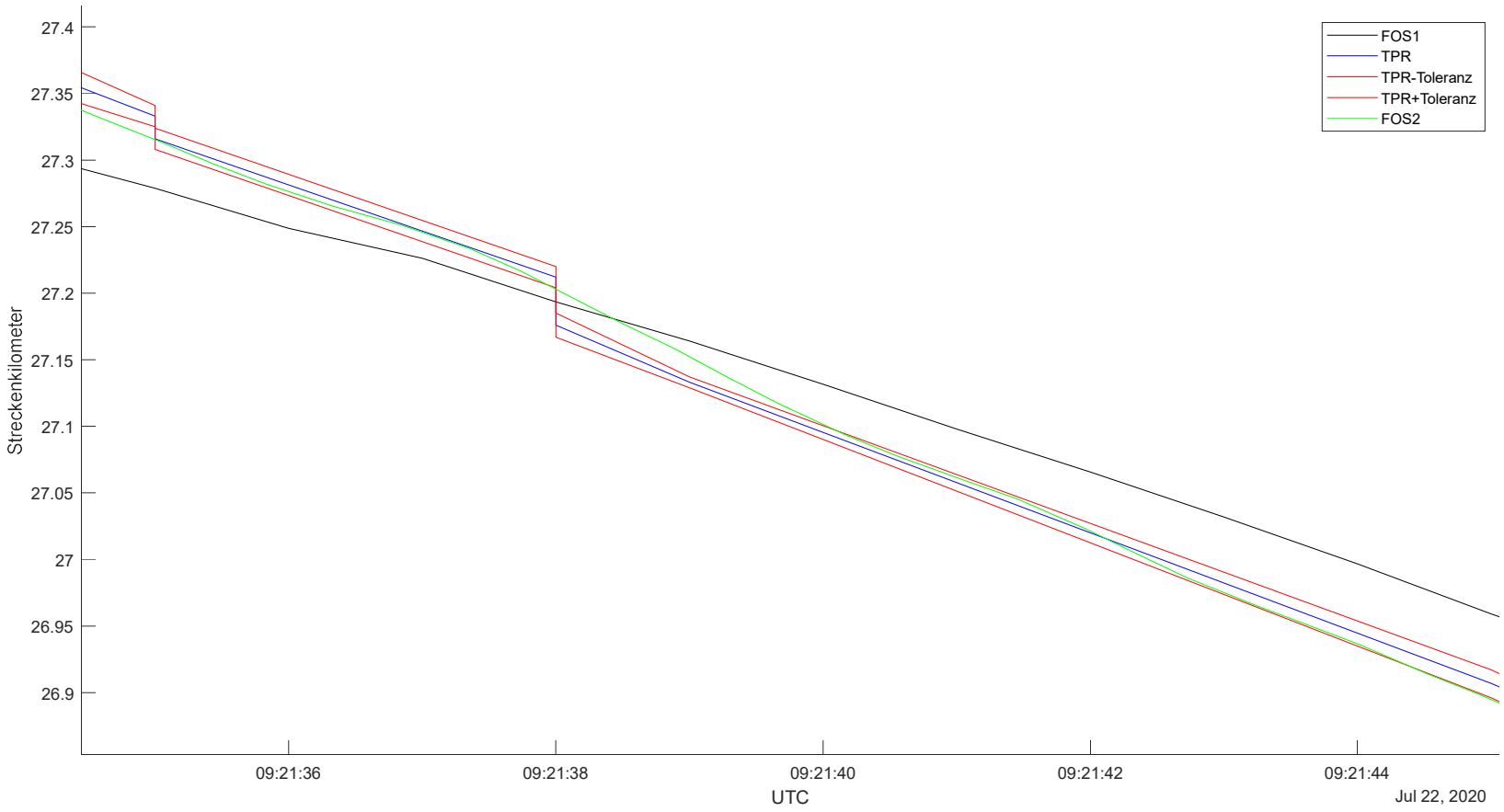
Mapping räumlich auf Gleisplandaten



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Ergebnisse

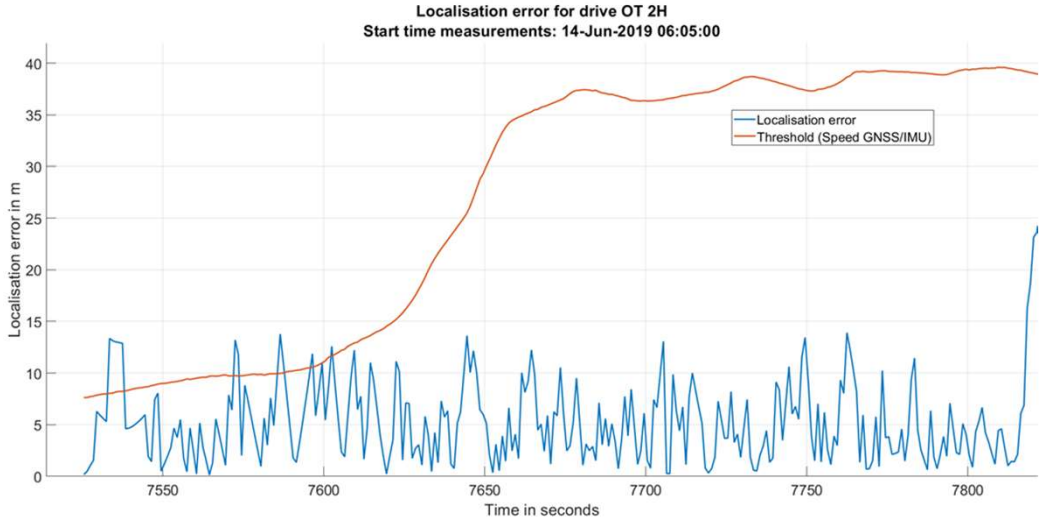
Vergleich zu TPR



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Ergebnisse

- Bestimmung, ob xSensor(t) immer im erlaubten Toleranzband von xTPR(t) oder etwaiger anderer Referenz liegt
  - Bestimmung MTTEF (Mean Time To Extended Failure) und MTTER (Mean Time To Extended Restoration)
  - Der Zusatz „extended“ bedeutet, dass auch gültige Messwerte die außerhalb des Toleranzbandes liegen als Fehler gewertet werden
  - Toleranzband:
    - +-5m +- 5%*Weg bei TPRs
    - v*1s bei anderer Referenz (z.B. GNSS mit hoch-genauer IMU)
  - ➢ MTTEF 95,26s
  - ➢ MTTER 2,55s



Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Zusammenfassung

- FOS als unterstützendes, absolutes Sensorsystem verwendbar
  - Einsetzbar in Tunnels
  - ausreichende Genauigkeit und Verfügbarkeit für die meisten Anwendungsbedingungen
- Fahrzeugseitige sichere Lokalisierung durch Kausalsicherung der einzelnen Sensorsysteme
  - Notwendig, damit das Triebfahrzeug die erteilte Movement Authority (MA) nicht verlässt.
- Erweiterte sichere Lokalisierung durch Hinzunahme von FOS in die Kausalsicherung für das Stellwerk
  - Erteilung der MA für alle Züge durch das Stellwerk
  - Höhere Verfügbarkeit durch zusätzliches Sensorsystem
  - Unabhängig von der Fahrzeugkommunikation

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)

Ausblick

- Durchführung CENELEC-Phasen 1-4
  - Use Cases (betrieblicher Kontext)
  - Risikoanalyse
  - Ableitung RAMS-Anforderungen
- Weitere Messfahrten mit Prototypen zur Klärung offener Punkte parallel zur Entwicklung
- Auswahl der optimalen Sensorsysteme für die jeweiligen Anwendungsbedingungen

Klassifikation: TLP gelb (Adressatenkreis)