

Rad Schiene 2017, 01.03.2017, Dresden

Innovative Zugleit- und Sicherungstechnik durch Digitalisierung

Dr. **Thomas Strang**, DLR-Institut für Kommunikation und Navigation, Oberpfaffenhofen
Dr. **Joachim Winter**, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart



Wissen für Morgen



DLR – Im Überblick

- Größte europäische Forschungseinrichtung für Luft- und Raumfahrt
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

Ca. 8.000 Mitarbeiter arbeiten in 33 Forschungsinstituten und Einrichtungen an **20 Standorten**.
Außenbüros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington.



Verkehrsforschung im DLR – Charakteristika

- Durchgängiger systemischer Ansatz
- Konkrete Anwendungsperspektive
- Synergien durch Vernetzung von
 - 3 Verkehrsinstituten
 - 28 Luft- und Raumfahrtinstituten
 - 2 Energieinstituten
- Strategische Kooperationen mit Partnern in Wissenschaft und Wirtschaft
- Betrieb verschiedener Großforschungsanlagen
 - Prüfstände für Fahrzeugantriebe, Brennstoffzellen, ...
 - Fahrzeuge und Simulatoren
 - Tunnel- und Seitenwindanlage
 - etc.



Digitalisierung 4.0 steht für...

... weit mehr als nur Smartphones



Quelle: Handelsblatt

Sondern **Anwendung neuer Konzepte** hinsichtlich

- Datenerfassung und -verarbeitung,
- Vernetzung und Integration,
- Dezentralisierung,
- Serviceorientierung,
- Assistenzsysteme,
- Selbstorganisation und Autonomie



Befähigende Grundfunktionen

Beispiele für **Dezentralisierung**

- Zugautonome spurselektive Lokalisierung
- Direkte Zug-zu-Zug Kommunikation



Zugautonome spurselektive Lokalisierung

Zuglokalisierung in Relation

- zur Streckentopologie
- zu anderen Zügen



doch GPS alleine reicht offensichtlich nicht!

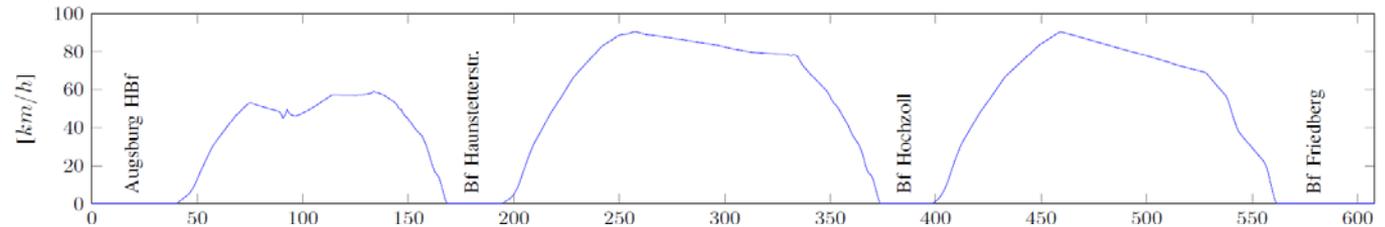


Neben der (Nicht-)**Verfügbarkeit** ist aber vor allem die **Lokalisierungsgenauigkeit** von **GPS unzureichend!**



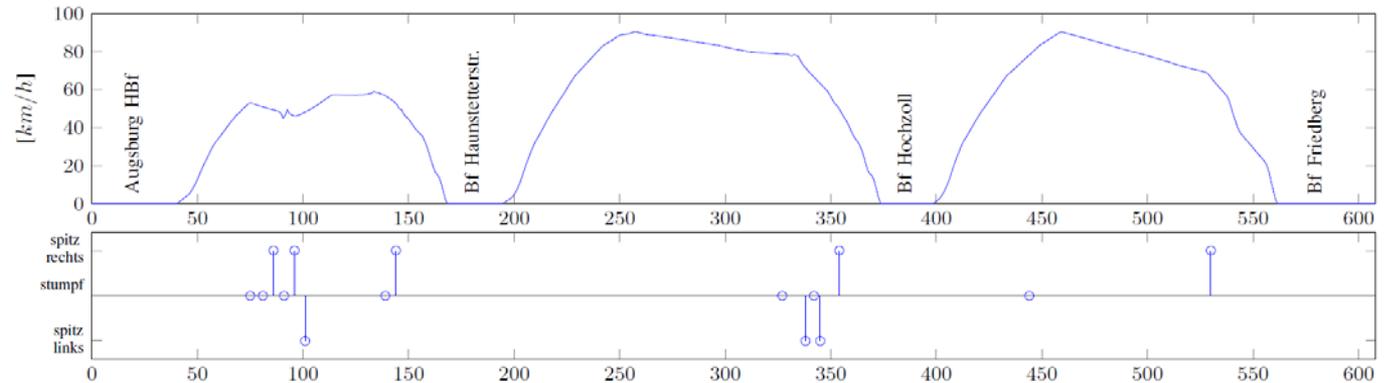
Zugautonome spurselektive Lokalisierung

Geschwindigkeit

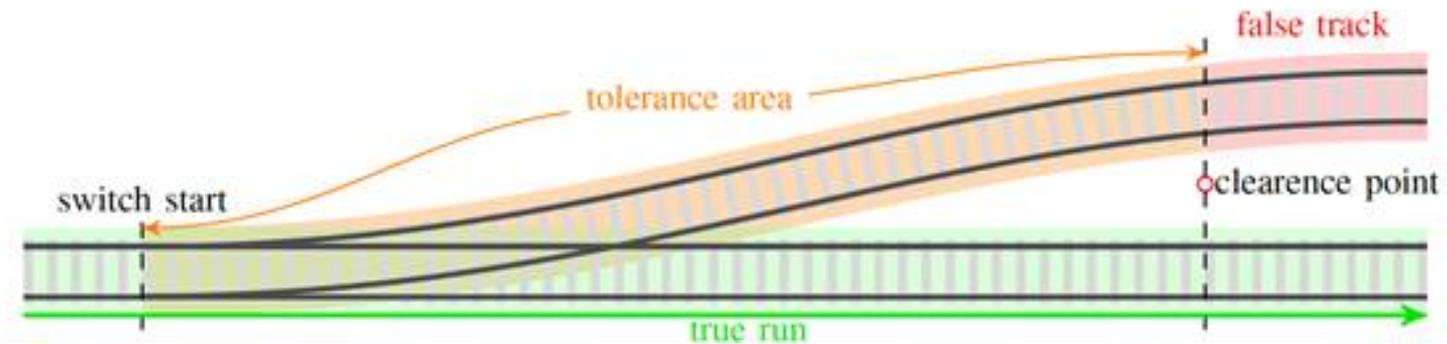


Zugautonome spurselektive Lokalisierung

Geschwindigkeit



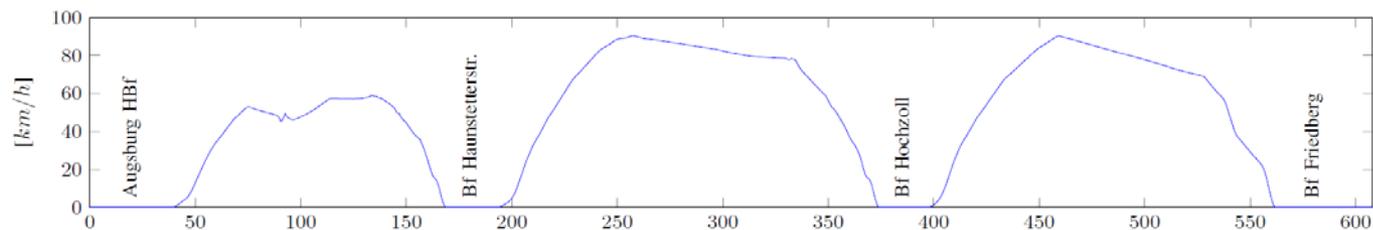
Weiche



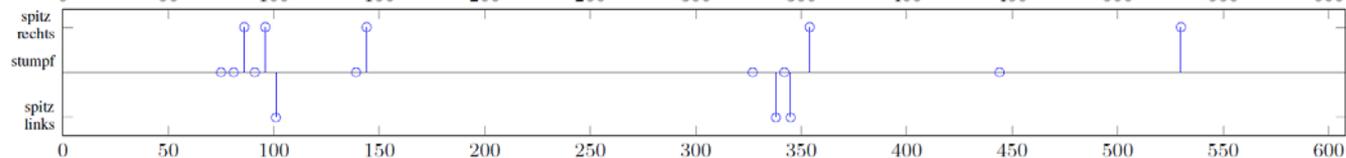
Zugautonome spurselektive Lokalisierung



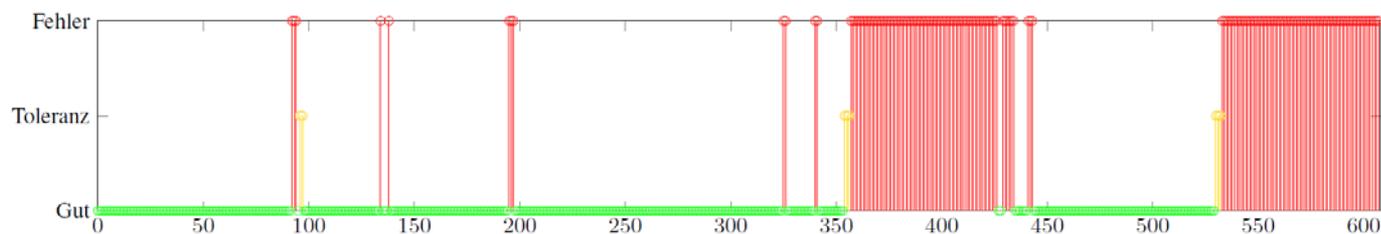
Geschwindigkeit



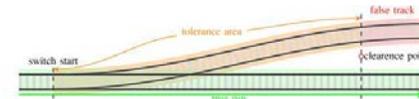
Weiche



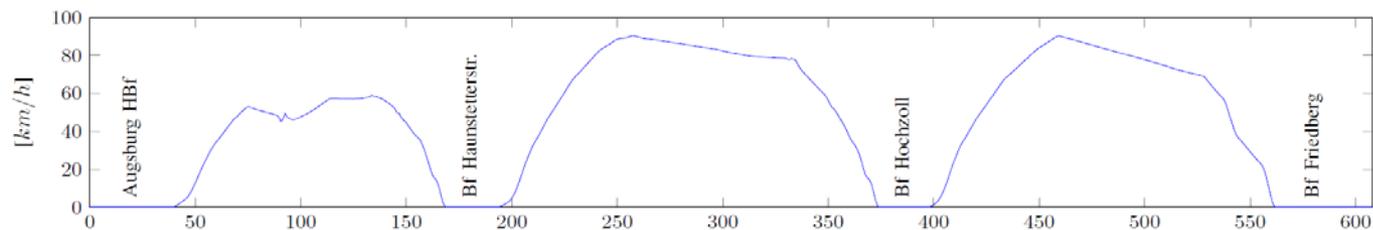
GNSS +
MapMatching



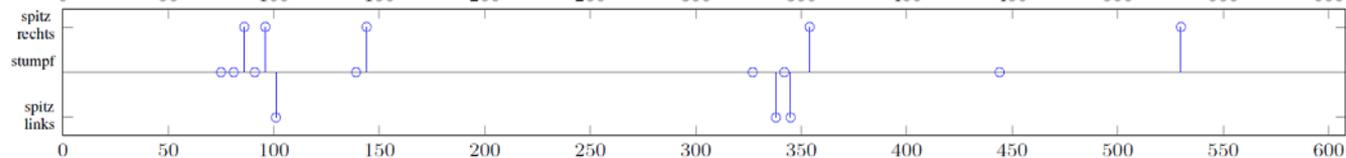
Zugautonome spurselektive Lokalisierung



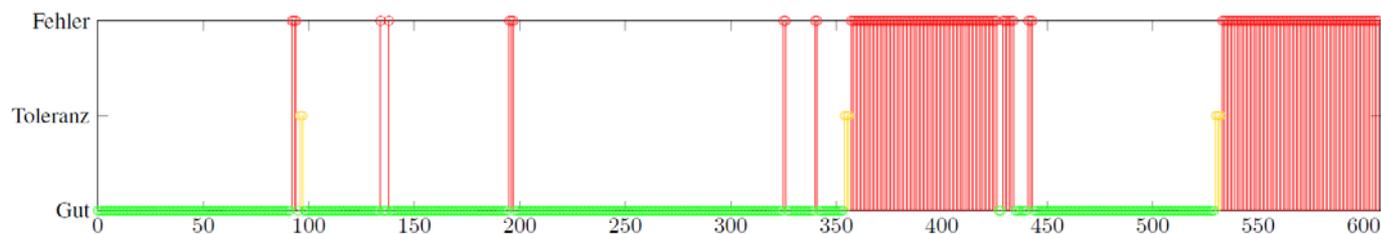
Geschwindigkeit



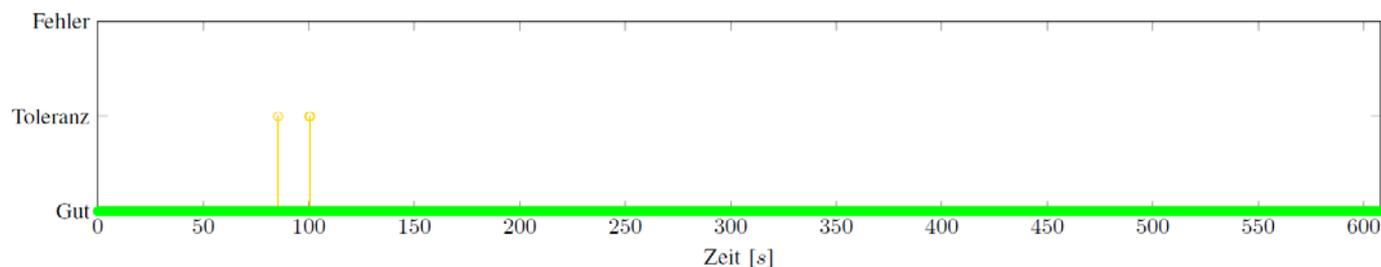
Weiche



GNSS +
MapMatching



im DLR
entwickelter
Ansatz



Direkte Zug-zu-Zug Kommunikation

Zuverlässige Informierung aller anderen Züge über Position, Geschwindigkeit und Richtung



aber **ohne** Basisstationen (d.h. GSM-R), SatCom oder gar Kabel



Direkte Zug-zu-Zug Kommunikation - der Cocktail Party Effekt -



spring.org.uk

- Alle reden „durcheinander“
- Nahe oder laute Stimmen überlagern entferntere oder leisere Stimmen
- Niemand „steuert“ die Kommunikation
- „Intelligenz“ unseres Gehirns hilft zu filtern, z.B. durch richtungsselektives Hören oder durch Maskieren (Cherry, 1953)
- Erkenntnisse waren Ausgangsbasis für **intelligentes Kommunikationsprotokoll**



Status Quo

- **Klassische Zugleit- und Sicherheitstechnik** wie PZB, LZB, Signum, ATP, PTC, oder auch ETCS setzen unflexible, teilweise komplexe und vor allem **teure Infrastruktur-Elemente** voraus

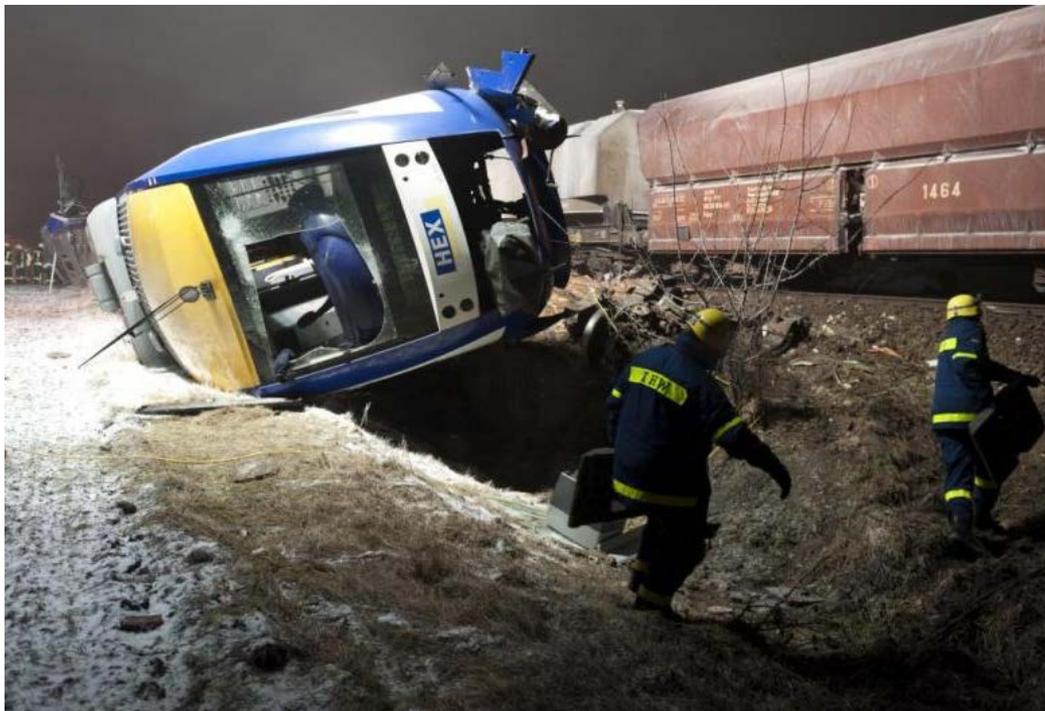


[Image: MünsterView/Jean-Marie Tronquet]

- Die fahrzeugseitige Ausrüstung ist vergleichsweise gering, die Zulassungsverfahren dafür um so aufwändiger



Und dennoch: Zugkollisionen – ein real existierendes Problem!



Hordorf/Sachsen-Anhalt, 29.01.2011
(10 Tote, 23 Verletzte, über 7 mio € Sachschaden)

Der [Untersuchungsbericht](#) schließt mit der Empfehlung, dass
„... zusätzliche Maßnahmen getroffen werden, die im jeweiligen Einzelfall
geeignet sind, die Eintrittswahrscheinlichkeit und/oder das Schadensausmaß
bei einer unzulässigen Vorbeifahrt am Halt zeigenden Signal zu reduzieren“



weitere Auswahl aus D-A-CH:

- Bad Aibling (D), 09.02.2016
- Graz (A), 06.05.2015
- Gotthard (CH), 18.03.2015
- Mannheim (D), 01.08.2014
- Waadt (CH), 29.07.2013
- Hanau (D), 13.04.2012
- ...



Im Durchschnitt,
1 – 2 Zugkollisionen pro Tag
irgendwo in Europa!

[Quelle: Railway Safety Performance in the EU, 2010]



Digitalisierung von Systemfunktionen der Bahn I

Durch konsequente Anwendung von Kernkonzepten der Digitalisierung 4.0 können neue Lösungen für bestehende Herausforderungen geschaffen werden.

Beispiel 1:

„**Virtuelle Infrastruktur**“ als ergänzende technische Zugsicherung, aufbauend auf Konzepte wie

- Dezentralisierung
- Assistenzsysteme etc.



„Ideen-Klau“ aus der Luftfahrt...



Image: swr.de



„Ideen-Klau“ aus der Luftfahrt...

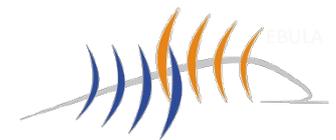
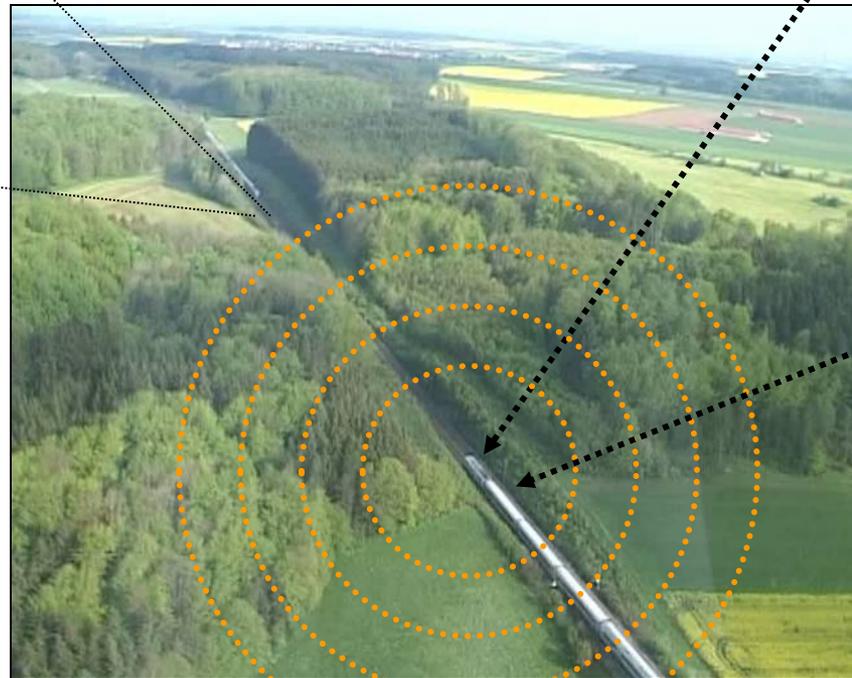


Kollisionswarnsystem als „virtuelle Infrastruktur“

- Entwickelt am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
- Überträgt das TCAS-System aus der Luftfahrt in den Bahnbereich



GPS/Galileo/EGNOS
+
weitere Sensorik



Der Ansatz gemäß Digitalisierung 4.0

- Grundprinzip: Jeder Zug bestimmt seine **Position im Gleis** sowie weitere relevante Parameter und sendet diese per direkter **Zug-zu-Zug-Kommunikation** an alle anderen Züge in der Umgebung. **Intelligente Algorithmen** an Bord jedes Zuges werten die Informationen aus und alarmieren bei Gefahr.



- Der neue Ansatz ist **unabhängig von der Infrastruktur** und **bringt die „Intelligenz“ ins Fahrzeug**
- besteht **nur aus fahrzeugseitigen Komponenten**
→ **„virtuelle Infrastruktur“**, ein Paradebeispiel für Digitalisierung 4.0
- Ergänzendes, nachrüstbares Sicherungssystem („**safety overlay**“)
→ Erhöhung der Sicherheit **Fahrzeug um Fahrzeug**



Einsatzgebiete

Das System ist insbesondere geeignet (wenn auch nicht limitiert) für den Einsatz auf **regionalen Strecken** oder **Industrie- und Anschlussbahnen**

Besonderes Potential bei

- betriebsbedingten Abweichungen wie **Setzen eines Ersatzsignals (Zs 1)** oder **Rücksetzen von Achszählern**
- temporär ungewöhnlichen Betriebsverfahren (z.B. **Baustellenbetrieb**)
- Warnung vor temporären **Hindernissen auf der Strecke** (z.B. Nebenfahrzeugen) oder permanenten **Einschränkungen des Lichtraumprofils** (z.B. Tunneln)
- **Schutz von Streckenarbeitern**, durch individuelle Schutzeinrichtung (z.B. Smartphone App) oder Rottenwarnung mittels portabler Schutzeinrichtungen



Hanau, Deutschland, 13.04.2012



Vorteile der Virtuellen Infrastruktur als ergänzende technische Zugsicherung nach Digitalisierung 4.0

- Kosten **skalieren nur mit der Anzahl der ausgerüsteten Fahrzeuge**, nicht wie üblich mit der Anzahl von Streckenkilometern
- Unabhängigkeit von anderen Zugsicherungsverfahren ist **mathematisch optimale Voraussetzung** (Wahrscheinlichkeiten unentdeckter – meist menschlicher – Fehler beider Verfahren können multipliziert werden)
- **Portable Einheiten** ermöglichen **diskriminierungsfreien Netzzugang** auch für Fremdfahrzeuge
- **Sicherheit steigt** mit der Ausrüstung **jedes einzelnen Fahrzeugs**, auch bei Mischbetrieb. 100% Ausrüstungsquote ist **nicht** notwendig.



Vorteile der Virtuellen Infrastruktur als ergänzende technische Zugsicherung nach Digitalisierung 4.0

(Fortsetzung)

- Beim Betrieb als **Fahrerassistenzsystem** bleibt der Lokführer in der Verantwortung. Bremsung kann aber auch **automatisch** ausgelöst werden (ausschließlich Frage der Zulassung).
- Erheblich **gesteigerte Flexibilität** bei der Ausrüstung bzgl. **Zeit** (z.B. inhärente Migration), **Budget** und vor allem auch der **Nutzung**



Parametrierbare Funktionalität

z.B. auf Basis der elektronischen Streckenkarte

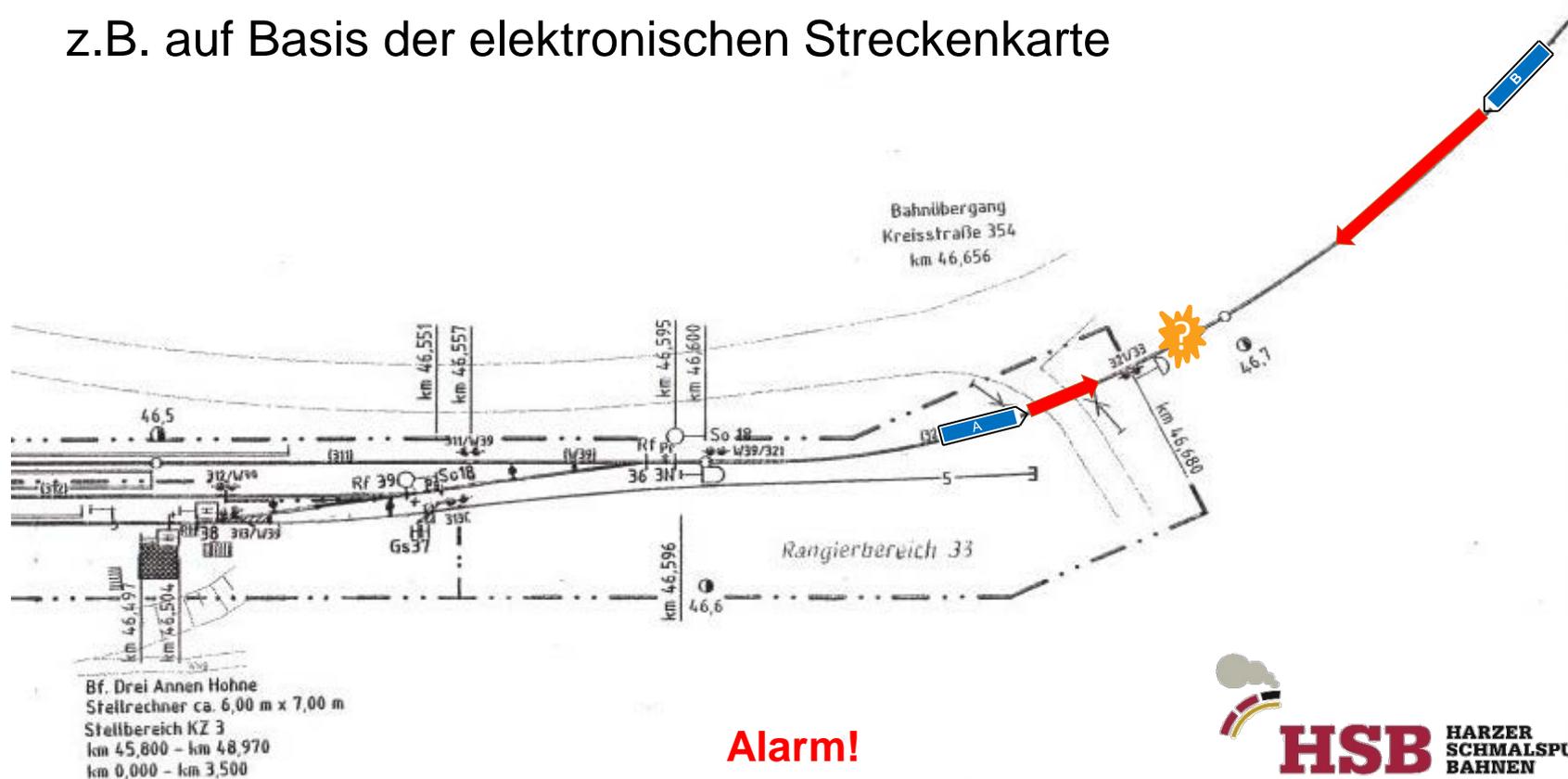


Kein Alarm!
(Konfliktpunkt nicht auf freier Strecke)



Parametrierbare Funktionalität

z.B. auf Basis der elektronischen Streckenkarte



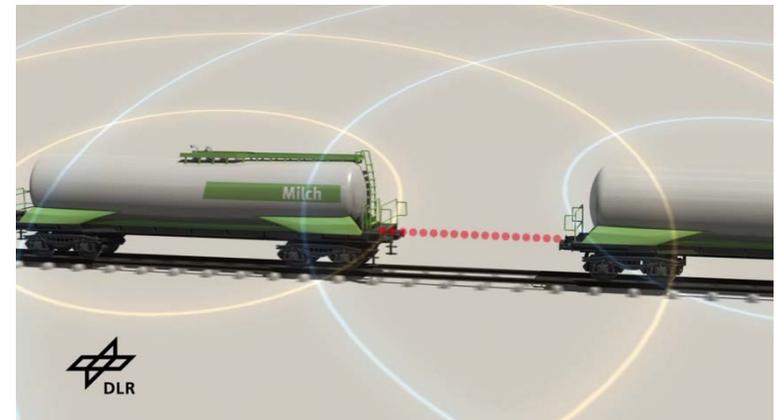
Digitalisierung von Systemfunktionen der Bahn II

Fernwirkende Kupplung von Teilzügen

- Signaltechnisch und betrieblich ein Zug
- Unabhängig von Fahrzeugtyp und Gattung

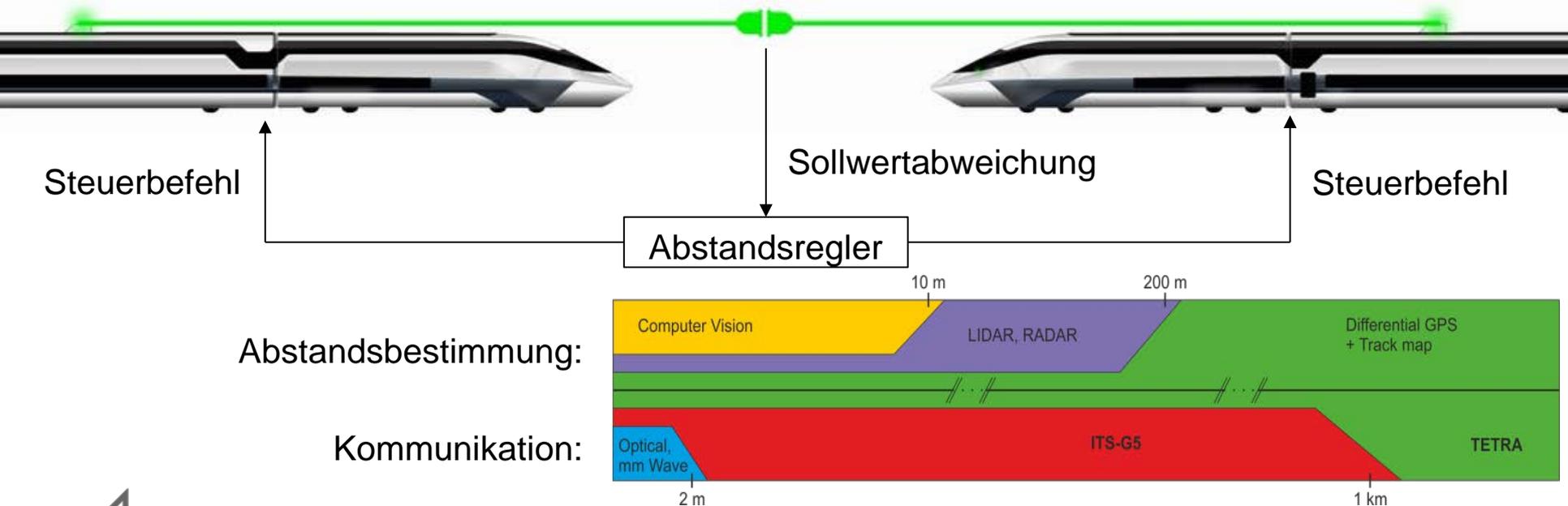
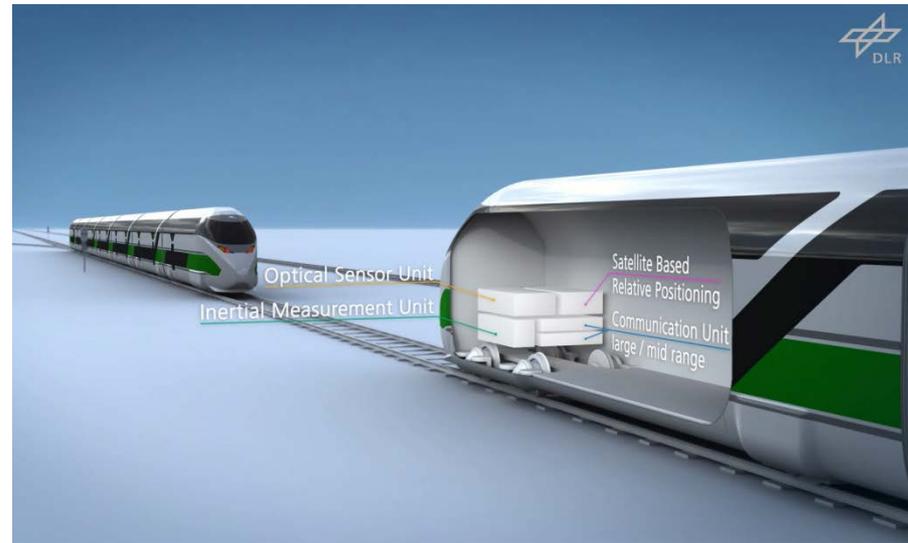
Dynamisches Flügeln von Teilzügen

- Stärken und Schwächen der Züge während der Fahrt
- Züge bahnsteiglängengerecht kürzen
- Ziel: Streckendurchsatz erhöhen ohne aufwendige Infrastrukturmaßnahmen



Fernwirkende Kupplung durch Digitalisierung 4.0

Abstandsregelung basierend auf Relativabstand und direkter Kommunikation



Roll²Rail

Kommunikations-Testfahrten bei Trenitalia

- Nachtfahrten zwischen Neapel und Rom
- Zwei Frecciarossa Hochgeschwindigkeitszüge
- Untersuchung der Übertragungseigenschaften von kabellosen Signalen zwischen und innerhalb der Züge



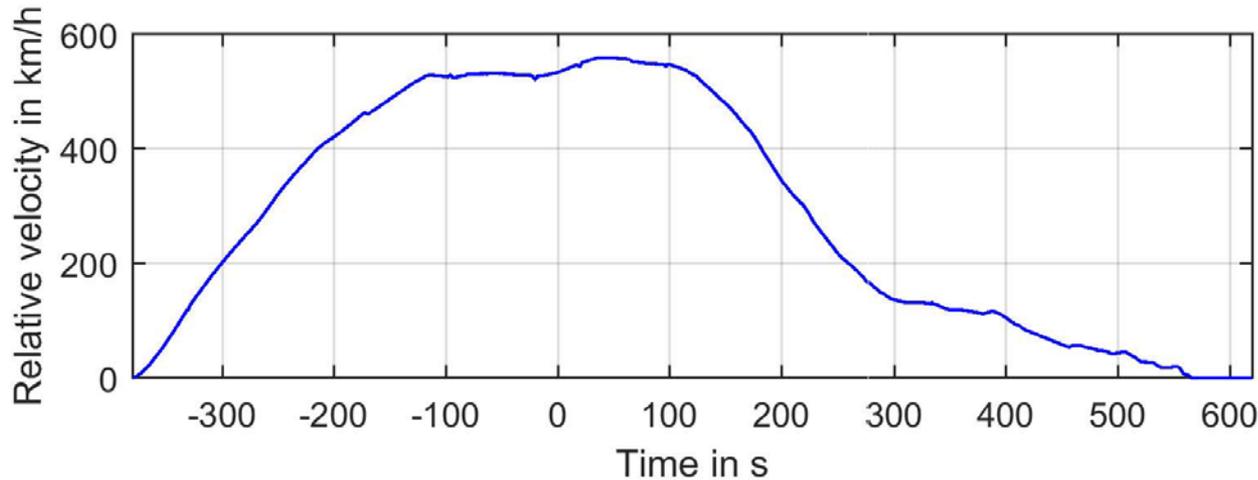
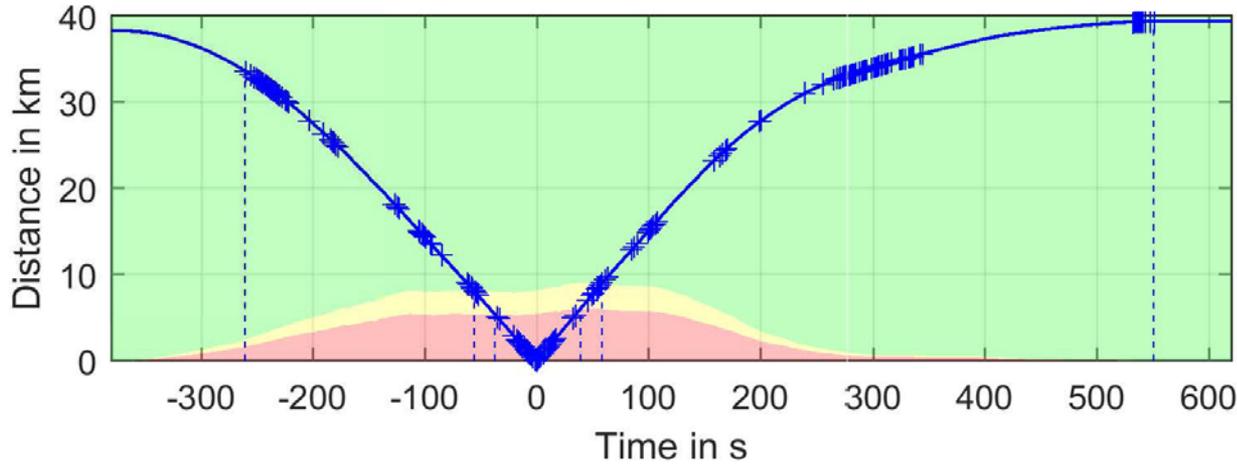
Unterhuber, P., Sand, S., Soliman, M., Siebler, B., Lehner, A., Strang, T., Gera, D. (2016) [Wide Band Propagation in Train-to-Train Scenarios - Measurement Campaign and First Results](#). EUCAP 2017, Paris, Frankreich.



Performanz bei Zugkreuzung



Reichweitenrekord: 39.5 km



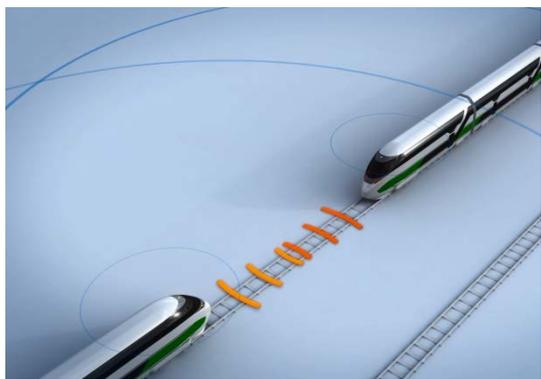
Lehner, A., Strang, T., Unterhuber, P., *Train-to-Train Propagation at 450 MHz*, EuCAP 2017



„Roadmap“ der Anwendungen von Zug-zu-Zug Kommunikation



Kollisionswarnsystem (RCAS)
„virtuelle Infrastruktur“



Dynamisches Kuppeln und Flügel (NGT)

Zug-zu-Zug Kommunikation (T2T),
dezentrale Steuerung



Autonomes selbstorganisierend.
Zugverkehrsmgt. (ARTMS)

Image: photonade.com

2007

2017



NGT – Forschung am Zug der Zukunft

➤ Ultra-Hochgeschwindigkeits-Triebwagen-Personenzug

NGT HGV
400 km/h



➤ Hochgeschwindigkeits-Triebwagen-(Zubringer)Personenzug

NGT LINK
230 km/h



➤ Ultra-Hochgeschwindigkeits-Triebwagen-Güterzug

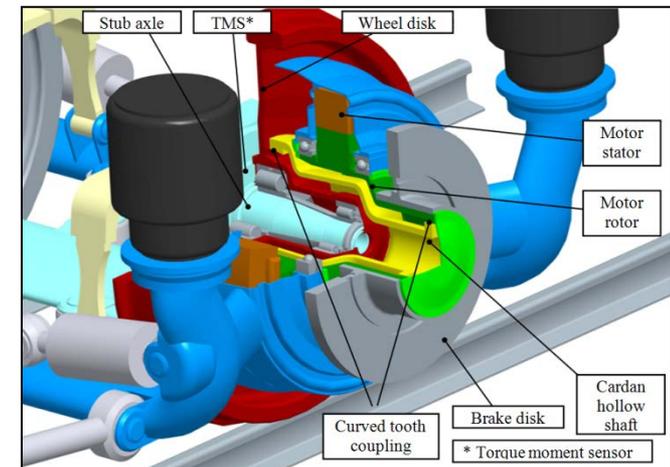
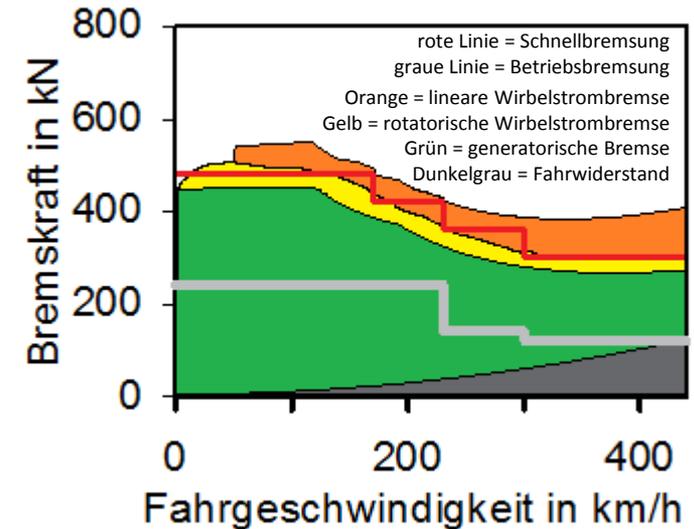
NGT CARGO
400 km/h



Zug der Zukunft mit Digitalisierung 4.0

Beispiel 3: Brake by Wire(less)

- Reduktion von Lärm und Verschleiß sowie eine erhöhte Sicherheit sind Hauptziele des Bremskonzeptes
- Elektronische Kontrolle und Aktuation für ein schnelles, zielgerichtetes und sicher arbeitendes Bremssystem
- Fail-safe Prinzip
- Regenerative und Wirbelstrom-Bremsen für den NGT vorgesehen
- Als Backup oder perspektivisch Ersatz zur Hauptluftdruckleitung

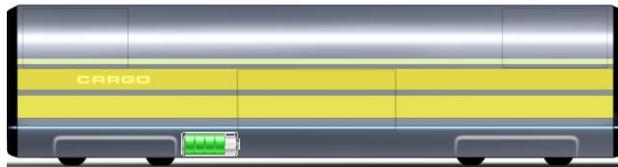


Zug der Zukunft mit Digitalisierung 4.0

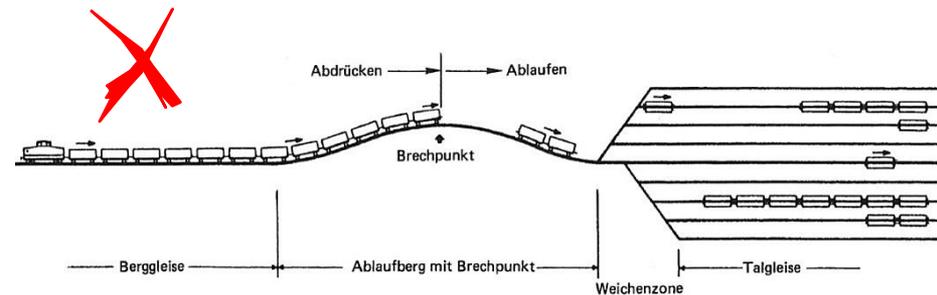
Beispiel 4: NGT CARGO-Einzelwagen

Stärkung des Einzelwagenladungsverkehrs

- Hochautomatisierter Betrieb für Zugbildung & Bedienung der letzten Meile
 - Mindestanforderung autarker Betrieb: 25 km Reichweite / 25 km/h
- Automatische, mechanische Kupplung zwischen den Wagen, keine Hauptdruckluftleitung
- Bildung von *CARGO-Einzelwagen-Verbänden* auf identischen Teilstrecken



NGT CARGO Einzelwagen



Prinzipdarstellung eines Gefälleüterbahnhofes, Quelle: A. Hausmann



Näher am Markt als gedacht?

The screenshot shows the Deutsche Bahn website with the following content:

- Header:** DB logo, language selector (Deutsch), search bar (Suche...).
- Navigation:** Home, Konzern, Presse, IR, Karriere, Digitalisierung, Nachhaltigkeit, Bahnwelt, Geschäfte.
- Sub-navigation:** DB Digital, Digital Ventures, Startups, Automatisierung, **Autonomes Fahren**, Zukunft Bahn, Arbeitviernull, CeBIT 2017.
- Main Content:**
 - Section:** Mobilität im Wandel
 - Text:** Mit fahrerlosen Fahrzeugen bequemer, individueller, effizienter und ökologischer
 - Text:** Autonom fahrende Fahrzeuge könnten schon bald Mobilität auf der Straße... wird zur gut genutzten Zeit, weil sie frei verfügbar is...
 - Text:** Auch die Logistikbranche wird durch fahrerlose Fahr... automatisierte Flottensteuerung und mehr Flexibilit... möglich. Zudem werden die Straßen sicherer, denn... menschliches Versagen.



Konsequenzen

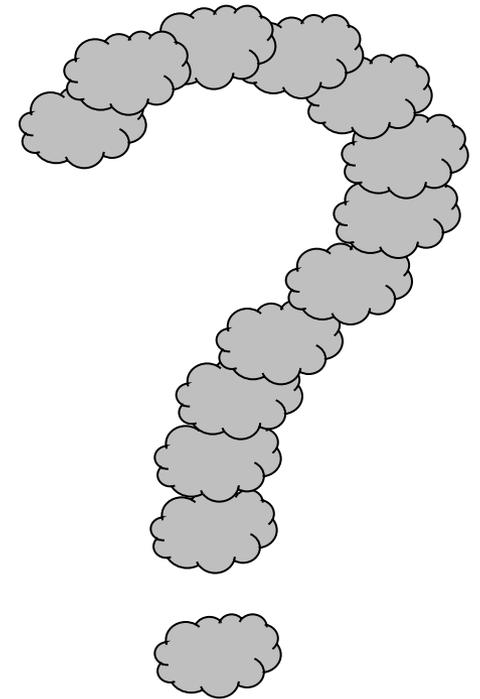
- Die Etablierung neuer Kommunikationsverfahren und konsequente Anwendung von Kernkonzepten der Digitalisierung 4.0 ermöglichen völlig neue Wege in der Leit- und Sicherungstechnik der Zukunft
- Diese **erfordern teilweise ein systemisches „Umdenken“** klassischer Denkmuster und sind in Ihrer Wirkung nicht nur auf die reine technologische Lösung einer Fragestellung begrenzt. Vielmehr erfordern bzw. ermöglichen sie regelmäßig auch **Änderungen z.B. in betrieblichen Abläufen und Fragen der Zertifizierung.**
- Die Digitalisierung von Systemfunktionen bietet bei konsequenter Anwendung ein erhebliches Potential zur Steigerung von Effizienz, Komfort und Sicherheit im gesamten Bahnbereich



Kontakt

Dr. Thomas Strang
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Kommunikation und Navigation
D-82234 Wessling

Email: thomas.strang@dlr.de
Tel: +49 8153 28 1354



Fragen

