

Alternative Lösungen zur Gleisfreimeldung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Innovationsallianz DB & TU Darmstadt
DB RailLab | AG Signalling

Hanno Winter

Fachgebiet Regelungsmethoden und Robotik, TU Darmstadt

Sicherungstechnische Fachtagung "Systemintegration in der Leit- und Sicherungstechnik", Dresden, 2018



(1)



(2)



¹ By Sebastian Terfloth [CC BY-SA 2.0 de (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/deed.en>)], from Wikimedia Commons

² By Priwo (photo taken by de:Benutzer:Priwo) [Public domain], via Wikimedia Commons

Einführung

Alternative Lösungen zur Gleisfreimeldung – Warum?

“Never change a running system“



Quelle: <http://www.eisenbahnbetriebsfeld.de/das-ebd/bildergalerie/>

- bewährte Technik
- Kapazitätsverluste
- unflexibel
- hohe Kosten

“Make money“



- Digitalisierung
- flexiblere Strecknutzung
- beschleunigte Planverfahren
- Effizienzsteigerung



zugseitige Sensorik

Gliederung

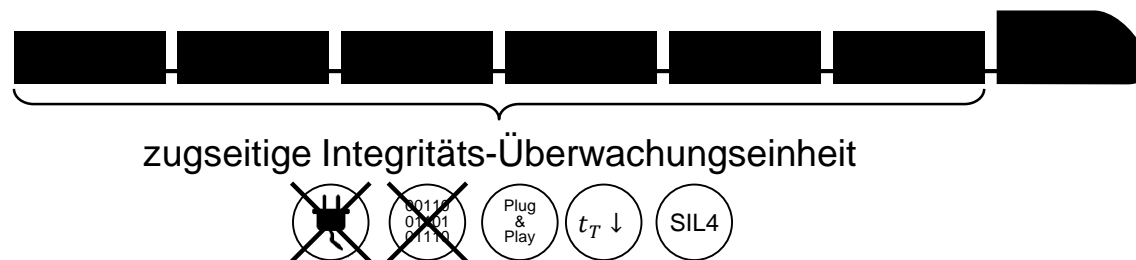
- 1) Einführung
- 2) Zugseitige Integritätsüberwachung
- 3) Lösungssuche
- 4) Zusammenfassung

Zugseitige Integritätsüberwachung

Randbedingungen

Herausforderungen:

- keine elektrische Energieversorgung vorhanden
- keine Datenverbindung zwischen den Wagons vorhanden
- schnelle und einfache Montage muss möglich sein
- Zeit t_T bis Trennung sicher erkannt wird muss im Bereich von wenigen Sekunden liegen
- Sicherheitsnachweis ist notwendig



Betrachtetes System: Güterverkehr

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Einteilung nach Funktionsweise



1) durchgehende Informationsleitung

a) mittels direkter Verbindung zwischen allen Wagens

b) mittels virtueller/drahtloser Kopplung zwischen den Wagens

2) Kommunikation zwischen Zugspitze und Zugende

3) rein lokseitige Identifikation

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Kupplung

- Trennung des Datenbusses sehr schnell und sicher erkennbar
- eine einheitliche Einführung scheint aus betrieblichen Gründen unrealistisch



Image by Akati the Fox / Christopher Kittel (Eigenes Bilderarchiv) [Copyrighted free use], via Wikimedia Commons

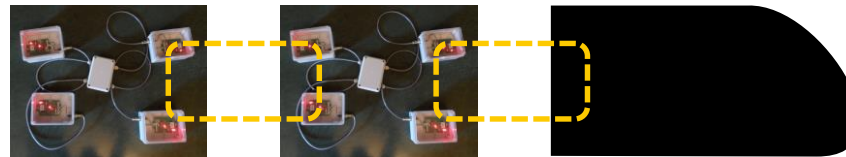
Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Kupplung	1a	• Datenbus	+ Verfügbarkeit + schnell	- Realisierbarkeit

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Wireless sensor network (WSN)

- Ausstattung aller Wagons mit entsprechenden Sende- und Empfangseinheiten
- Einsatz verschiedener Messprinzipien möglich:
 - „virtueller Datenbus“
 - direkte Detektion der Trennung mittels (GNSS/IMU, Ultraschallsensoren oder Reedschaltern)
- Beispiel: [1-2]



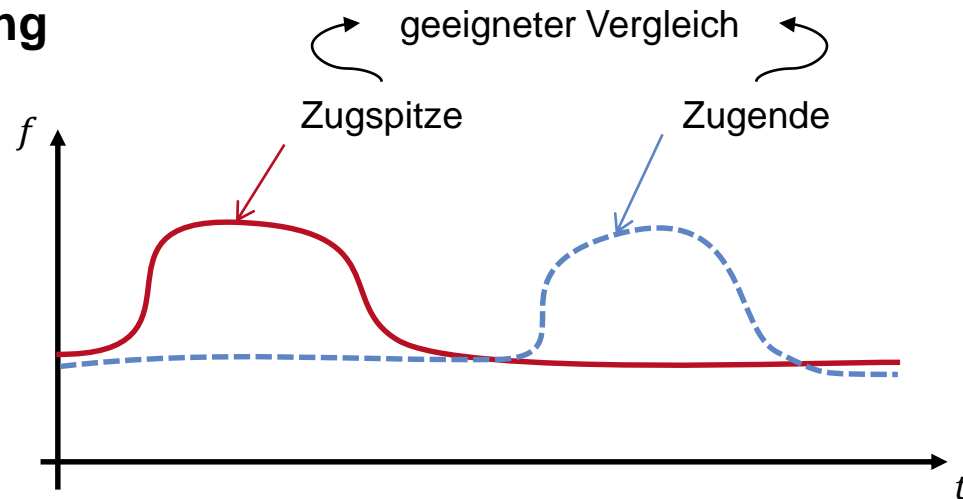
Abbildungen teilweise aus [1] entnommen

Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Wireless sensor network	1b	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS/IMU • Ultraschall • Reedschalter 	+ schnell	- Realisierbarkeit

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Merkmalerkennung



Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Merkmalerkennung (intrinsisch)	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS • IMU • Manometer 	+ Realisierbarkeit	- langsam
Merkmalerkennung (extrinsisch)	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS • IMU • Magnetometer 	+ Verfügbarkeit + schnell?	- spezielle Karten

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Merkmalerkennung

intrinsische Merkmale

- Beschleunigung, Geschwindigkeit, Druck, ...

⇒ Vergleich von Messgrößen zwischen Zugspitze und Zugende

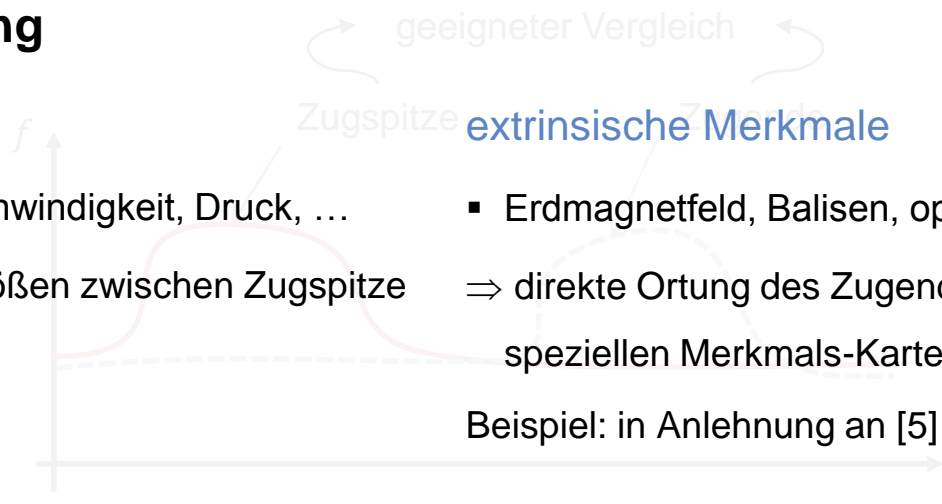
Beispiele: [3-4]

extrinsische Merkmale

- Erdmagnetfeld, Balisen, opt. Referenzmarken, ...

⇒ direkte Ortung des Zugendes durch Vergleich mit speziellen Merkmals-Karten

Beispiel: in Anlehnung an [5]



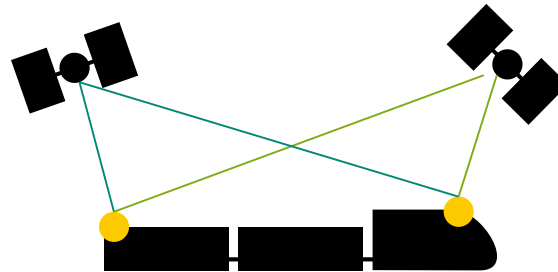
Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Merkmalerkennung (intrinsisch)	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS • IMU • Manometer 	+ Realisierbarkeit	- langsam
Merkmalerkennung (extrinsisch)	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS • IMU • Magnetometer 	+ Verfügbarkeit + schnell?	- spezielle Karten

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Double-Differencing

- Bestimmung des Abstandes zwischen Zugende und Zugspitze durch Satellitennavigationssysteme (GNSS)
- Kompensation aller Uhrenfehler
- Beispiel: [6]



Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Double-Differencing	2	• GNSS	+ genau + schnell	- Verfügbarkeit

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Druckabfall in der Bremsleitung

- Verlust eines Zugteils geht mit einem Druckverlust in der Bremsleitung einher
- Detektion funktioniert allerdings nicht zuverlässig und schnell genug (Quelle: persönliche Gespräche)

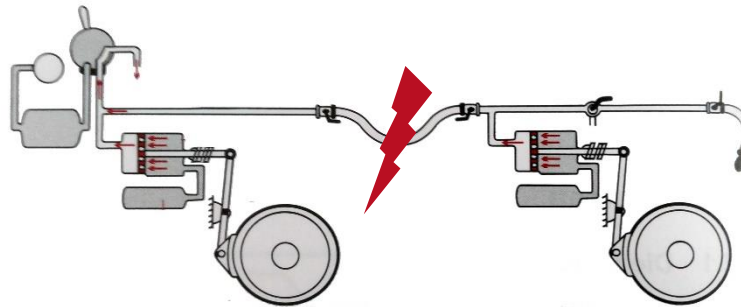


Abbildung aus: H. Jochim und F. Lademann. *Planung von Bahnanlagen: Grundlagen - Planung - Berechnung*. Carl Hanser 2017, S. 144

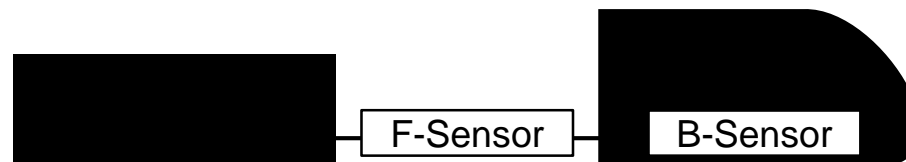
Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Druckabfall in Bremsleitung	3	• Manometer	+ lokseitig	- unzuverlässig - langsam

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Identifikation der Zugmasse

- $F = m \cdot a$
- Lösung beispielsweise mittels direkter Messung von F und a sowie Berechnung von m mittels der Methode der kleinsten Quadrate



Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Identifikation der Zugmasse	3	<ul style="list-style-type: none">• Kraftmesser• B-Messer• ???	+ lokseitig	<ul style="list-style-type: none">- Realisierbarkeit?- langsam?

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze

Überblick

Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Kupplung	1a	<ul style="list-style-type: none"> • Datenbus 	<ul style="list-style-type: none"> + Verfügbarkeit + schnell 	<ul style="list-style-type: none"> - Realisierbarkeit
Wireless sensor network	1b	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS/IMU • Ultraschall • Reedschalter 	<ul style="list-style-type: none"> + schnell 	<ul style="list-style-type: none"> - Realisierbarkeit
Merkmalerkennung (intrinsisch)	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS • IMU • Manometer 	<ul style="list-style-type: none"> + Realisierbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - langsam
Merkmalerkennung (extrinsisch)	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS • IMU • Magnetometer 	<ul style="list-style-type: none"> + Verfügbarkeit + schnell? 	<ul style="list-style-type: none"> - spezielle Karten
Double-Differencing	2	<ul style="list-style-type: none"> • GNSS 	<ul style="list-style-type: none"> + genau + schnell 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit
Druckabfall in der Bremsleitung	3	<ul style="list-style-type: none"> • Manometer 	<ul style="list-style-type: none"> + lokseitig 	<ul style="list-style-type: none"> - unzuverlässig - langsam
Identifikation der Zugmasse	3	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftmesser • B-Messer • ??? 	<ul style="list-style-type: none"> + lokseitig 	<ul style="list-style-type: none"> - Realisierbarkeit? - langsam?

Zugseitige Integritätsüberwachung

Ansätze



Quellen

- [1] B. Allotta, P. D'Adamio, D. Faralli, S. Papini und L. Pugi. „An innovative method of train integrity monitoring through wireless sensor network“. In Proc. IEEE Int. Conf. on Instrumentation and Measurement Technology (I2MTC). 2015, S. 278–283.
- [2] Dewi Project, <http://www.dewiproject.eu/dewi-project-train-integrity-detection-system/>
- [3] A. Acharya, S. Sadhu und T. Ghoshal. „Train localization and parting detection using data fusion“. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2011, S. 75–84.
- [4] Seite „Zugvollständigkeitskontrolle“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 25. Februar 2017, 14:25 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zugvollst%C3%A4ndigkeitskontrolle&oldid=163000176> (Abgerufen: 19. September 2018, 09:39 UTC)
- [5] B. Siebler, O. Heirich und S. Sand. „Train Localization with Particle Filter and Magnetic Field Measurements“. In Proc. 21st Int. Conf. on Information Fusion (FUSION). 2018, S. 1–5.
- [6] A. Neri, F. Rispoli, P. Salvatori, A.M. Vegni. „A Train Integrity Solution Based on GNSS Double-Difference Approach“. In Proc. 27th Int. Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+). 2014, S. 34-50.

Zugseitige Integritätsüberwachung

Fazit

1.) Rückblick auf die vorgestellten Herausforderungen



→ Akkus, Druckluft, Kupplung



→ drahtlose Kommunikation, Kupplung



→ nicht bei allen Verfahren gegeben

$t_T \downarrow$ → meist zu langsam

SIL4 → ???

Hauptprobleme

2.) Welches Verfahren eignet sich am besten?

→ Am ehesten eine Kombination von Verfahren der 2. und 3. Klasse

3.) Wie können neue Fortschritte erzielt werden?

→ Neuer Umgang mit Informationen, die aus wertkontinuierlichen Sensoren gewonnen wurden?!

Prinzip	Klasse	Sensoren	Vorteile	Nachteile
Kupplung	1a	• Datenbus	+ Verfügbarkeit + schnell	- Realisierbarkeit
Wireless sensor network	1b	• GNSS/IMU • Ultraschall • Reedschalter	+ schnell	- Realisierbarkeit
Merkmalserkennung (intrinsisch)	2	• GNSS • IMU • Manometer	+ Realisierbarkeit	- langsam
Merkmalserkennung (extrinsisch)	2	• GNSS • IMU • Magnetometer	+ Verfügbarkeit + schnell?	- spezielle Karten
Double-Differencing	2	• GNSS	+ Genauigkeit + schnell	- Verfügbarkeit
Druckabfall in der Bremsleitung	3	• Manometer	+ lokseitig	- unzuverlässig - langsam
Identifikation der Zugmasse	3	• Kraftmesser • B-Messer • ???	+ lokseitig	- Machbarkeit? - langsam?

Lösungssuche

Kritische Betrachtung bestehender Paradigmen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Problem: Nachweis darüber, dass eine Zugtrennung rechtzeitig (schnell) erkannt wird.

Frage: Warum ist der Nachweis so schwer?

Bisherige Vorgehensweise:

- Gefährdungen identifizieren und Anforderungen ableiten
- a-priori Nachweis, dass Sicherheitslevel eingehalten wird

⇒ hohe Anforderungen an Sensorsysteme (z.B. durch geringe Zugfolgezeiten)

⇒ alle Anforderungen müssen im vorhinein nachgewiesen werden

These: Der a-priori Nachweis höchster Anforderungen ist nur mit „binären“ Sensorsystemen zu erreichen. Eine Einführung zugseitiger Sensorik ist nach dem heutigen Stand der Technik somit nicht realisierbar.

Lösungssuche

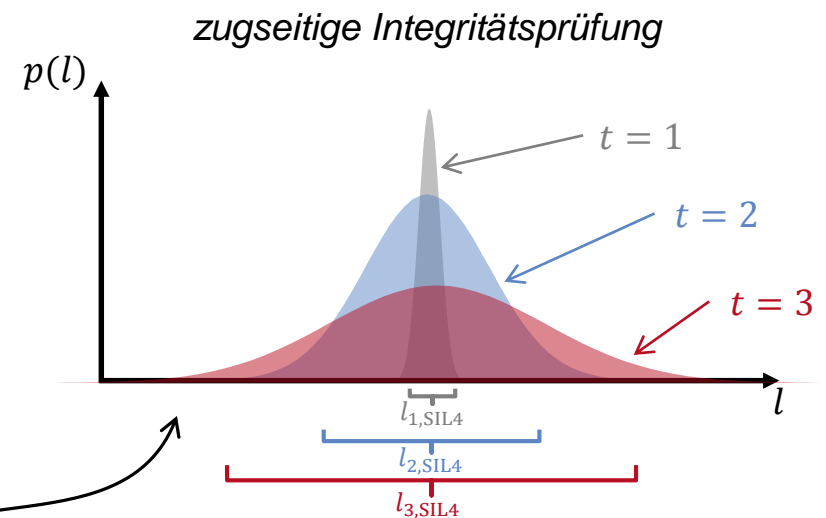
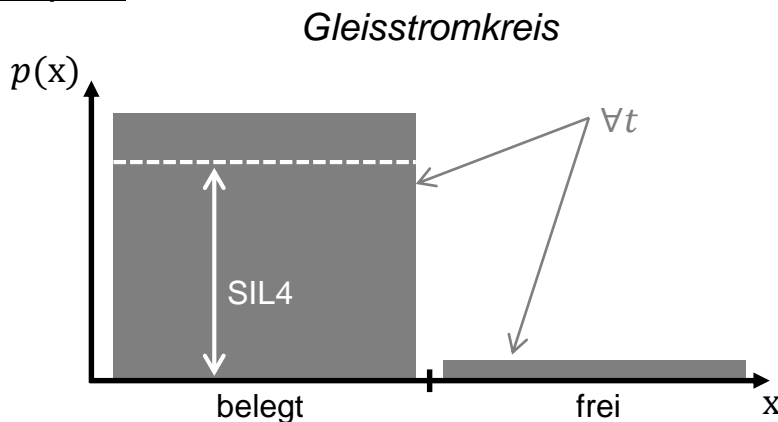
Kritische Betrachtung bestehender Paradigmen

Erklärungsversuch zu vorheriger These

→ je dichter die Zugfolge, desto höher die Anforderungen an die zugseitige Sensorik

→ die meisten Sensoren liefern wertkontinuierliche Informationen (GPS, IMU, Manometer, ...)

Beispiel:



Welche Verteilung soll im Sicherheitsnachweis verwendet werden?

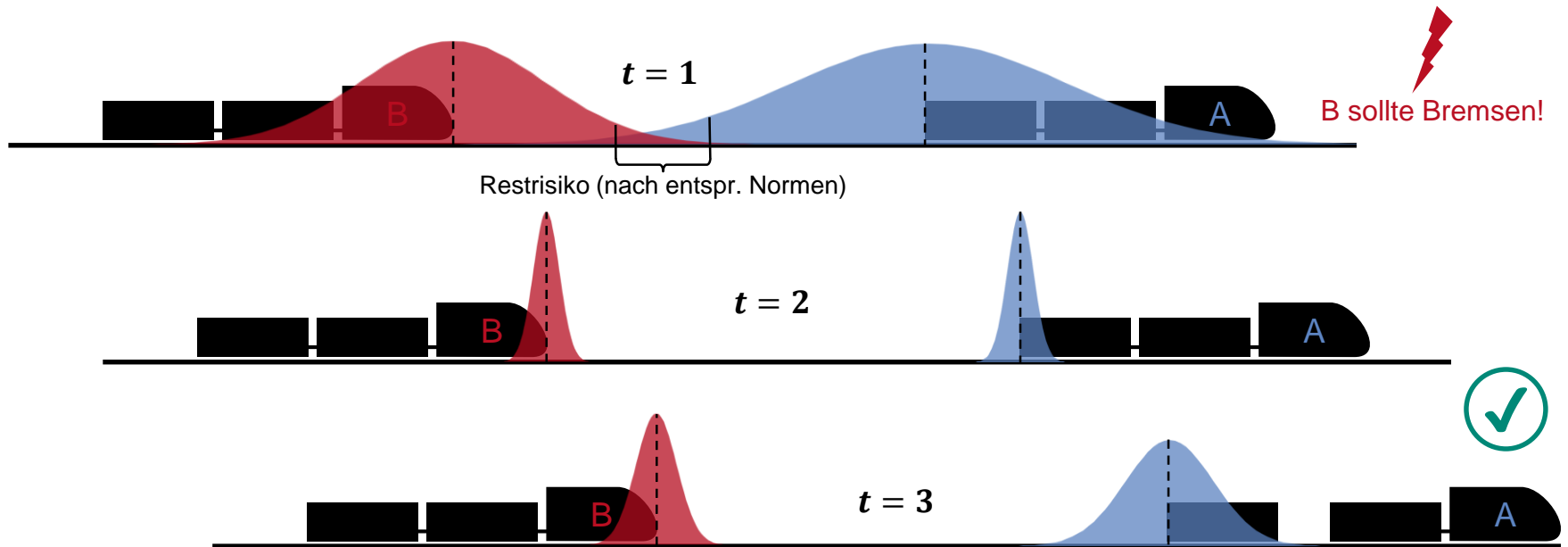
Lösungssuche

Neuer Umgang mit Unsicherheiten

Vorschlag: dynamischer Umgang mit Unsicherheiten

„Solange alle Unsicherheiten bekannt sind, lassen sich unsichere Situationen vermeiden.“

Was bedeutet das konkret?



Lösungssuche

Neuer Umgang mit Unsicherheiten

Wie kommen wir zu dem vorgeschlagenen System?

1. Sensordatenfusion

- probabilistische Ansätze → Bayes-Filter
- sinnvolle Annahmen über Wahrscheinlichkeitsverteilungen → Evaluierung am realen System

2. gleisgenaue Ortung → meist 1D-Problem (wenn digitale Streckenkarte vorhanden)

3. Kommunikation zwischen Stellwerk und Zug

- Einführung zugseitiger Systeme verspricht enorme Vorteile
- sichere und schnelle Detektion einer Zugtrennung entscheidend
- hohe sicherheitstechnische Anforderungen bisher nicht erfüllt
- Realisierung zugseitiger Systeme nach derzeitigem Sicherheitsdenken fraglich
- Lösungsvorschlag: Sicherung mittels dynamischer Berücksichtigung von Unsicherheiten

Alternative Lösungen zur Gleisfreimeldung



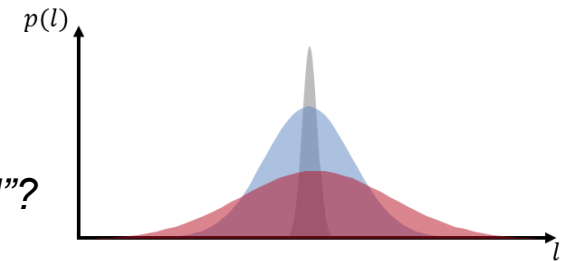
(1)



(2)

?

“Keep it simple and small”?



(3)

¹ By Sebastian Terfloth [CC BY-SA 2.0 de (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/de/deed.en>)], from Wikimedia Commons
² By Priwo (photo taken by de:Benutzer:Priwo) [Public domain], via Wikimedia Commons
³ By Akati the Fox / Christopher Kittel (Eigenes Bilderarchiv) [Copyrighted free use], via Wikimedia Commons