Monitoring und Zustandsorientierte Instandhaltung von Schienenfahrzeugen und –fahrweg mittels Mustererkennung in Ereignisdaten

Dr. B. Schulte Werning, P. Linke, H. Mösken - DB Systemtechnik GmbH, Kirchmöser

V. Hoksch - DB Regio AG, Frankfurt

L. Uebel - DB Cargo AG, Frankfurt

Dr. K. U. Wolter - Deutsche Bahn AG, München

Graz, 06.04.2015

Rund drei Mrd. Euro pro Jahr veranschlagt die Deutsche Bahn für Beschaffung und Unterhalt von Schienenfahrzeugen.

Typischer Aufwand für Beschaffung und Instandhaltung der Schienenfahrzeuge

Schienenfahrzeuge

- **Investition**
- Neukauf
- Umbau
- Redesign

Instandhaltung

Ersatzteile Fahrzeuge

zteile

d. € p.a [1)]

„Die Flottenverfügbarkeit soll erhöht und das Lebenszyklusmanagement bezüglich Instandhaltungsmaßnahmen sowie die Kosten verbessert werden.“

Jeannine Pilloud, Leiterin SBB Personenverkehr
Graz, 04.04.16

Quelle: TEF, FCA, TEE; ohne ausländische Tochterunternehmen

1) nicht additiv, da bereits in Kosten der Instandhaltung für Fahrzeuge enthalten

Der Anspannungsgrad zur Weiterentwicklung der Instandhaltung für mehr Verfügbarkeit und geringere Kosten ist hoch.

- Weitere **Reduzierung von Instandhaltungskosten, Ausfallkosten** und Betriebskosten ist gefordert.
- Ebenso ist **erhöhte Assetverfügbarkeit** und weiter optimierte Instandhaltung im laufenden Betrieb **unerlässlich**.
- **Konventionelle Instandhaltungsprozesse** stoßen heute **an** die **Grenzen** der Optimierungsmöglichkeiten.
- **Erhöhte Leistungsfähigkeit und Kostensenkung** ist möglich durch Nutzung der Diagnosedaten von Fahrzeugen und Anlagen.
- **Informationsverbesserung durch** Bereitstellung von Zustands- und Ortungsinformationen.
- **DB Systemtechnik entwickelt** und bietet mit Partnern **Lösungen zur Condition Based** bzw. **Predictive Maintenance**.

Automatisierte Zustandsbewertungen aus vorliegenden Onboard-Daten ist nächster Reifungsschritt der IH-Systeme.

Korrektive Instandhaltung

- Kein Aufwand für vorbeugende Instandhaltung
- Vollständige Ausnutzung der Abnutzungsvorräte

- Hohes Ausfallrisiko und hohe Ausfallfolgekosten
- Keine Gewährleistung der Fahrzeugverfügbarkeit
- Erschwerte Planbarkeit u. hoher Ersatzteilbestand

Präventive Instandhaltung

- Minimale Instandsetzungstätigkeiten
- Weitgehende Planbarkeit
- Bekannter Ersatzteilbedarf
- Hohe Fahrzeugzuverlässigkeit

- Hoher Planungsaufwand
- Kein Ausschöpfen der Abnutzungsvorräte
- Instandhaltungsbedingte Stillstandszeiten

Zustandsorientierte IH

- **Ausschöpfen der Abnutzungsvorräte**
- **Reduziertes Ausfallrisiko**
- **Vermeiden von Ausfallfolgekosten**
- **Neue Optionen für zeitliche und inhaltliche Planbarkeit**

- **Vorhandensein von Diagnosesystemen**
- **Verzahnung von IH-System mit Daten-Monitoring und Störungsprognose**

DB Systemtechnik bietet mit Partnern in allen 4 Einsatzbereichen Lösungen zur Zustandorientierten Instandhaltung an.

4 charakteristische Einsatzfelder bei Transporteuren und Infrastruktur

CTM

ESAH

Schall-Messzug

ODS

Fahrzeug überwacht Infrastruktur

installiert in Regelfahrzeugen zur Überwachung des Fahrwegzustandes

→ **Regel- und Messzugsysteme**

Infrastruktur überwacht Fahrzeuge

installiert an Infrastruktur zur Überwachung des Fahrzeugzustandes

→ **Checkpoints**

DafuR

OptiPro

ULM (ARGUS)

Zust.-IH Generik

Fz-Kompo-nenten

Fahrzeug überwacht sich selbst

installiert in Fahrzeugen zur Über-wachung des Fahrzeugzustandes

→ **Fahrzeugsysteme**

Infrastruktur überwacht sich selbst

installiert in Infrastruktur zur Überwachung des Anlagenzustandes

→ **Infrastruktursysteme**

Bauwerks-monitoring

Brücken-Überwachung

DB Systemtechnik bietet mit Partnern in allen 4 Einsatzbereichen Lösungen zur Zustandorientierten Instandhaltung an.

4 charakteristische Einsatzfelder bei Transporteuren und Infrastruktur

CTM

Fahrzeug überwacht Infrastruktur

installiert in Regelfahrzeugen zur Überwachung des Fahrwegzustandes

→ **Regel- und Messzugsysteme**

DafuR

Infrastruktur überwacht Fahrzeuge

installiert an Infrastruktur zur Überwachung des Fahrzeugzustandes

→ **Checkpoints**

Zust.-IH Generik

Fahrzeug überwacht sich selbst

installiert in Fahrzeugen zur Überwachung des Fahrzeugzustandes

→ **Fahrzeugsysteme**

Infrastruktur überwacht sich selbst

installiert in Infrastruktur zur Überwachung des Anlagenzustandes

→ **Infrastruktursysteme**

Bei den Checkpoints bietet die Detektionsanlage für unrunde Räder ein definiertes Leistungsspektrum zur Erfassung des Fahrzeugzustandes.

Checkpoints

- 25 Anlagen im Netz der DB vorhanden (DMS-Technik)
- Nutzung der Anlagen im Fernverkehr für ICE-Flotte
- Nutzung der Anlagen im Regionalverkehr für DoSto in NRW und im Großraum Frankfurt

Aktuell genutzte Funktionen bei Checkpoints

- Rundlaufüberprüfung aller ICE-Baureihen sowie für DoSto in NRW und Großraum FFM
- Eineindeutige Fahrzeugidentifikation installiert

Aktuell noch <u>nicht</u> genutzte Funktionen bei Checkpoints

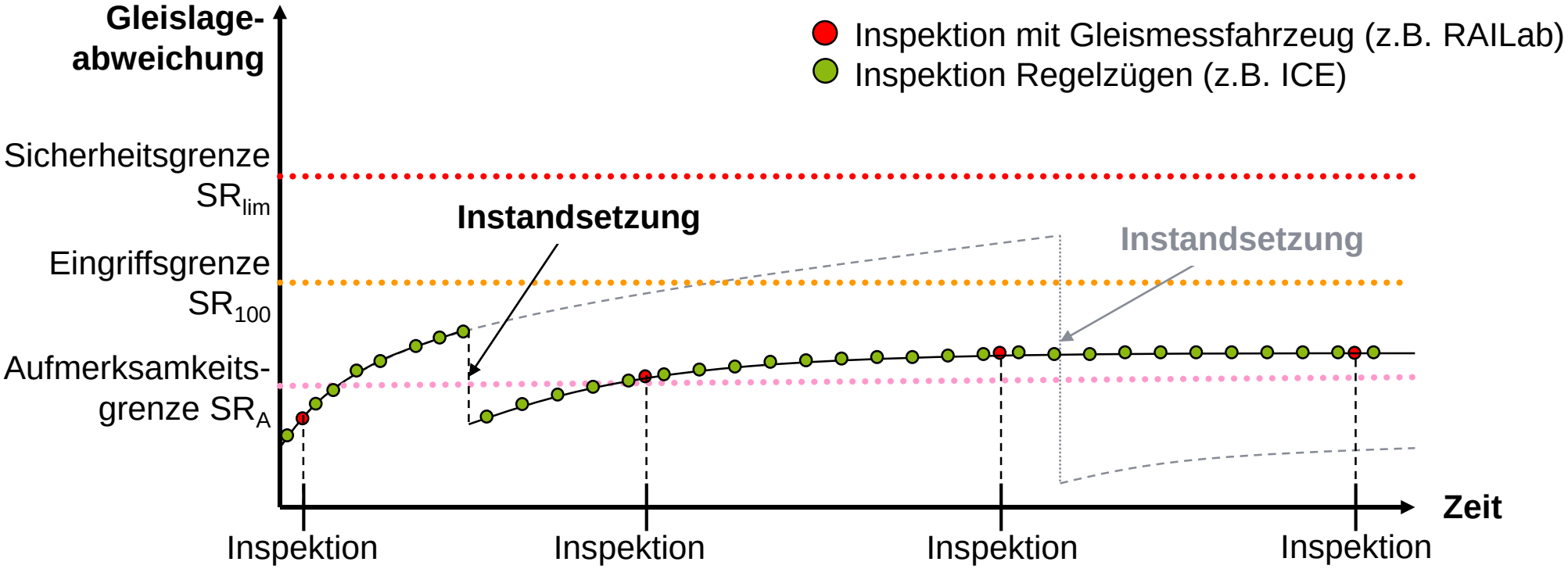
- Nutzung für alle Fahrzeuge und entsprechende Fahrzeugidentifikation
- Radlasten, Überladung, Schiefladung

Erweiterbare Funktionen bei Checkpoints

- OptiPro für Radquerprofil
- RailBAM ® für akustisches Radlagermonitoring

Beurteilung der Gleislagequalität bei der DB AG
Beispiel: Hochgeschwindigkeitsstrecken v > 160 km/h

Beurteilung der Gleisgeometrie bei der Deutsche Bahn AG – Pilotbetrieb



Grenzwert SR$_{lim}$	Reduktion der Geschwindigkeit und Instandsetzung in kürzester Zeit
Eingriffsgrenze SR$_{100}$	Instandsetzung bis zur nächsten Regelinspektion
Aufmerksamkeitsgrenze SR$_A$	Beobachtung der Entwicklung und Planung von Instandsetzungsmaßnahmen

Fahrzeugseitige Inspektion der Gleisgeometrie CTM – Continuous Track Monitoring

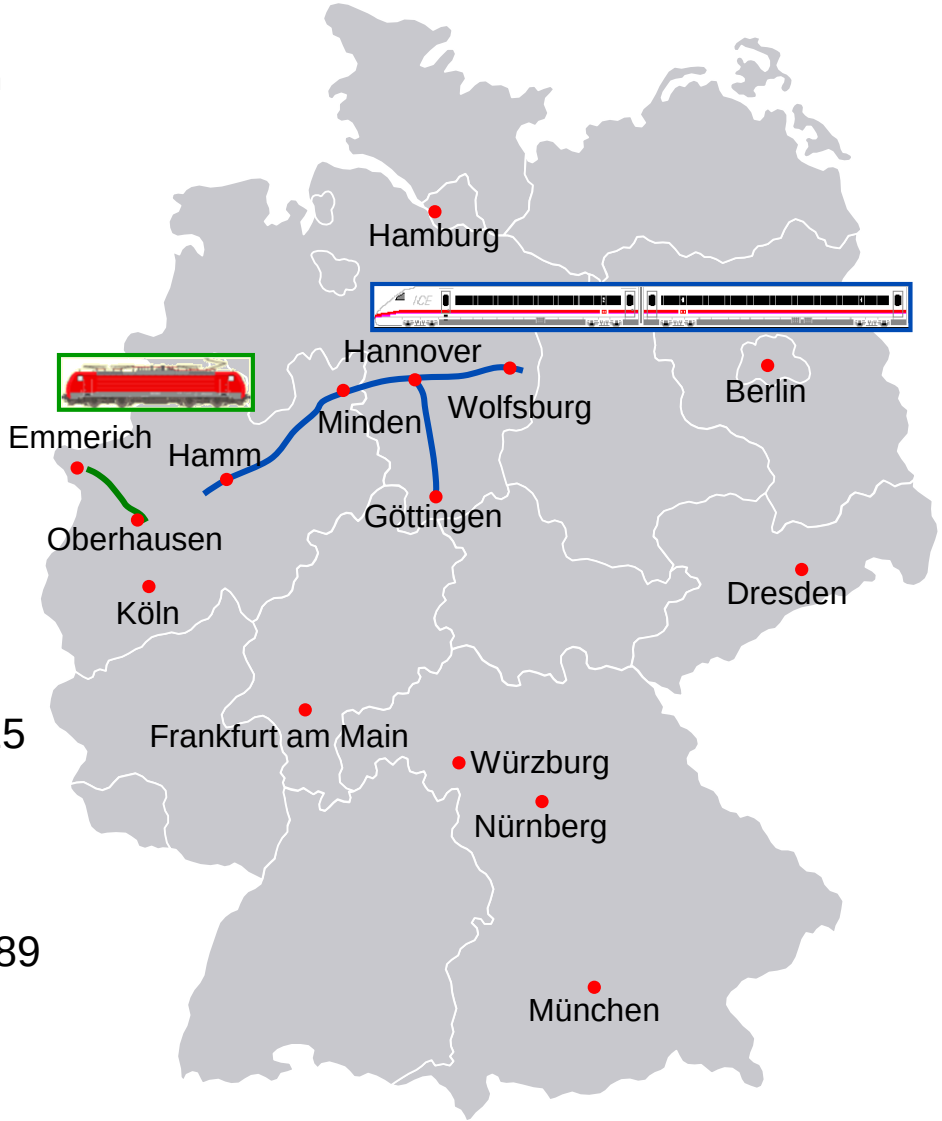
Systemübersicht

- Autarkes System
- Redundantes System mit zwei ausgerüsteten Drehgestellen
- Fernsteuerbar zur Überwachung von Messsystem und Datentransfer
- Kilometerleistung seit Inbetriebnahme der Messtechnik 2004: mehr als 5.800.000 km (ca. 1440 km pro Tag)
- Seit Inbetriebnahme Nov. 2004 nahezu keine Störungen des Messsystems
- Keine Beeinträchtigung des Betriebes und freie Disposition des Zuges
- Keine zusätzlichen Standzeiten in den Werken auf Grund Einbau des Messsystems und Wartungen
- Erfüllt Anforderungen entsprechend EN 13848-2 und hat Anwenderfreigabe der DB Netz AG

Die Betriebserprobung erfolgt im Auftrag der DB Netz AG.

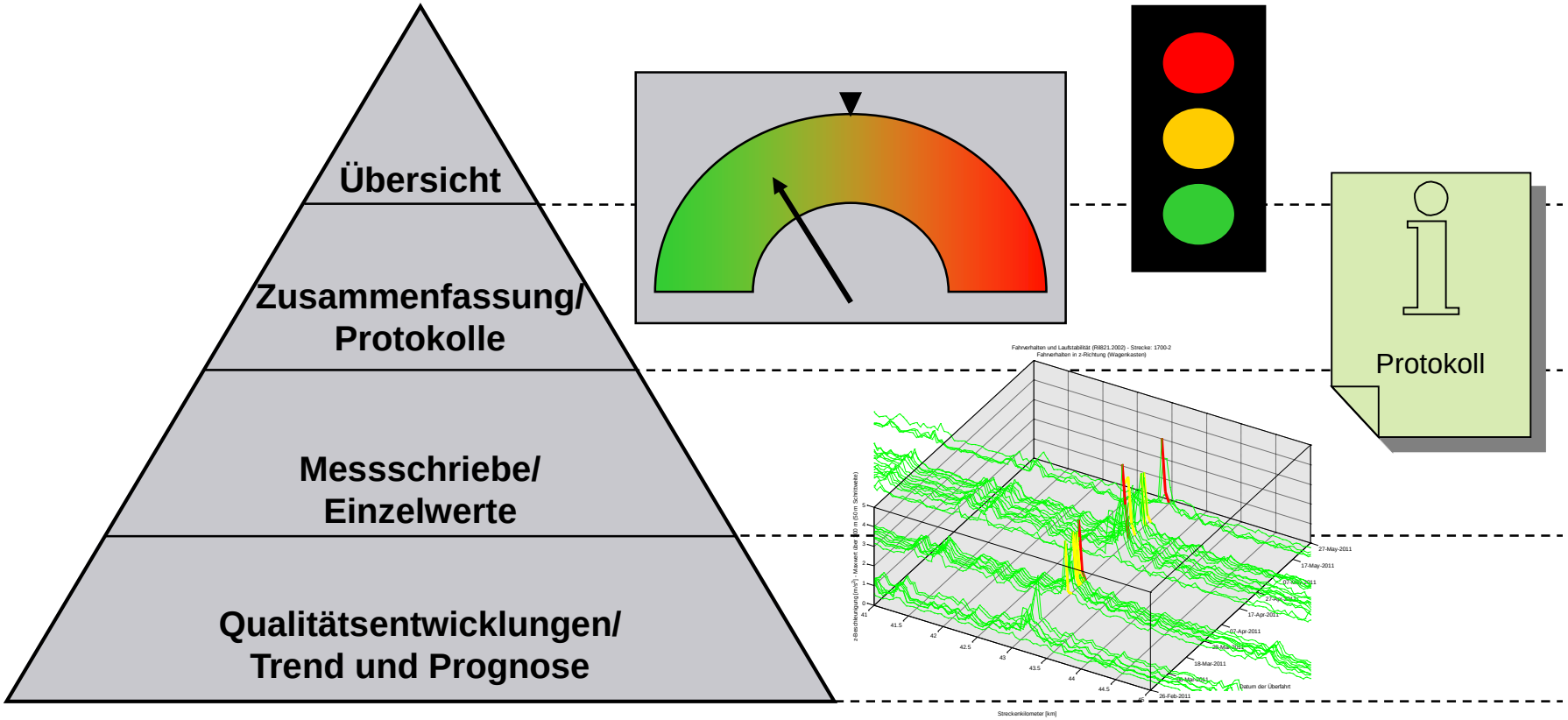
Betriebserprobung im Auftrag der DB Netz AG

- Start des Pilotbetriebes Januar 2013
- Start mit ca. 210 km Gleisstrecke
- Auf Grund der positiven Erfahrungen wurde der Umfang auf Wunsch der Anlagenverantwortlichen ausgedehnt auf
  - derzeit ca. > 730 km Gleis
  - Erweiterung auf >1500 km Gleis geplant
- Jährliche metrologische Wiederholungsprüfung 2015 erfolgreich bestanden EN 13848-2 und Anwenderfreigabe durch die DB Netz AG
- CTM-Messsystem auch auf einer Güterzuglok BR189



Fahrzeugseitige Inspektion der Gleisgeometrie
CTM – Continuous Track Monitoring

Darstellung der Ergebnisse in Verdichtungsebenen



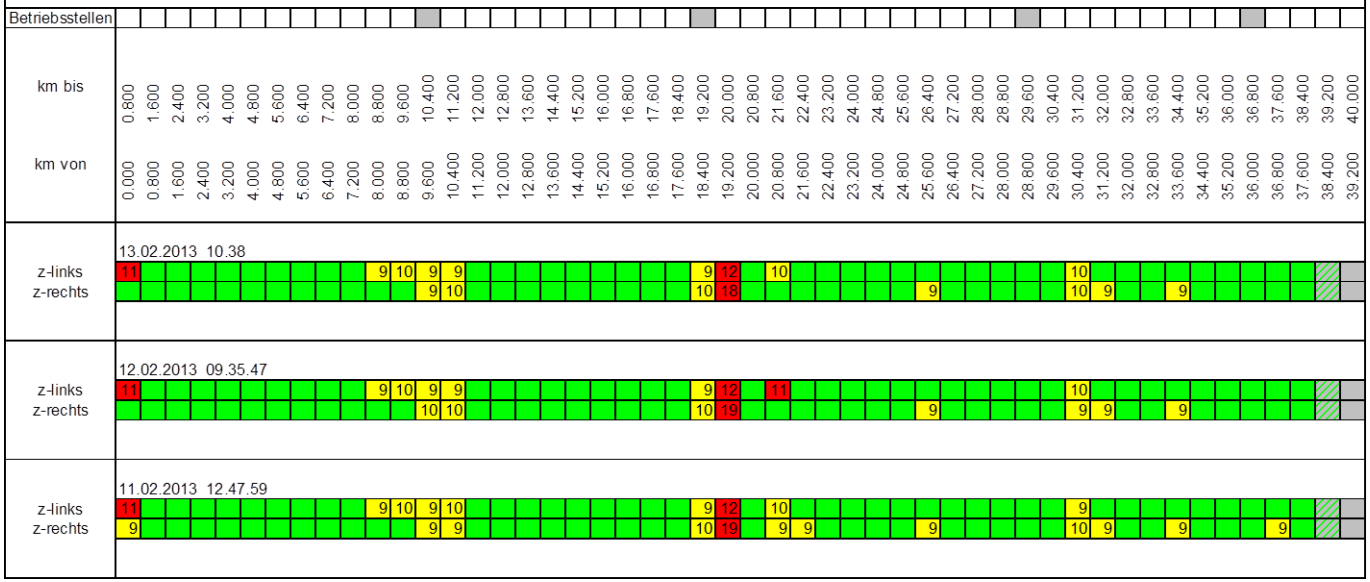
Fahrzeugseitige Inspektion der Gleisgeometrie
CTM – Continuous Track Monitoring

Darstellung der Ergebnisse für die Anlagenverantwortlichen

Februar 2013

Strecke: xxx-x, km 000 bis 040
Auflösung: 800 m

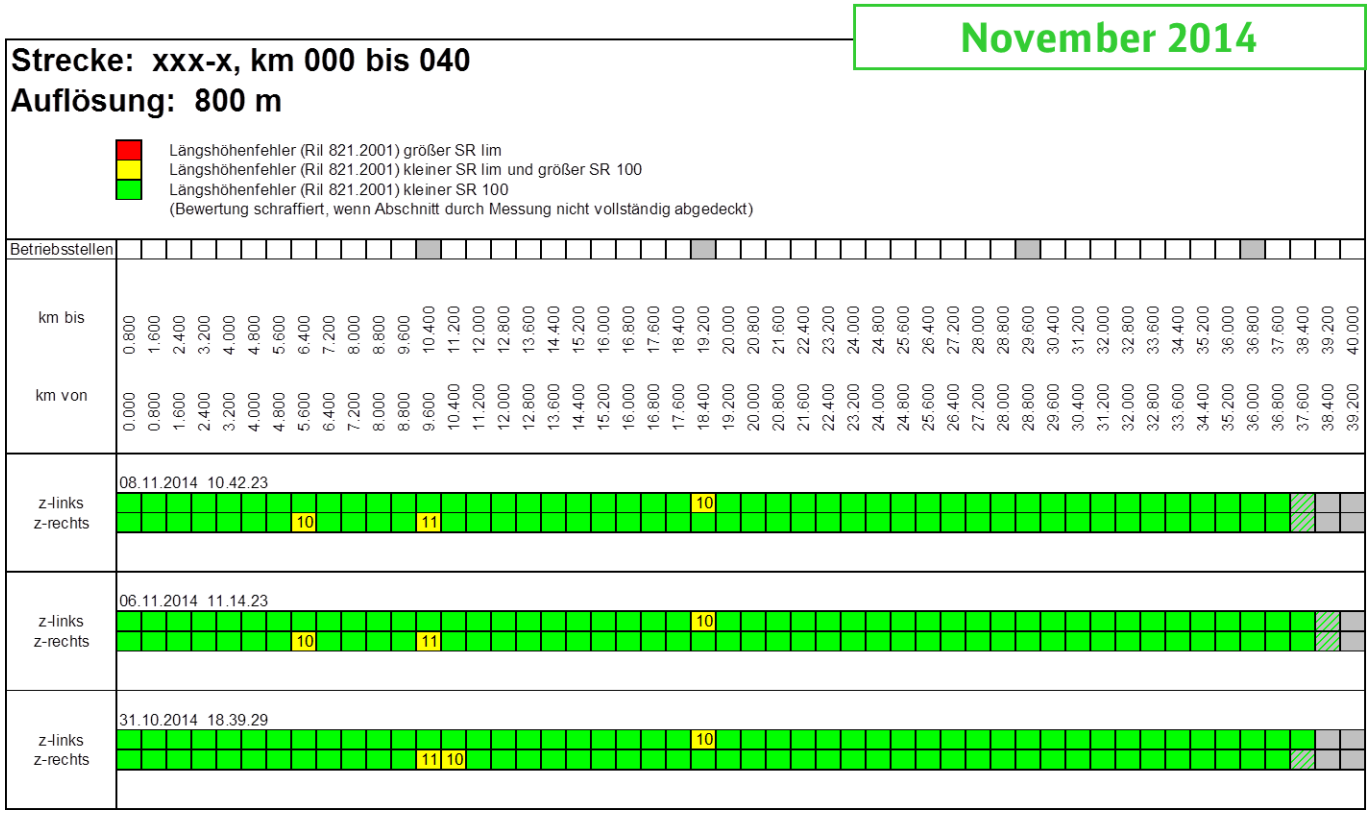
Längshöhenfehler (Ril 821.2001) größer SR lim
Längshöhenfehler (Ril 821.2001) kleiner SR lim und größer SR 100
Längshöhenfehler (Ril 821.2001) kleiner SR 100
(Bewertung schraffiert, wenn Abschnitt durch Messung nicht vollständig abgedeckt)



- Grafische Übersicht (MS Excel)
- Überschreitungsprotokoll (nicht dargestellt)
- Wöchentliche Information an die Anlagenverantwortlichen
- Google Maps

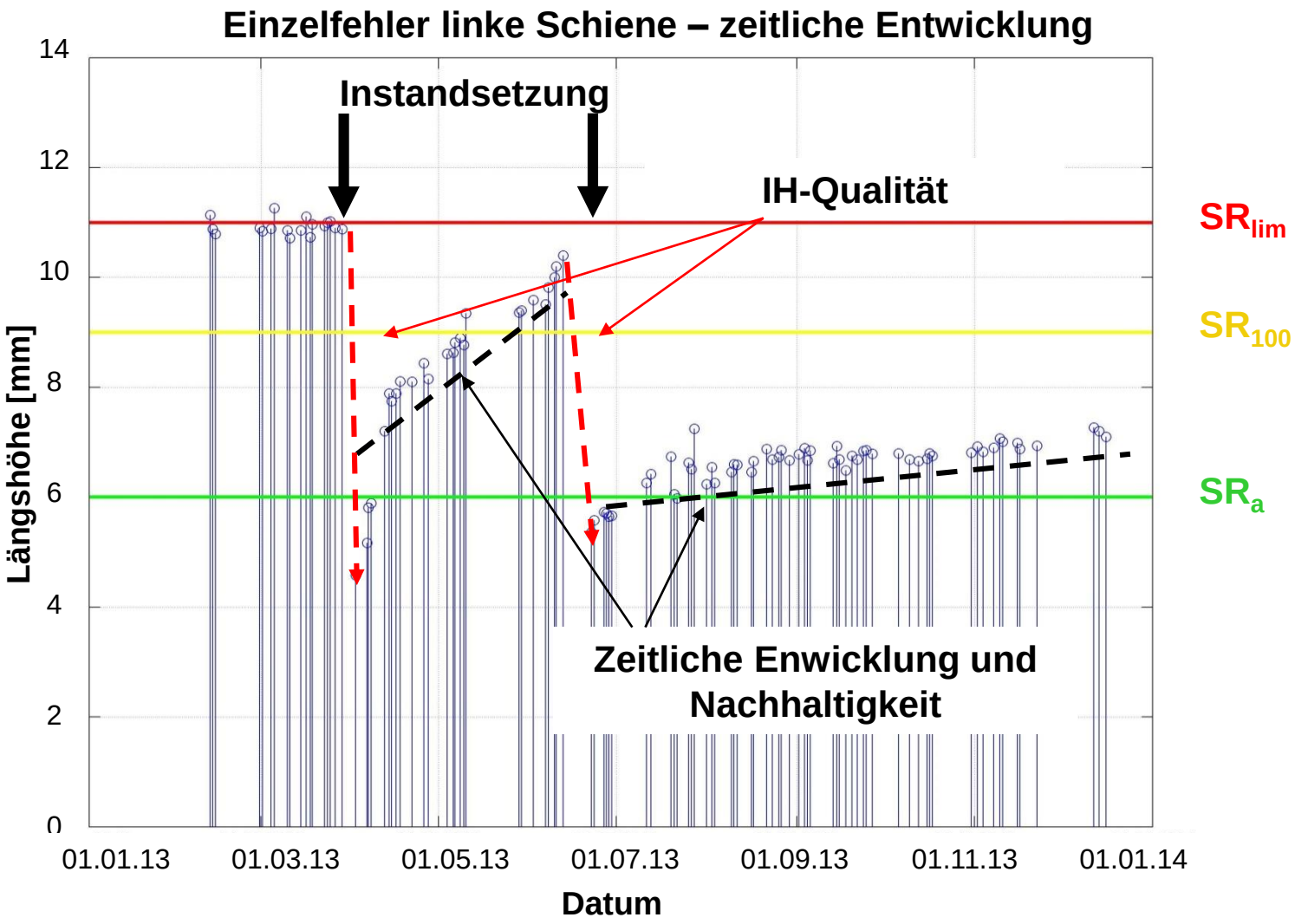
Fahrzeugseitige Inspektion der Gleisgeometrie
CTM – Continuous Track Monitoring

Darstellung der Ergebnisse für die Anlagenverantwortlichen



- Grafische Übersicht (MS Excel)
- Überschreitungsprotokoll (nicht dargestellt)
- Wöchentliche Information an die Anlagenverantwortlichen
- Google Maps

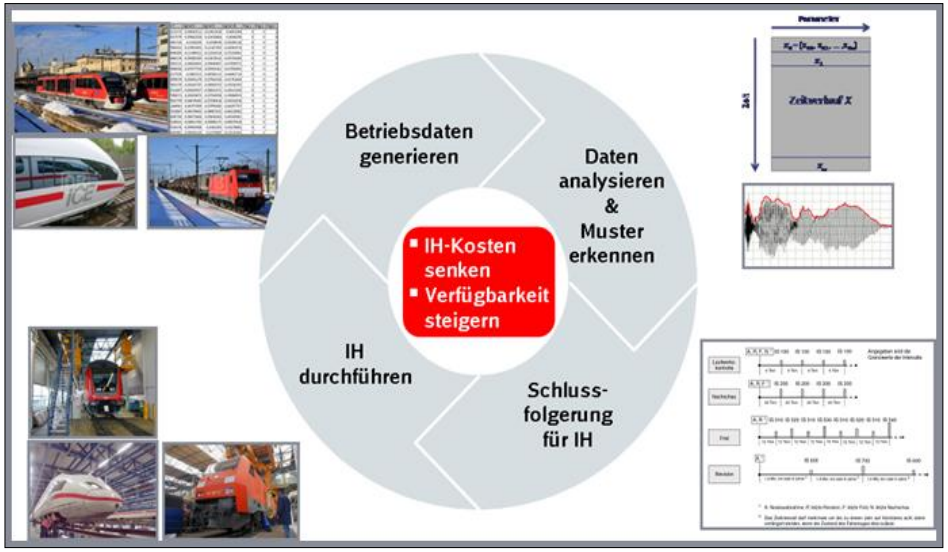
Die zeitliche Entwicklung der Längshöhe an einer Einzelstörstelle zeigt, ob die Instandsetzungsmaßnahme nachhaltig war.



Zusammenspiel von Datenbereitstellung, Analysemethoden und Ergebnisnutzung ist Projektziel von „Zustandsorientierte Instandhaltung“.

Erprobung bei DB

- Entwicklung und Erprobung anhand Ereignis-daten von BR 145 (DB Cargo) und BR 442 (DB Regio)



Beschreibung

- **Nutzbarmachung** aktueller und moderner **Datendiagnose für** das **IH-System**
- **Auswertung** auf Basis der Daten aus Fahrzeugen und Instandhaltung
- **Erkennen von anormalen Zuständen** und **Fehlermustern** über moderne Anomalie-detektions- und Mustererkennungsverfahren
- **Erfassung** mehrdimensionaler stochastischer **Abhängigkeiten**
- **Prognose** von zu erwartenden Ereignissen der Komponenten und Subsysteme
- **Anpassung und Optimierung** der bestehen-den korrektiv-präventiven **IH-Systeme**

Das Projekt will ein Verfahren der automatisierten Zustandsüberwachung in den Instandhaltungsprozess integrieren.

- Inspektion
- Wartung
- Instandsetzung
- Verbesserung

Innovation → Beschaffung → Herstellung → **Betrieb** → **Instandhaltung** → Ausbau & Redesign

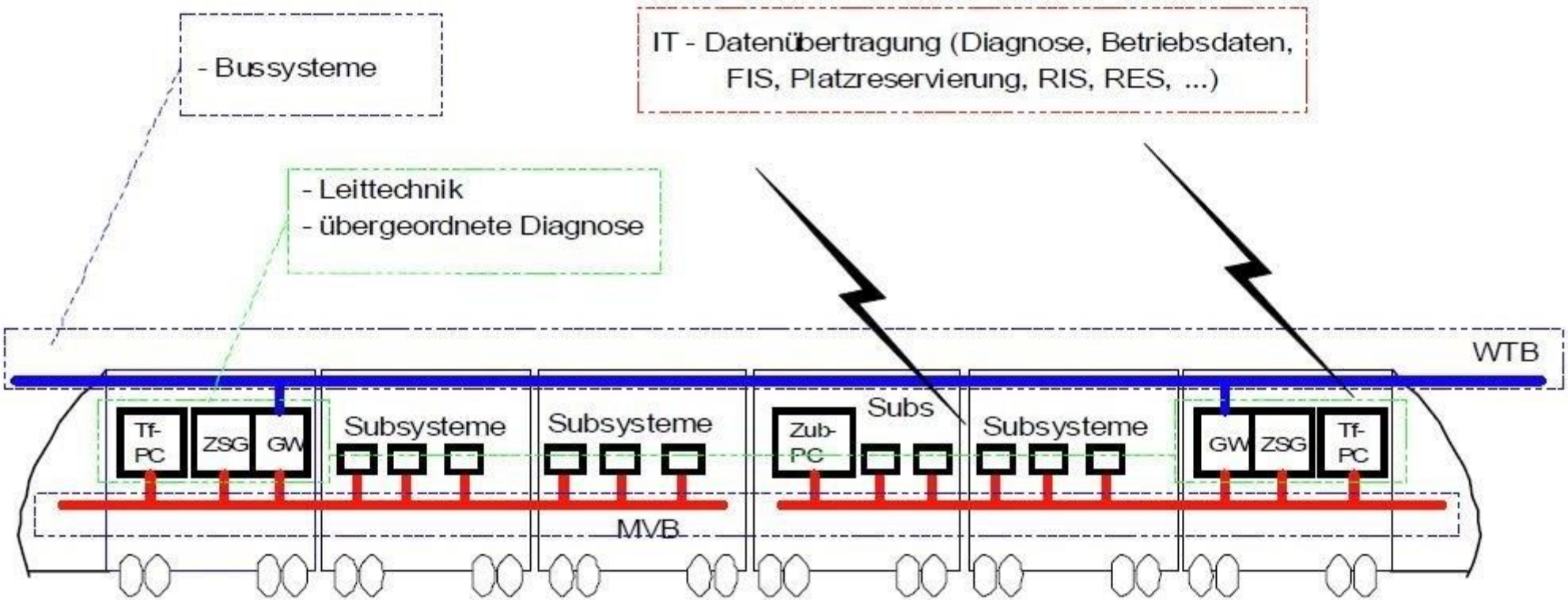
Instandhaltungsprogramme → Material-logistik → IH-Durchführung

- Instandhaltungsmaßnahmen
- Instandhaltungsstufen
- Instandhaltungsplan

Zustandsorientierte Instandhaltung (CBM)
mit automatisierter Zustandsüberwachung und -Bewertung im Instandhaltungsprozess

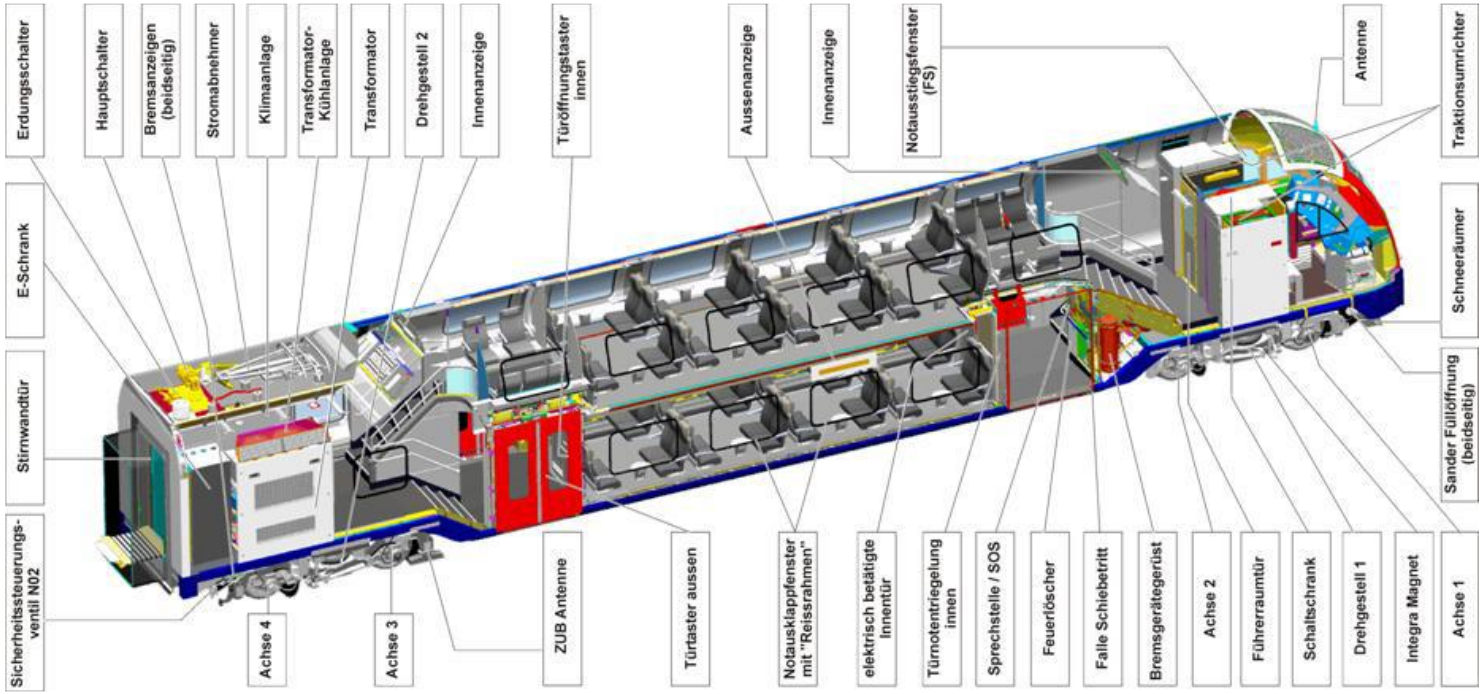
Ziel-definition	Daten-auswahl	Daten-formatierung	Muster-erkennung	Schlußfolgerung für die Instandhaltung	Integration in die Instandhaltung
▪ Festlegung durch Instandhaltungs-experten		▪ Gruppierung ▪ Klassifizie-rung	▪ Regression ▪ Ähnlichkeits-stichproben ▪ Störungsprognose	▪ Interpretation mit Instandhaltungs-Know-how ▪ Empfehlungen für die Instandhaltung ▪ Anpassung der Instandhaltungsprogramme	

Diagnosesysteme in modernen Schienenfahrzeugen ermöglicht Eigendiagnose auf den Ebenen Zug, Fahrzeuge und Subsysteme.



Legende:
Subsysteme sind z.B.: Energieversorgung, Türen, Klima, Bremse, FIS, Betriebsleittechnik, Neigetechnik, WC,
Tf-PC, Zub-PC: Anzeigedisplay für Tf und Zub
ZSG: Zugsteuergerät
GW: Zugbus-Gateway zur Kopplung der Fahrzeugkomponenten an den Zugbus

In neueren Fahrzeugen sind automatisierte Zustandserfassungen bereits integriert.



Bildquelle: SBB

Beispiele für mögliche automatisierte Zustandserfassung:

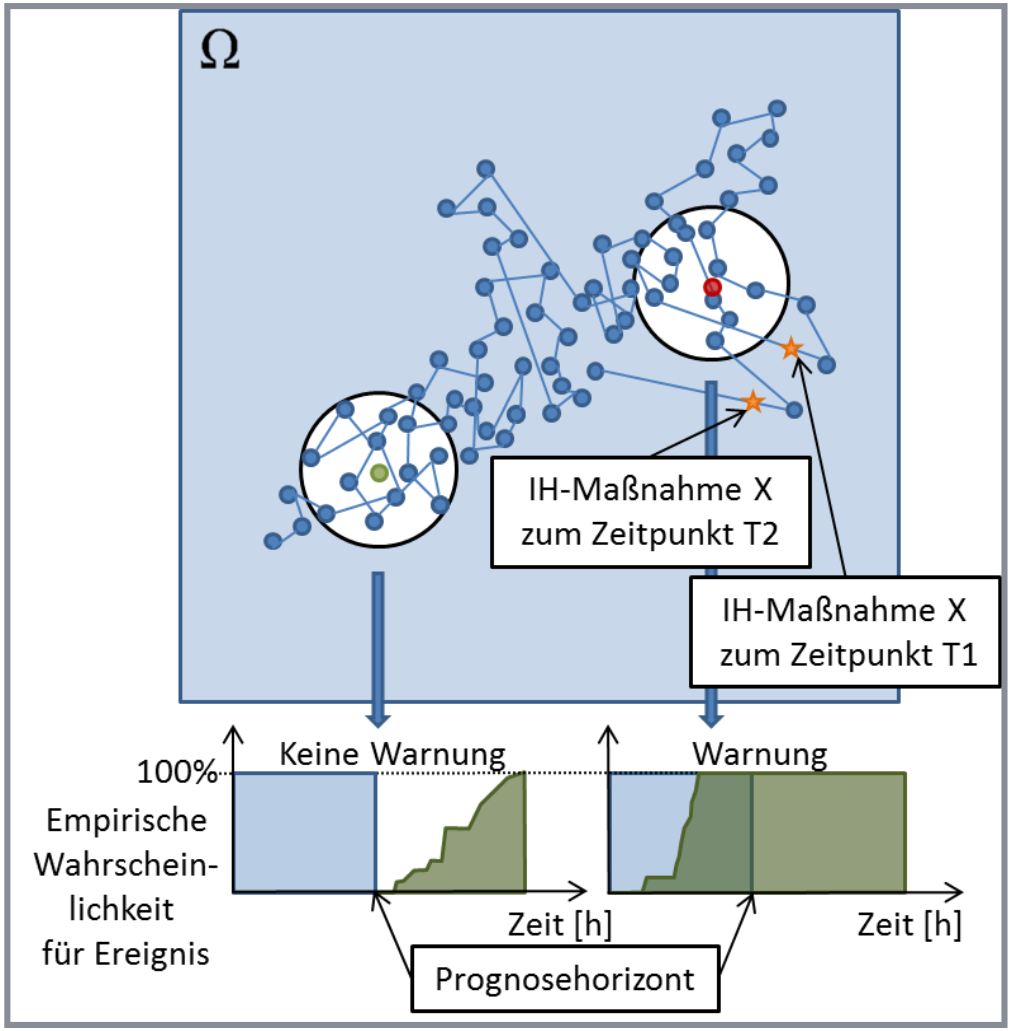
- Energieversorgung und Antrieb
- Tür-System
- Klimatechnik (HVAC)
- Bremse

Datenqualitäten:

- **Ereignisdaten** aus Fahrzeugsteuerung oder den Subsystemen z.B. Zustandsmeldungen, Störmeldungen, Log- & Protokolldateien
- **Sensordaten** physikalischer Messgrößen über ein Zeitintervall z.B. Prozessdaten, Umfeld- & Betriebsdaten

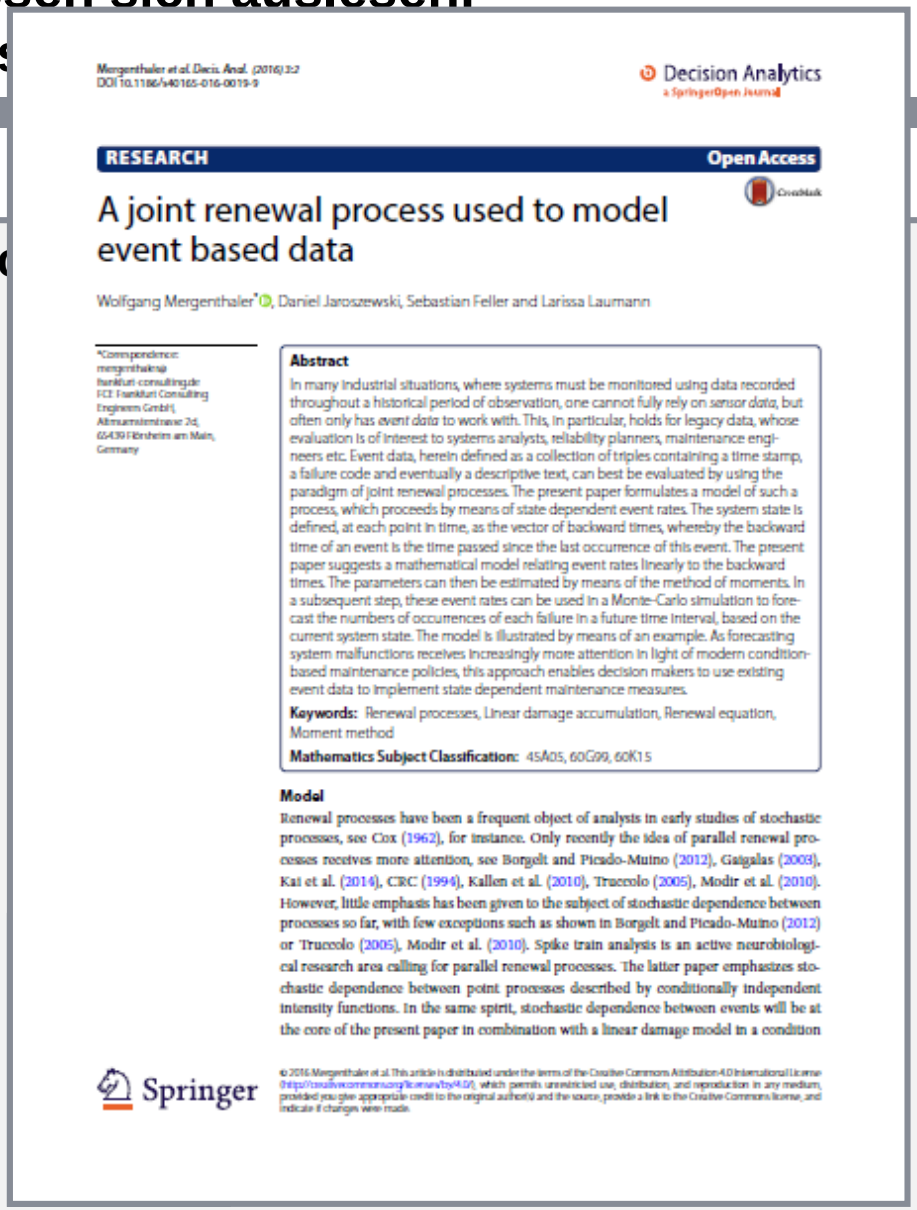
DB Mobility Networks Logistics

Im Fahrzeug vorhandene Ereignisdaten lassen sich auslesen, statistisch analysieren und für die Störungs



Mo

-
-
-
-



Mergenthaler et al. Decis. Anal. (2016) 3:2
DOI 10.1186/s40165-016-0019-9

Decision Analytics
a SpringerOpen Journal

RESEARCH Open Access

A joint renewal process used to model event based data

Wolfgang Mergenthaler*, Daniel Jaroszewski, Sebastian Feller and Larissa Laumann

*Correspondence: mergenthaler@frankfurt-consulting.de
FCE Frankfurt Consulting Engineers GmbH, Altmannsteinstraße 2d, 65439 Flörsheim am Main, Germany

Abstract

In many industrial situations, where systems must be monitored using data recorded throughout a historical period of observation, one cannot fully rely on *sensor data*, but often only has *event data* to work with. This, in particular, holds for legacy data, whose evaluation is of interest to systems analysts, reliability planners, maintenance engineers etc. Event data, herein defined as a collection of triples containing a time stamp, a failure code and eventually a descriptive text, can best be evaluated by using the paradigm of joint renewal processes. The present paper formulates a model of such a process, which proceeds by means of state dependent event rates. The system state is defined, at each point in time, as the vector of backward times, whereby the backward time of an event is the time passed since the last occurrence of this event. The present paper suggests a mathematical model relating event rates linearly to the backward times. The parameters can then be estimated by means of the method of moments. In a subsequent step, these event rates can be used in a Monte-Carlo simulation to forecast the numbers of occurrences of each failure in a future time interval, based on the current system state. The model is illustrated by means of an example. As forecasting system malfunctions receives increasingly more attention in light of modern condition-based maintenance policies, this approach enables decision makers to use existing event data to implement state dependent maintenance measures.

Keywords: Renewal processes, Linear damage accumulation, Renewal equation, Moment method

Mathematics Subject Classification: 45A05, 60G99, 60K15

Model

Renewal processes have been a frequent object of analysis in early studies of stochastic processes, see Cox (1962), for instance. Only recently the idea of parallel renewal processes receives more attention, see Borgelt and Picado-Muino (2012), Gaigalas (2003), Kai et al. (2014), CIRC (1994), Kallen et al. (2010), Truccolo (2005), Modir et al. (2010). However, little emphasis has been given to the subject of stochastic dependence between processes so far, with few exceptions such as shown in Borgelt and Picado-Muino (2012) or Truccolo (2005), Modir et al. (2010). Spike train analysis is an active neurobiological research area calling for parallel renewal processes. The latter paper emphasizes stochastic dependence between point processes described by conditionally independent intensity functions. In the same spirit, stochastic dependence between events will be at the core of the present paper in combination with a linear damage model in a condition

Springer

© 2016 Mergenthaler et al. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

Arbeitsstand und Erkenntnisse aus dem lfd. Projekt

DB Cargo Auswertung BR 145

- **Trainingsdaten**
  - Grundlage Flotte von 7 Fahrz.
  - Betrachtungszeitraum ca. 6 Mon.

Diagnose-Ereignis 0642
(Fehlercode)
- Keine Bereitmeldung ASG1
- Störung innerhalb ASG1

- **Ergebnis über gesamte Flotte**
  - 95%ige gerechtfertigte Warnrate
  - 5% der Ereignisse übersehen
  - 106h beträgt die mittlere Vorwarnzeit, diese ist zur Disposition für die IH-Werkstatt ausreichend

Prognose

Ausgewählte Eventdaten

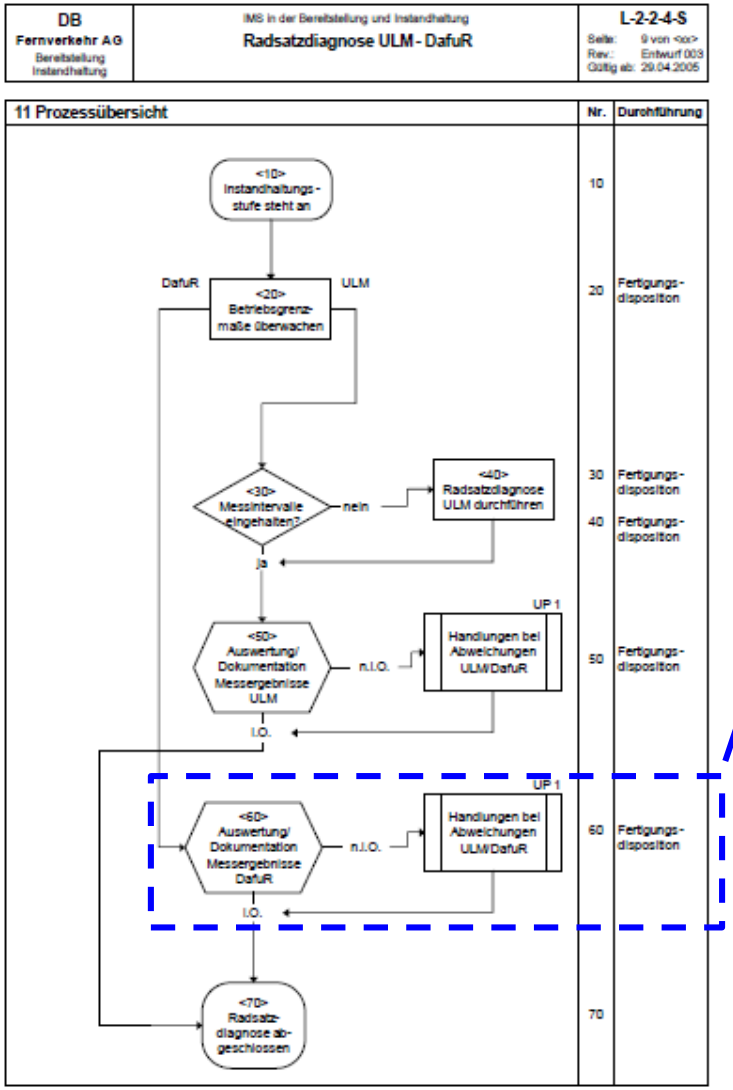
DB Regio Auswertung BR 442

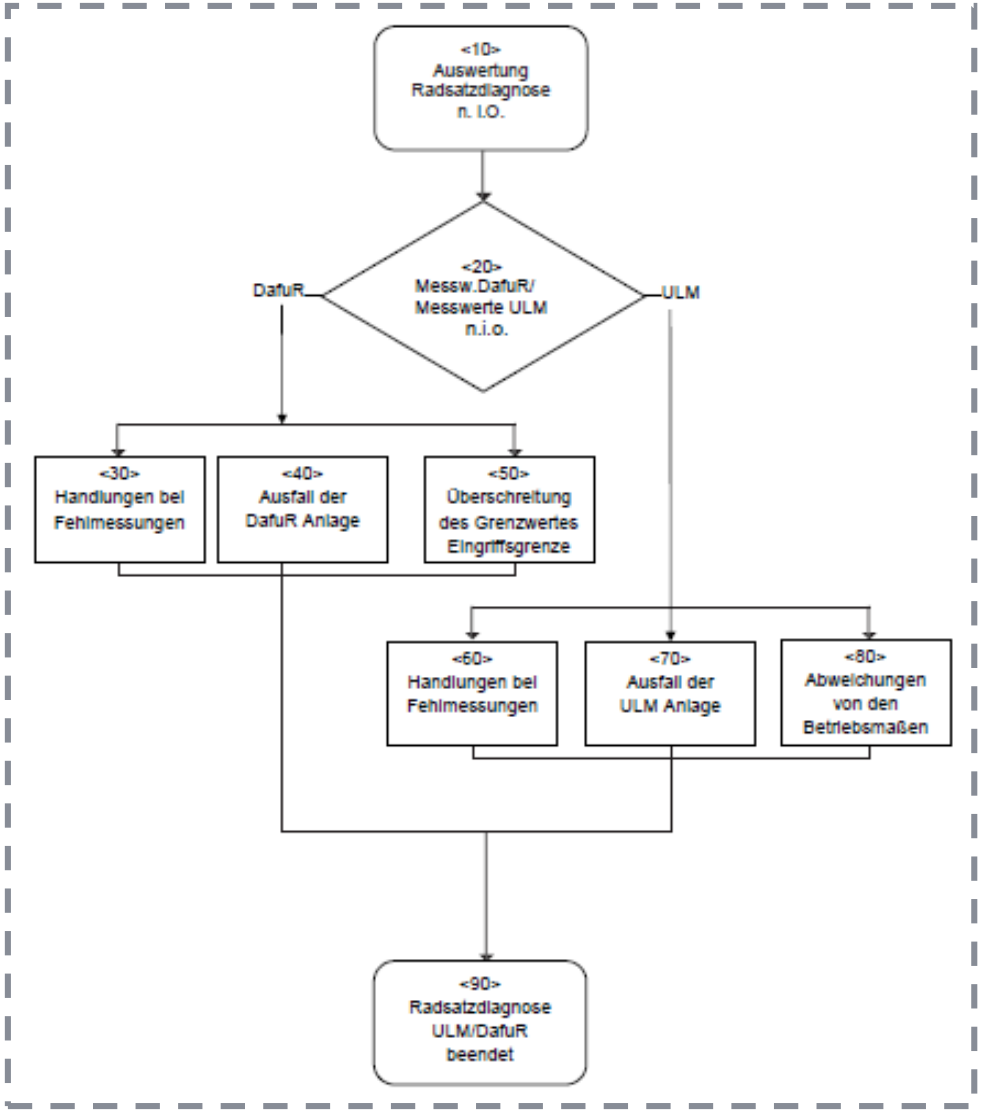
- **Trainingsdaten**
  - Grundlage Flotte von 5 Fahrz.
  - Betrachtungszeitraum ca. 7 Mon.

Diagnose-Ereignis ZNAA
(Fehlercode)
- Türstörung (örtlich nicht definiert)
- Tür Instandhaltungsereignis

- **Ergebnis über gesamte Flotte**
  - 92%ige gerechtfertigte Warnrate
  - 8% der Ereignisse übersehen
  - 90h beträgt die mittlere Vorwarnzeit, diese ist zur Disposition für die IH-Werkstatt ausreichend

Integration der Zustandsbewertung in das Instandhaltungsprogramm am Beispiel der Detektionsanlage für unrunde Räder (DafuR).





Fazit: Zustandsorientierte Instandhaltung (CBM) ist prädestiniert, um Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit zu erhöhen und Kosten zu senken.

- **Zustandsorientierte Instandhaltung (CBM)** ist ein lohnender Ansatz, aus Betriebsdaten **Prognosen für sich abzeichnende Störungen** zu erstellen.
- **Vier typische Einsatzfelder** mit jeweils spezifischer betrieblichen Umsetzung.
- Auch **Ereignisdaten enthalten** Informationen und **inhärente Muster**.
- **Zusammenspiel der Beteiligten** wie EVU, EIU, Fahrzeug- und Anlagenhalter, Fuhrpark-Instandhaltungsmanagement, Instandhalter sowie Hersteller bei Datenbereitstellung, Analysemethoden und Ergebnisnutzung für die IH-Optimierung **essentiell** .
- Verstetigte Datenübertragung und- analyse beschleunigen die **Validierung der statistischen Verfahren** und die angestrebte Integration in die Instandhaltung.
- **Anpassung der Betreiber-IH-Programme** folgt **DIN 27201-1** und “Creation and modification of maintenance plan” der **CEN/ TC 256/ WG 48 - Rolling Stock Maintenance**.

Herzlichen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!