

Datengetriebene Zustandsdiagnose als Assistenz einer effizienten Instandhaltung

Gastvortrag

Thomas Böhm

DLR e.V., Institut für Verkehrssystemtechnik

LST Konferenz 2013,
30. September

Wissen für Morgen



Struktur der Vortrags

1. Rolle des DLR / Instituts für Verkehrssystemtechnik
2. Zustandsorientierte Instandhaltung und Datenanalyse
3. Anwendung im Bereich der Instandhaltung
4. Nutzenbeurteilung aus wirtschaftlicher Sicht

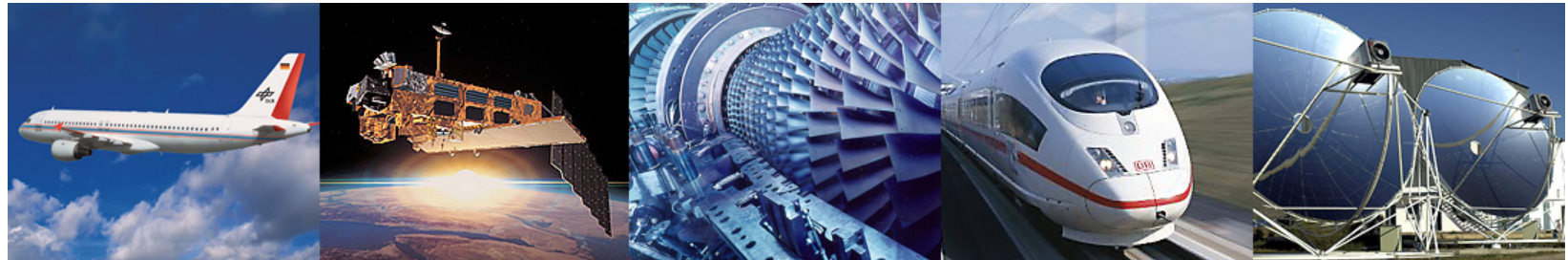


Das **Institut für Verkehrssystemtechnik** im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Wissen für Morgen



Das DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



- Forschungseinrichtung
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

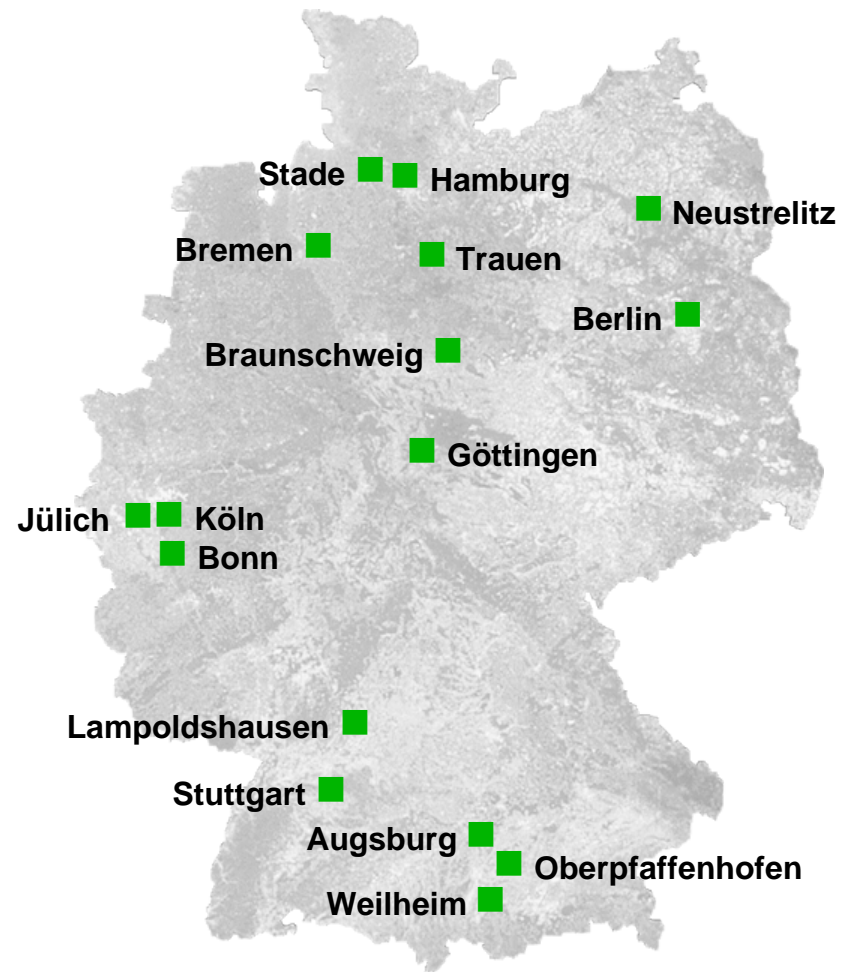


Standorte und Personal

Circa 7.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 32 Instituten und Einrichtungen in

- 16 Standorten.

Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington.



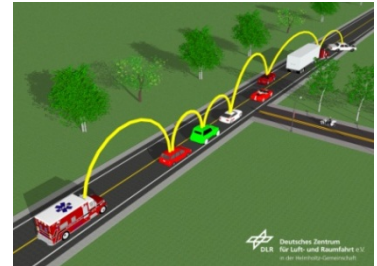
Institut für Verkehrssystemtechnik

Sitz: Braunschweig, Berlin
Seit: 2001
Leitung: Prof. Dr.-Ing. Karsten Lemmer
Mitarbeiter: Momentan rund 140 Mitarbeiter aus verschiedenen wissenschaftl. Bereichen

Forschungsgebiete: Automotive
Bahnsysteme
Verkehrsmanagement

Aufgabenspektrum: Grundlagenforschung
Erstellen von Konzepten und Strategien
Prototypische Entwicklungen

Qualität: zertifiziert nach DIN EN ISO 9001
und
VDA 6.2 sowie RailSiTe® gemäß ISO 17025

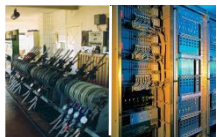


Bahnsysteme

Wissenschaftliche Ausrichtung

Forschung für die **BAHN DER ZUKUNFT**

Ziel: Sicherstellung ihrer Wettbewerbsfähigkeit



Life Cycle Management



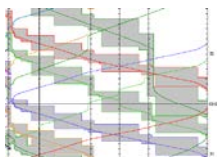
Test und Validierung



Rail Human Factors



Innovative Bahntechnologie



Effizienter Bahnbetrieb

Nachhaltige Lösung der aktuell anstehenden Fragestellungen

Basis:

- aktuelle technologische Trends
- wissenschaftliche Methoden
- interdisziplinäres Vorgehen
- bahnbetriebliches Grundverständnis



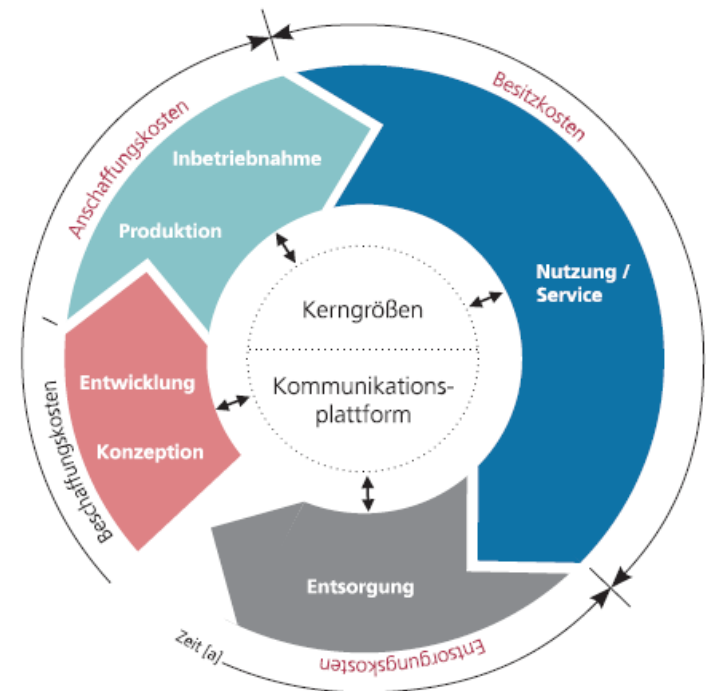
Life Cycle Management

Ziel

Optimierung der Leit- und Sicherungstechnik über ihren gesamten Lebenszyklus

Forschungsschwerpunkte

- Integrierte Bewertung von Infrastrukturmaßnahmen und Ausrüstungsvarianten der LST¹
- Migration neuer Techniken
- Zustandsorientierte Instandhaltung: Diagnose- und Prognosemodelle für das Abnutzungsverhalten



¹ Leit- und Sicherungstechnik



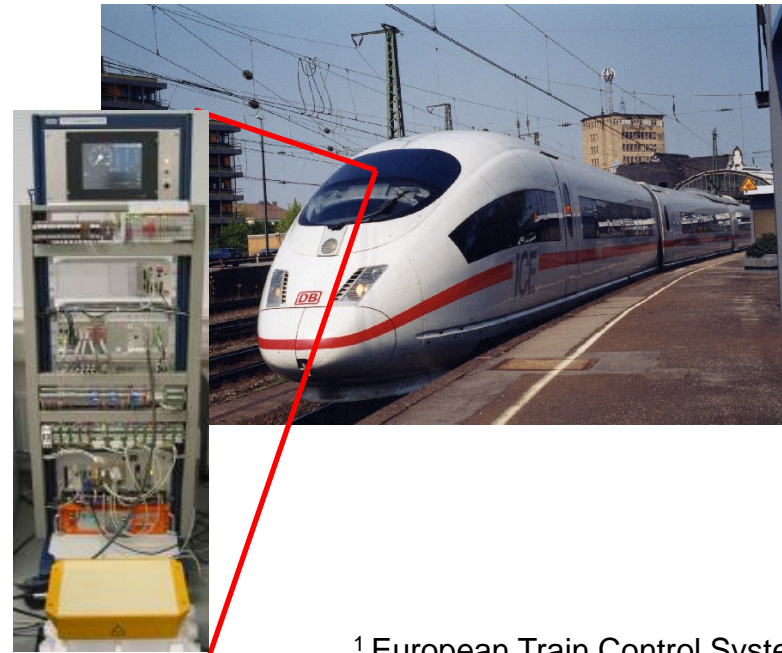
Test und Validierung

Ziel

Qualitätsverbesserung und Aufwandsreduzierung des Test- und Validierungsprozesses

Forschungsschwerpunkte

- Interoperabilitäts- und Konformitätstests von ETCS¹ Komponenten im RailSiTe^{®2}
- Automatisierung der Testfallerstellung, Testdurchführung und –auswertung
- Modellbasiertes Testen
- „Streckenvalidierung“ für den Einsatz von ETCS¹



¹ European Train Control System

² Railway Simulation and Testing



Rail Human Factors

Ziel

Menschzentrierte Systemgestaltung unter Berücksichtigung der Fähigkeiten und Grenzen von Bedienern

Forschungsschwerpunkte

- Untersuchungen zum Bedienerverstehen: Anforderungs- und Aufgabenanalysen und experimentelle Verhaltensstudien
- Evaluation bestehender Mensch-Maschine-Schnittstellen und Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit
- Konzeption neuartiger Assistenz- und Informationssysteme



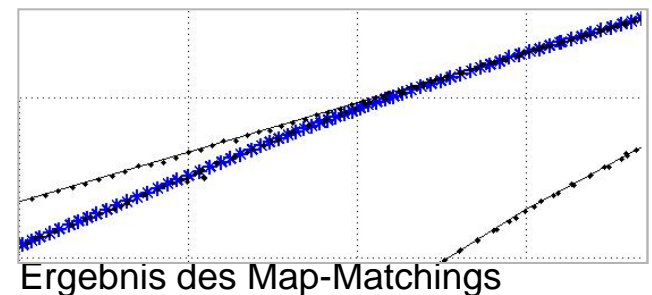
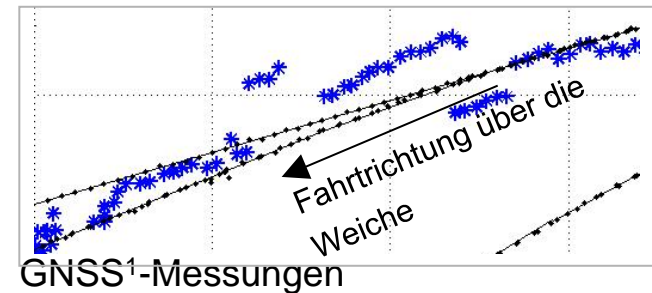
Innovative Bahntechnologie

Ziel

Erhöhung der Effizienz des Bahnbetriebes durch die Entwicklung sensorgestützter Lösungen für Schienenfahrzeuge

Forschungsschwerpunkte

- Entwicklung eines modularen, fahrzeugautarken Ortungssystems für eine gleisselektive Ortung: Sensordatenfusion, Map-Matching
- Konzept für ein Tool zur teilautomatisierten Kartengenerierung
- Erweiterung von railML[®] (Infrastruktur-Datenaustauschformat)



¹ Global Navigation Satellite System



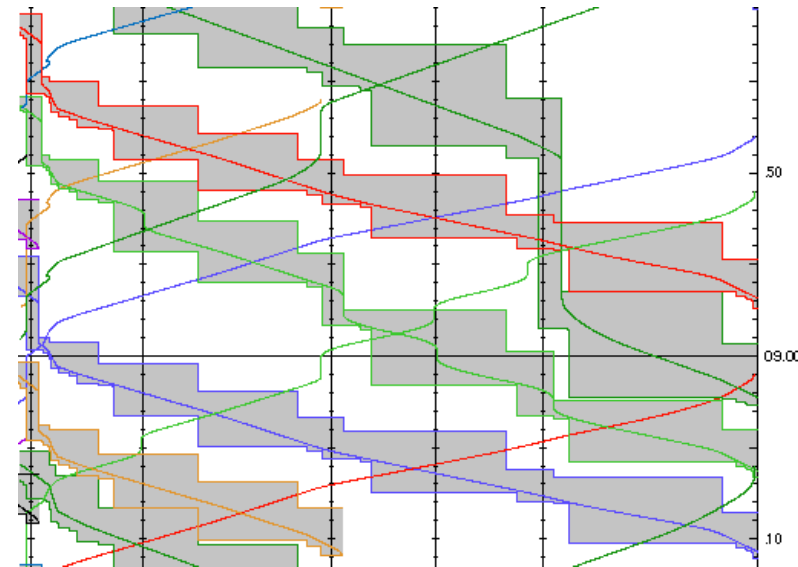
Effizienter Bahnbetrieb

Ziel

Erhöhung der Effizienz des Bahnbetriebes durch die Entwicklung betrieblicher Lösungen

Forschungsschwerpunkte

- Betriebliche Maßnahmen für einen energieeffizienten, lärmarmen Bahnbetrieb
- Methodenentwicklung und –anwendung zur effizienten Durchführung der Sicherheitsbetrachtungen
- Methoden zur Beseitigung von Streckenengpässen
- Anschlusssicherung im öffentlichen Verkehr



Bahnsysteme Großanlagen

RailDrIVE



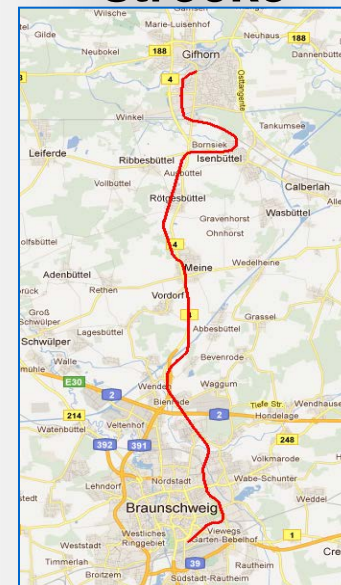
RailSiTe



RailSET

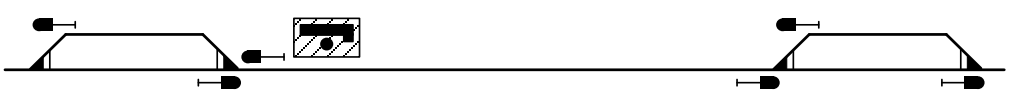
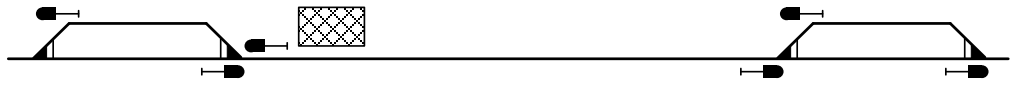
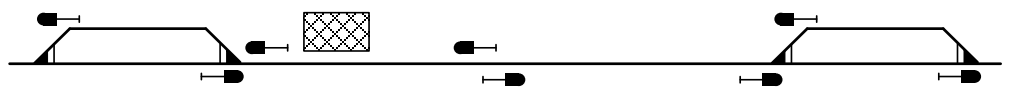
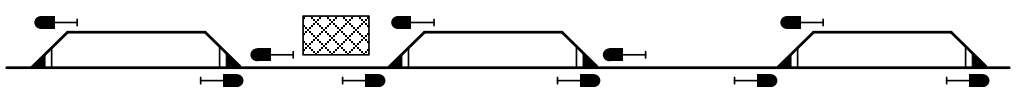
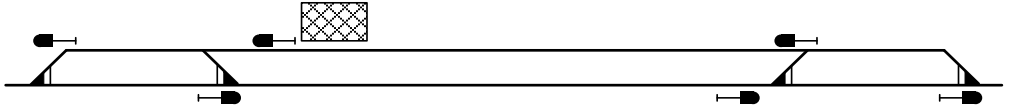


Referenz strecke



Railonomics

Variantenvergleich für Infrastrukturmaßnahmen

	Infrastrukturvarianten	Kapazitätsauslastung ¹	LCC	...
MSTW		83 %	100 %	
ESTW		71 %	60 %	
ESTW mit Streckenblock		55 %	65 %	
ESTW mit Ausweichstelle		43 %	90 %	
ESTW zweigleisig		27 %	130 %	

¹Ein über alle Varianten gleiches Betriebsprogramm ist Voraussetzung, um die Kapazität vergleichbar zu machen



Projekte (Auswahl)

Gute Balance unterschiedlicher Auftraggeber:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

- DemoOrt
- PiLoNav
- NeuPro Plus
- NeGSt



Deutsche
Forschungsgemeinschaft

- Smsmod



- INESS
- Subset_076_SRS300
- Backwards Compatibility
- SEFEV (SW für Labore)



SBB CFF FFS DIE BAHNINDUSTRIE.

VDB VERBAND DER BAHNINDUSTRIE IN DEUTSCHLAND E.V.



- EVC Tests
- FSB Anwendung
- DiB
- Usability ETCS DMI
- ETD



- NGRS
- NGT
- RCAS



Zustandsorientierte Instandhaltung und Datenanalyse

zur Einstimmung [IBM TV-Spot auf YouTube](#)

A satellite view of the Earth from space, showing the curvature of the planet, blue oceans, white clouds, and green landmasses. The view is from the perspective of someone looking down at the Earth from a high altitude.

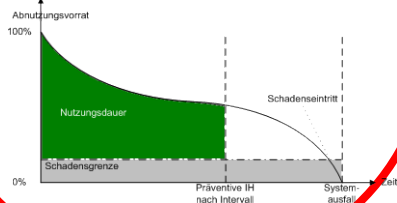
Wissen für Morgen

Jede Instandhaltungsstrategie hat ihre Vor- und Nachteile

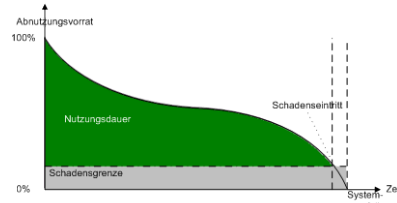
Instandhaltungsstrategien

Präventive

Zeitabhängig
Fixe Fristen oder
Ausbringungsmengen

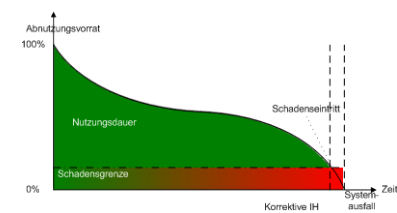


Zustandsorientiert
Systemzustand oder -
output



Korrektive

Ausfallorientiert
Systemausfall



z.B. KoRil 892

-gute Prozessplanbarkeit

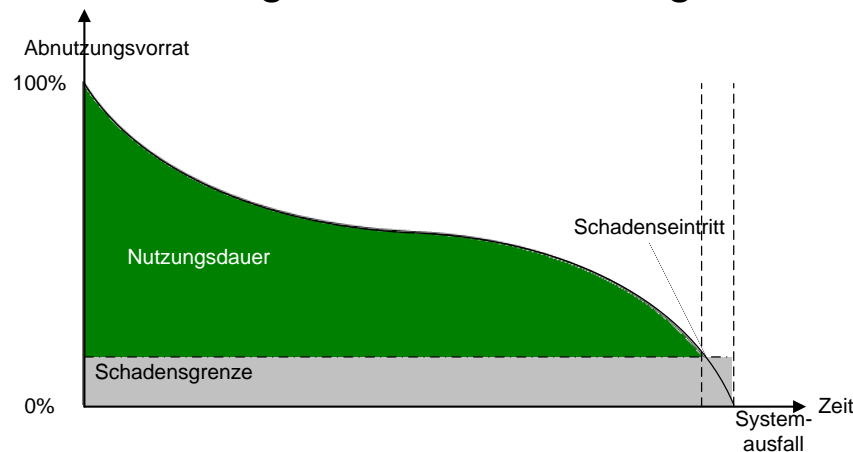
-nachgewiesene Erfüllung der Sicherheitsanforderungen

- z. T. verfrühte Instandhaltungsmaßnahmen -> nicht genutzte Restqualität
- Ausfall eines Elementes vor Ablauf des Wartungszyklusses
- Meist punktuelle Zustandsaussagen durch manuelle Inspektionen



Zustandsorientierte Instandhaltung wird allgemein als beste Strategie für langlebige, produktionskritische Anlagen angesehen

Grund: Optimale Ausnutzung der Funktionsfähigkeit und Lebensdauer



Voraussetzung:

Der Zustand der Anlage muss jeder Zeit bekannt sein.

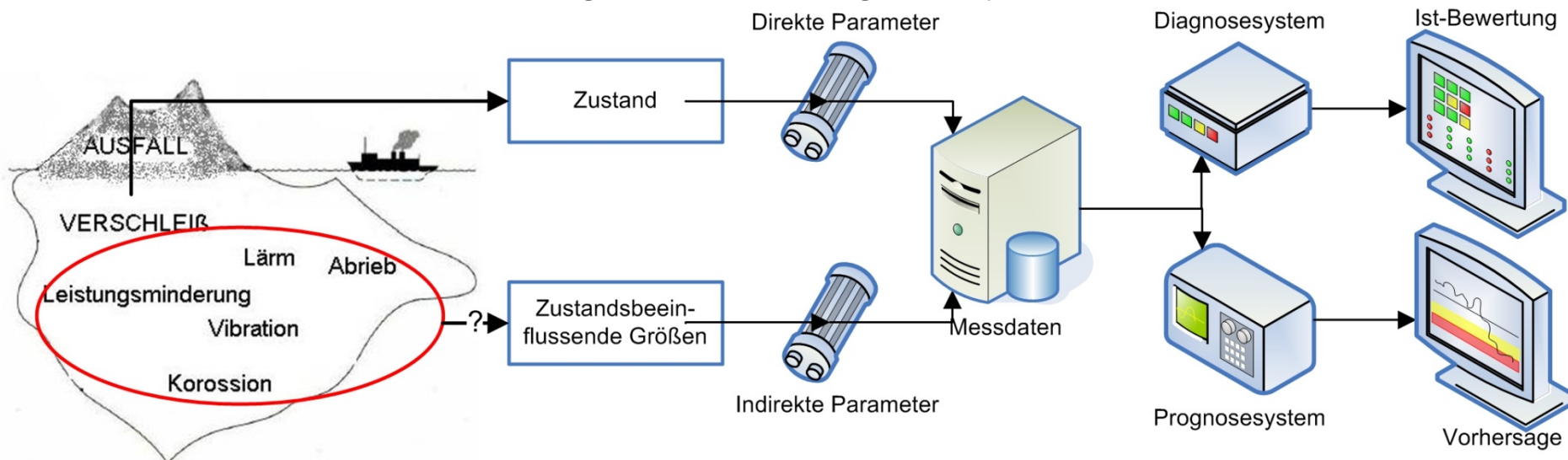
→ D.h. permanente, manuelle Inspektion oder

→ Automatische Fernüberwachung mit Diagnose und Prognose



Analyse von großen Datenmengen aus der Anlagenüberwachung hat mehrere Zwecke

- Statistik für einfache Auswertungen
- Identifizieren der (versteckten) Zusammenhänge beim Verschleiß
- Entwickeln eines Diagnose- und Prognosesystems



- Daten sind vorhanden. Wenn die Qualität stimmt, lassen sich viele

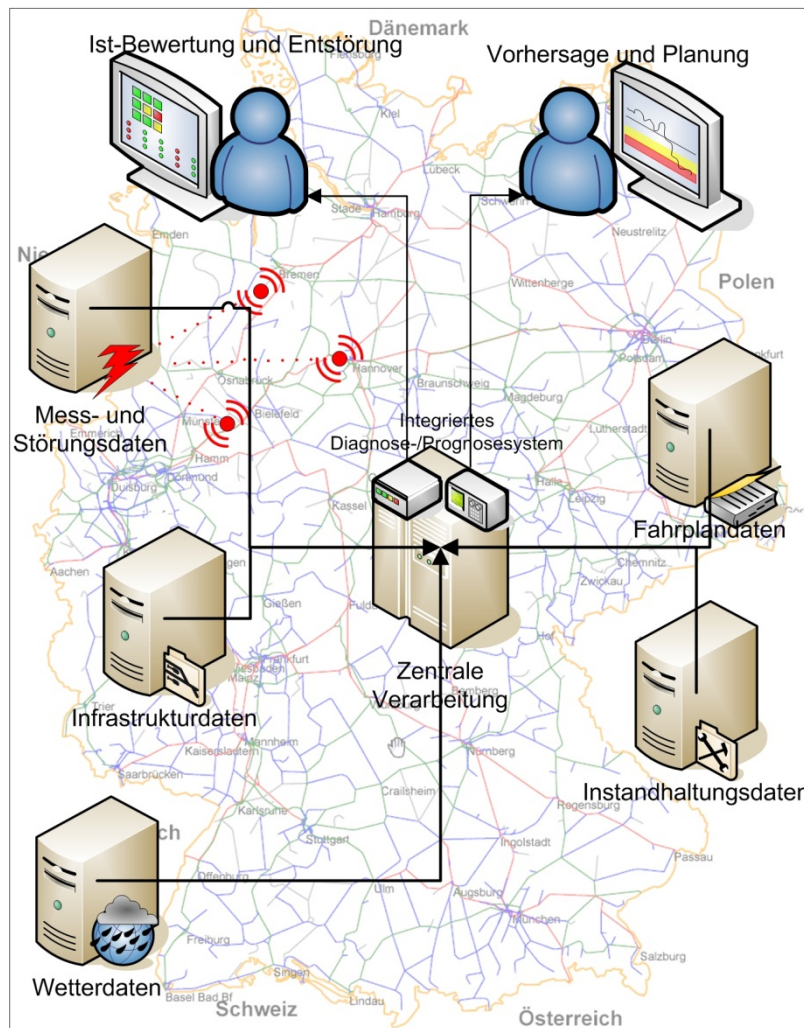
Aussagen daraus ableiten



Was ist möglich, wenn eine starke Datenbasis existiert?

Signalverarbeitung und Data Mining:

- Wiederkehrende Muster, die Hinweise auf Probleme geben
- Unterstützung des Instandhalters bei der Ursachen-suche
- Vorausschauende Planung
- Neues Wissen und bisher unentdeckte Zusammenhänge



Automatische Anlagenüberwachung hat viele Vorteile für eine Netzinstandhaltung

- Über die Pünktlichkeit freut sich der Fahrgast, das ist gut für den Ruf.
- Die Fernüberwachung erhöht die Sicherheit, das ist gut für die Instandhalter.
- Die Planbarkeit beugt Stress vor, das ist gut für die Zufriedenheit.
- Die Abgabe von Routinearbeiten schafft Freiraum für die schwierigen Fälle, das ist gut für die Beherrschung der Technik.
- Über die Effizienz freut sich die Konzernbilanz, das ist gut für das Management.



Anwendung im Bereich der Instandhaltung



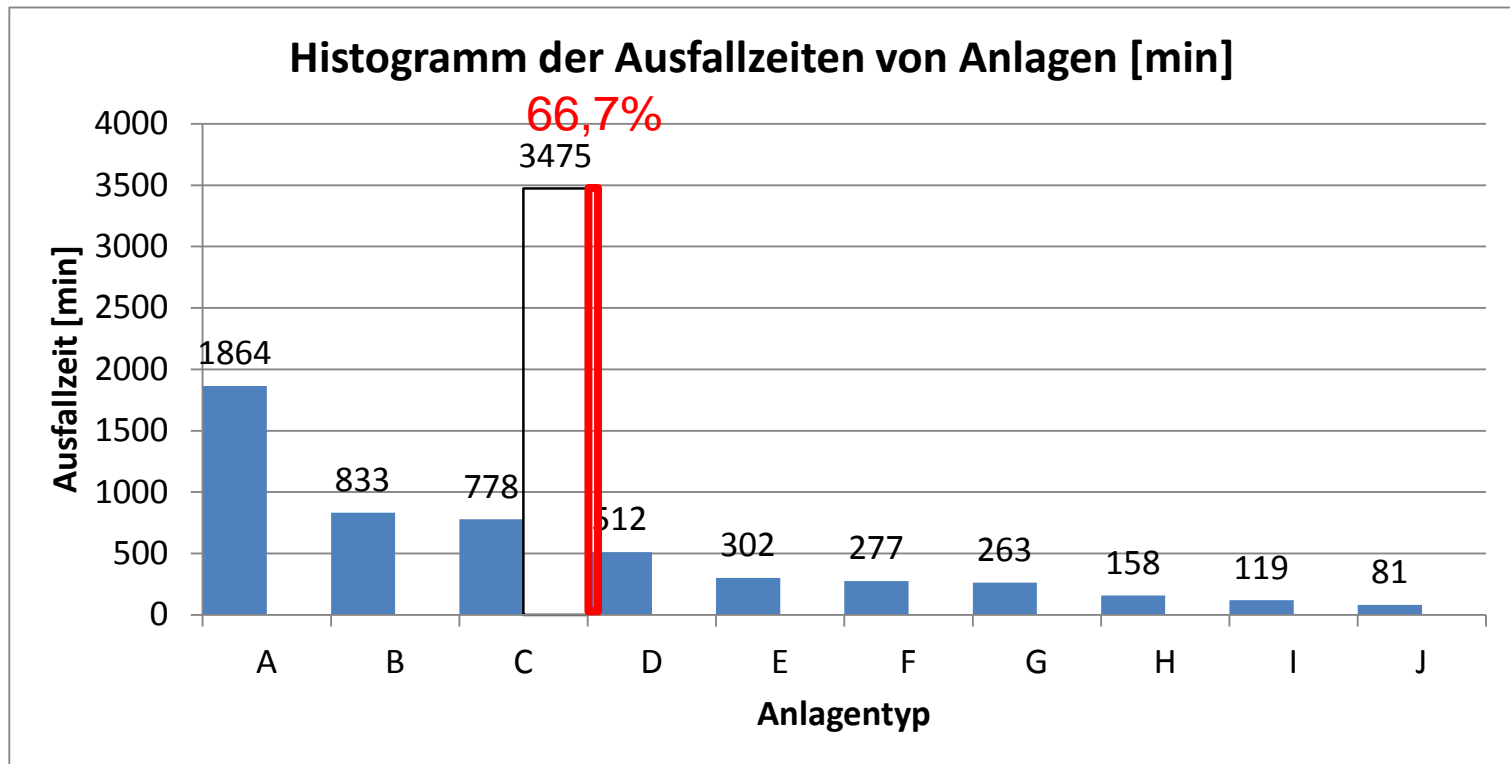
Wissen für Morgen

Eisenbahnweiche



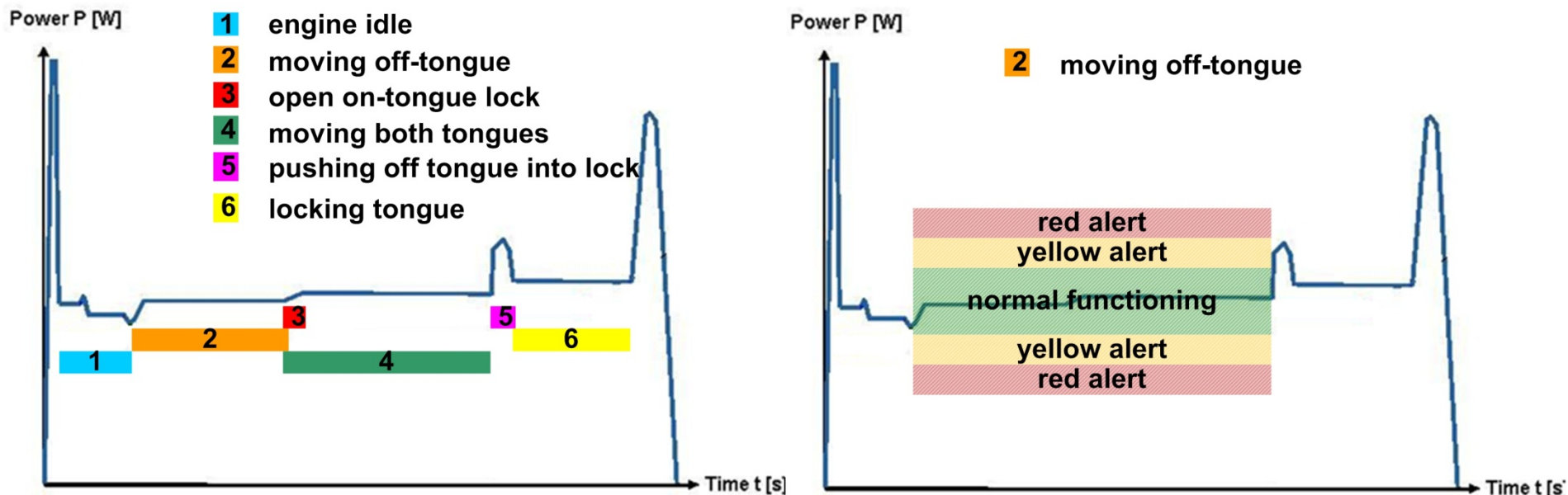
Statistik für einfache Auswertungen über Handlungsschwerpunkte und Anlageneffizienz

Beispiel: Welche Anlagen sind hauptsächlich für die Ausfallzeiten verantwortlich?



Kontinuierliche Überwachung des Weichenantriebs

- Basis sind Messreihen eines Weichendiagnosesystems
- Überwachung des Stromverbrauchs während des Umstellvorgangs



Idealisierter Verlauf der Leistungsaufnahme des Motors (links) und Prinzip der Alarmschwellwerte (rechts) bei einem Weichendiagnosesystem (Quelle: Stoll, Horst; Bollrath, Bernhard: *Weichendiagnosesystem SIDIS W*. In: *Signal + Draht* 94 (2002), Nr. 4, pp. 26–29)



Die Anzahl der Alarme und die tatsächlichen Störungen passen noch nicht zusammen

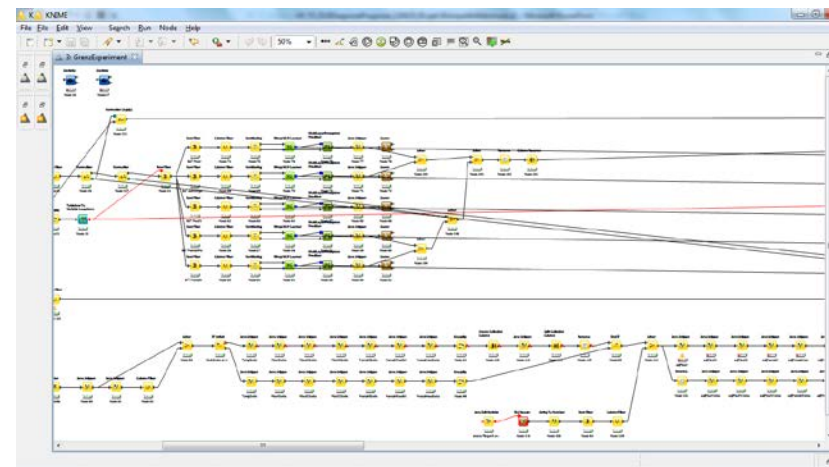
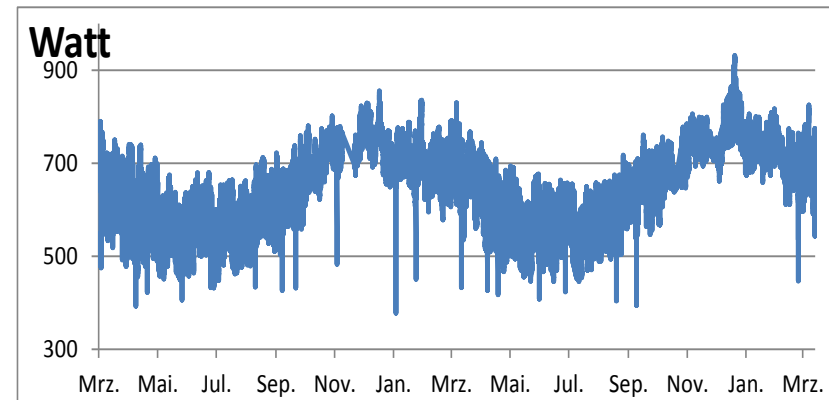
Gegenüberstellung Alarmmeldungen des Weichendiagnosesystems zu tatsächlichen Störungen
(Zeitraum 2 Jahre)

Switch	Measures	Yellow Alerts (no Red)	% of Measures	Red Alerts	% of Measures	Failures
1	2429	819	33,72%	12	0,49%	2
2	1376	576	41,86%	124	9,01%	1
3	754	393	52,12%	20	2,65%	0
4	760	45	5,92%	9	1,18%	0
5	10992	7523	68,44%	2510	22,83%	4
6	31229	4134	13,24%	358	1,15%	13
7	10911	1889	17,31%	757	6,94%	11
8	432	134	31,02%	24	5,56%	0
9	2224	485	21,81%	220	9,89%	1
10	2059	930	45,17%	681	33,07%	0
11	1800	69	3,83%	9	0,50%	0



Die Genauigkeit des Diagnosesystems kann durch Integration der Einflussfaktoren verbessert werden

- Der Weichenstellstrom unterliegt Schwankungen (saisonal und täglich)
- Schwankungen verursachen Fehllarme der Diagnosesysteme
- Temperatur ist ein Grund für Schwankungen bei bestimmten Weichen
- Temperatur wird zur Diagnoseadaption integriert
- Anzahl der Fehllarme konnte deutlich reduziert werden

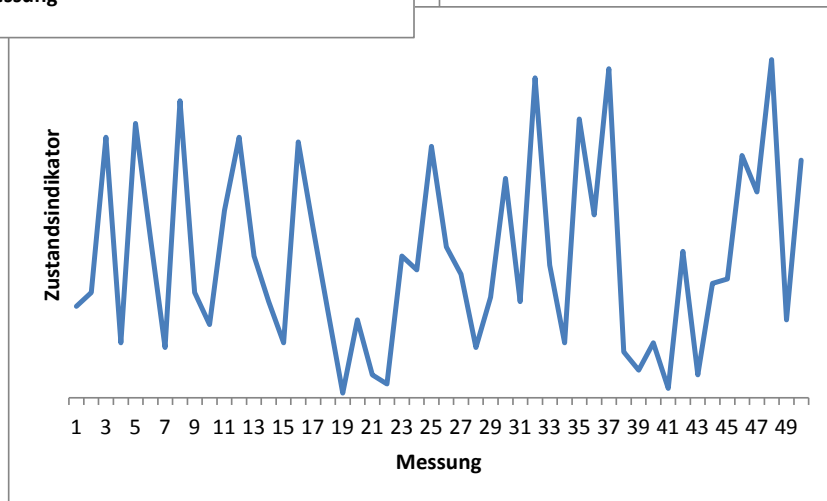
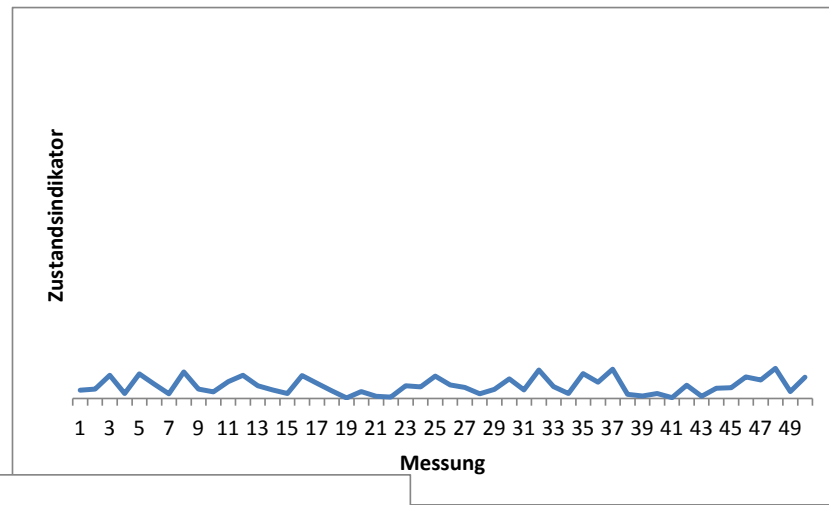
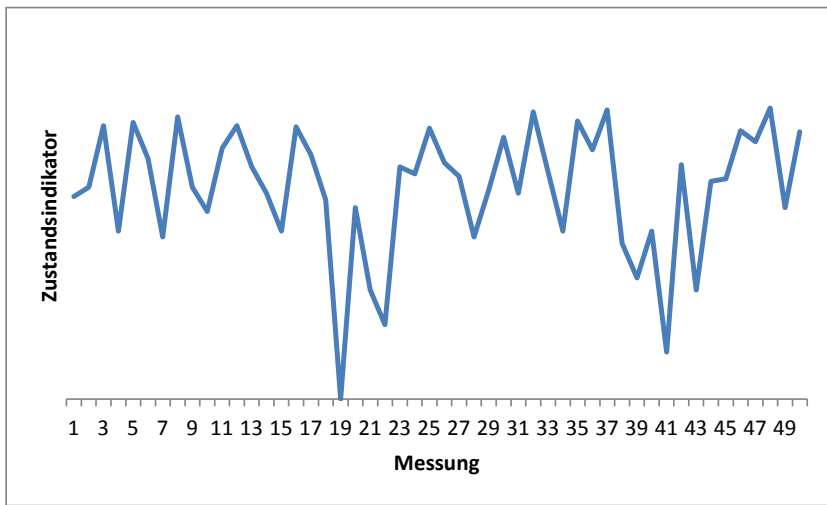


16997	4724
↓ 14134	↓ 386



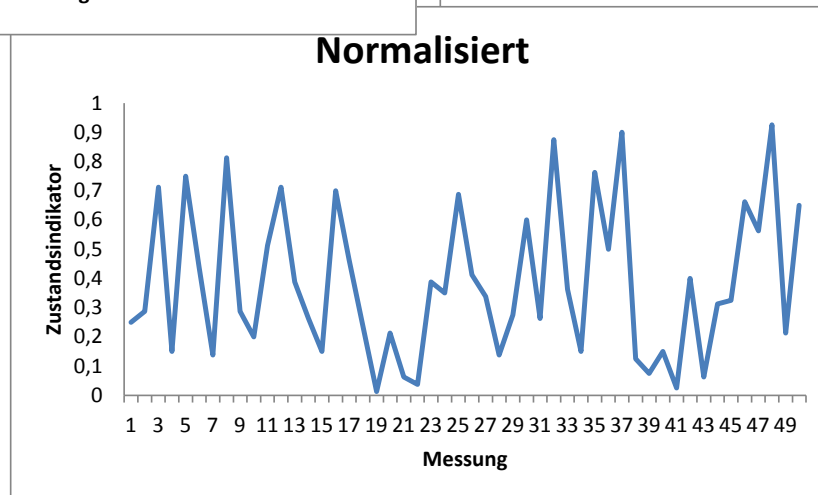
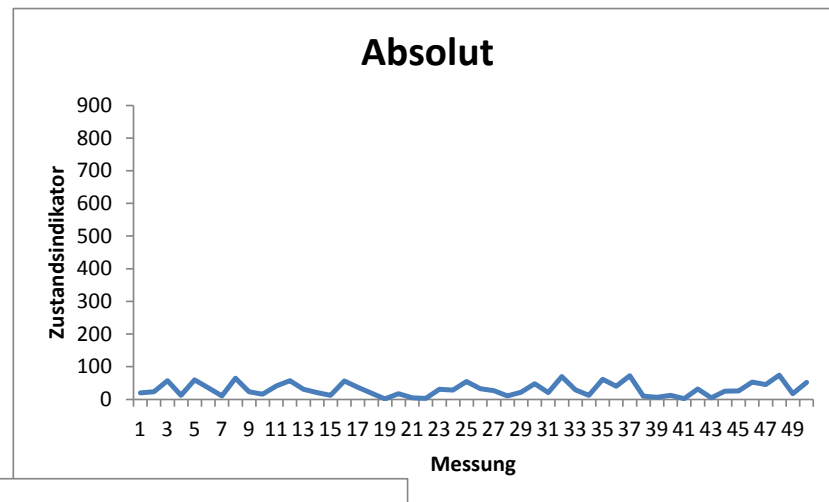
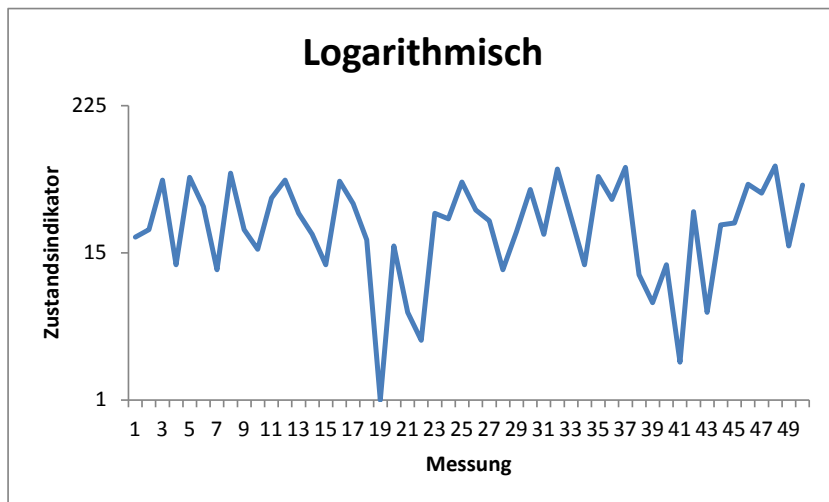
Mustererkennung zur Diagnose

Mensch tendiert zur „Musterfindung“...



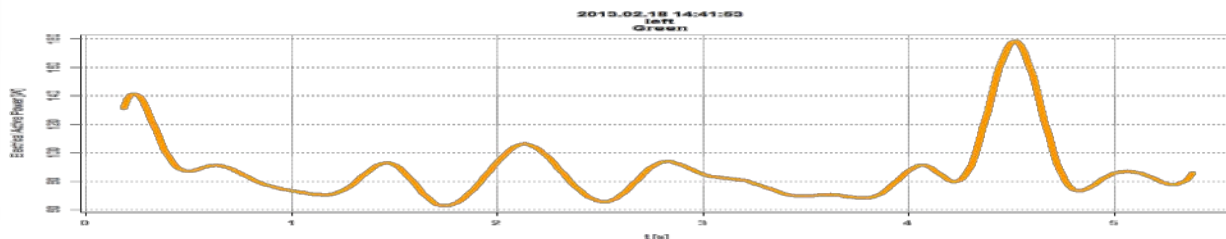
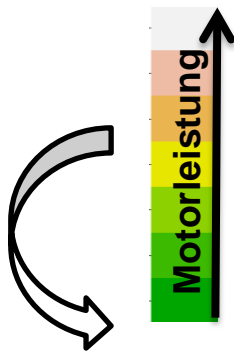
Mustererkennung zur Diagnose

..., doch es fehlt ihm an Objektivität.

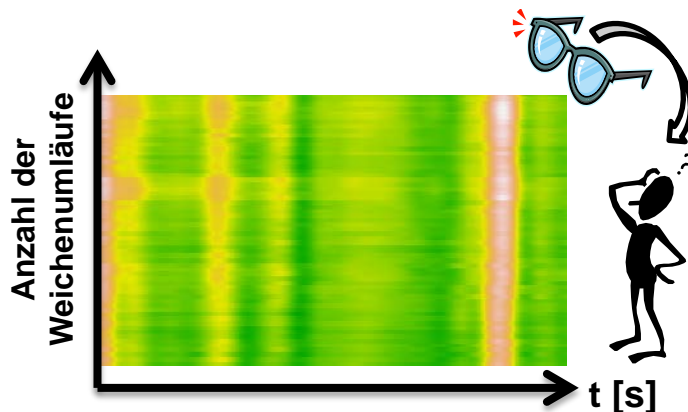


Gezielte, ursachengerechte Entstörung durch Auswertung mehrerer Weichenumläufe

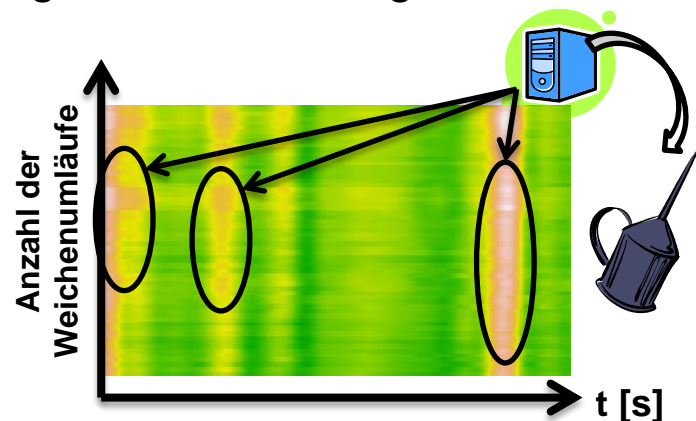
Aufzeichnung
mehrerer
Weichenumläufe
(Draufsicht)



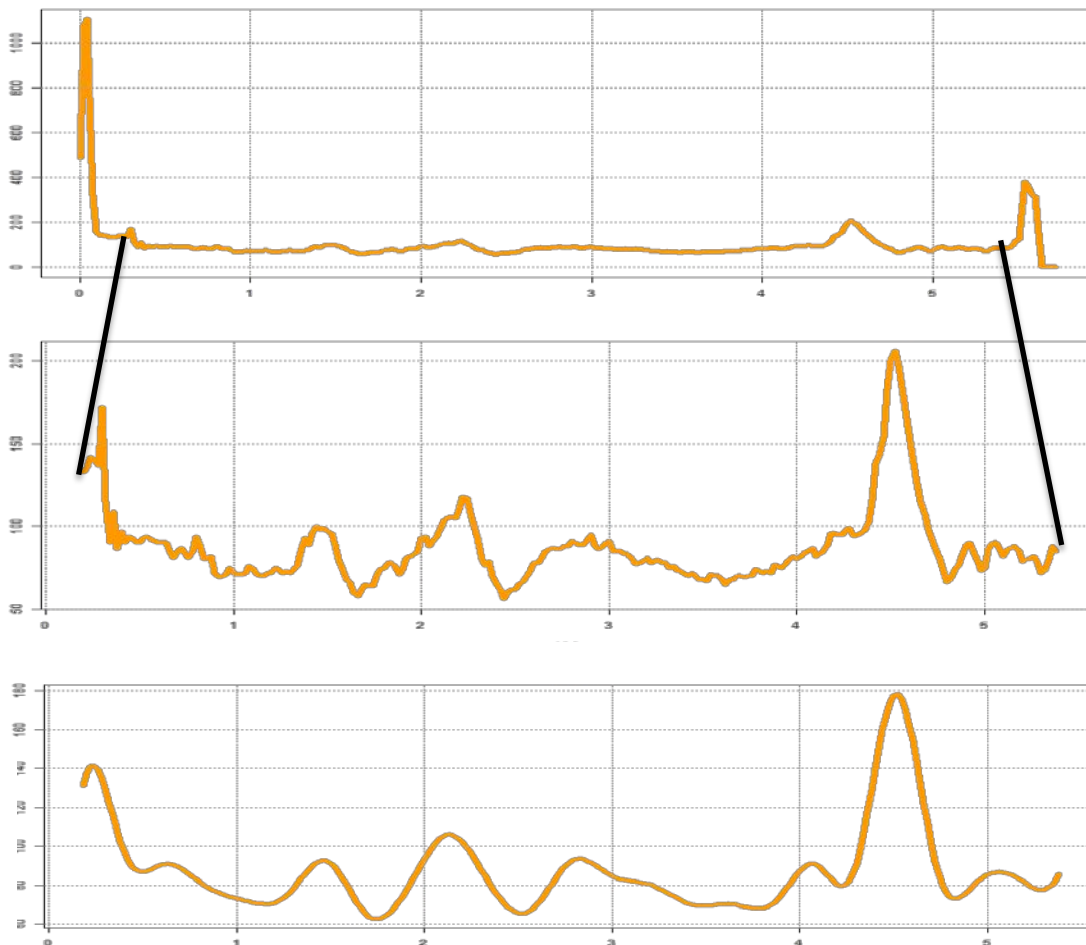
- "Messkurven – Raten"



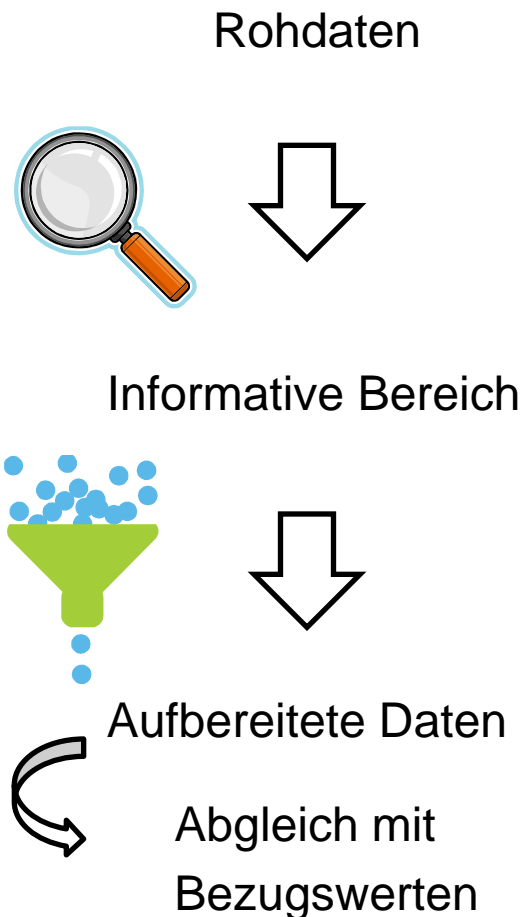
- algorithmische Diagnose



Von der Aufbereitung der Messdaten zu Symptomen



Zeitliche Verlauf der Umlaufkurve



Nutzen der Mustererkennung für die Diagnose von Störungen

Damit lassen sich Störungsursachen bereits ermitteln bevor Mitarbeiter in den Feldeinsatz entsendet wird. Das geht schneller, ist günstiger und angenehmer für das Personal.

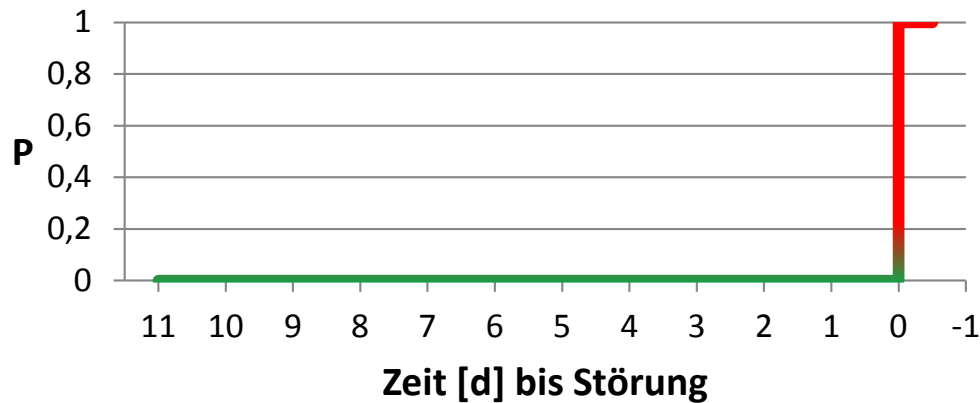


Foto DB AG/Christoph Busse

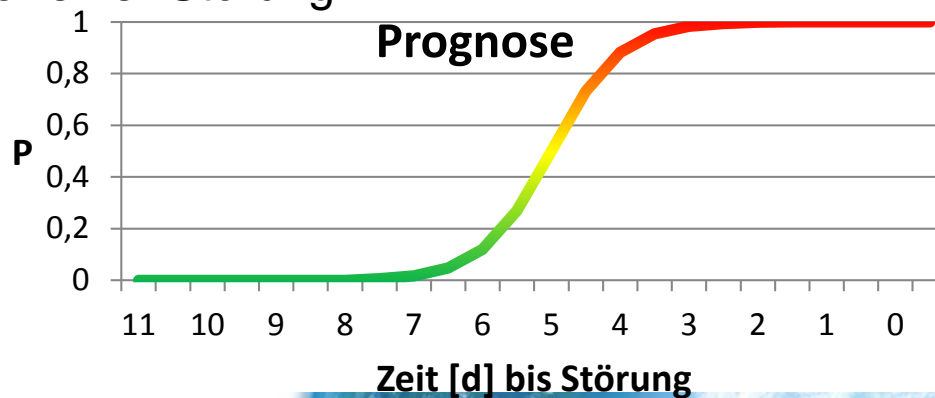


Klassifizierung in Normalzustände und kritische Zustände als Basis einer Prognose

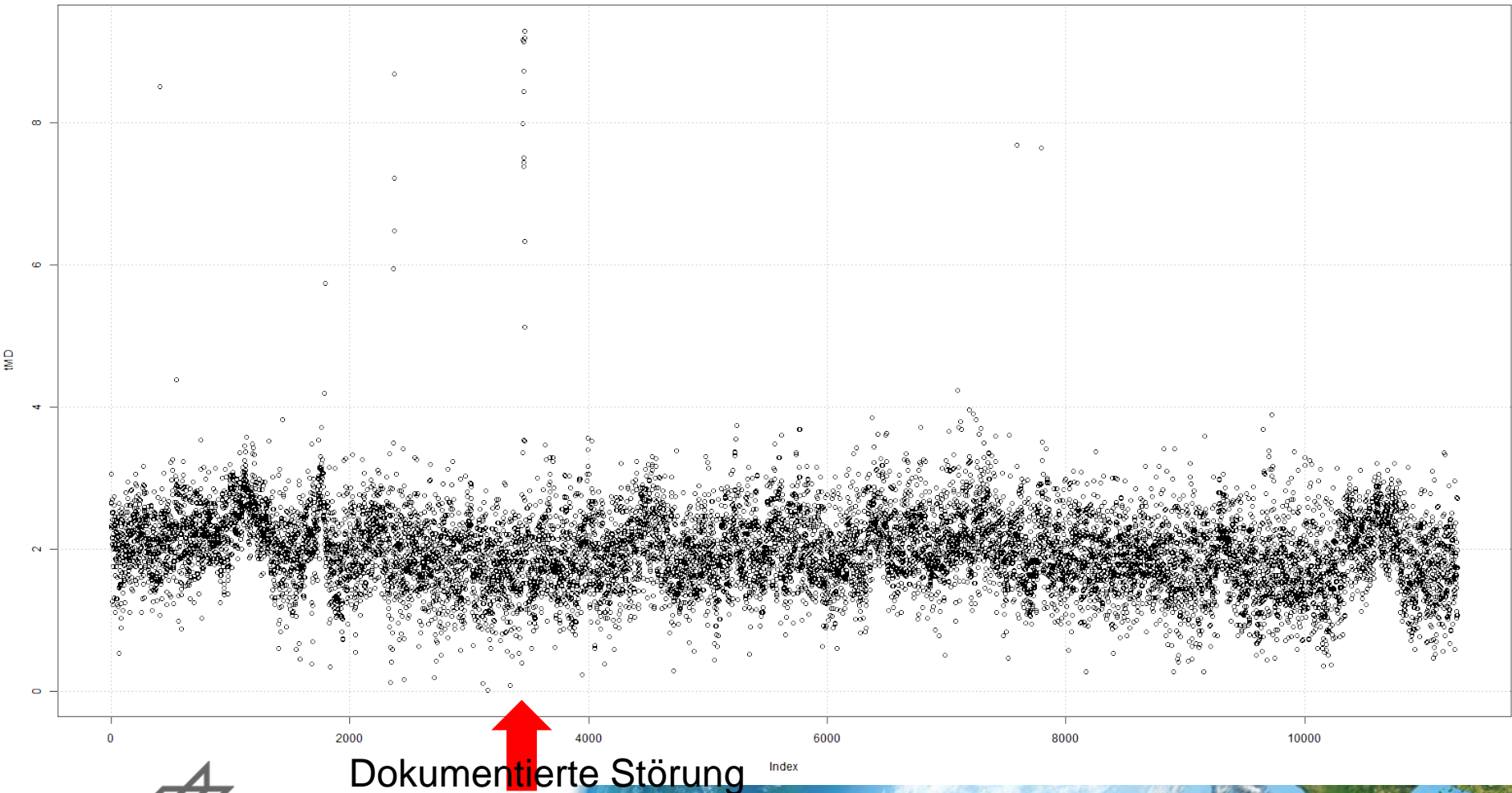
Reaktion bei einer Störung



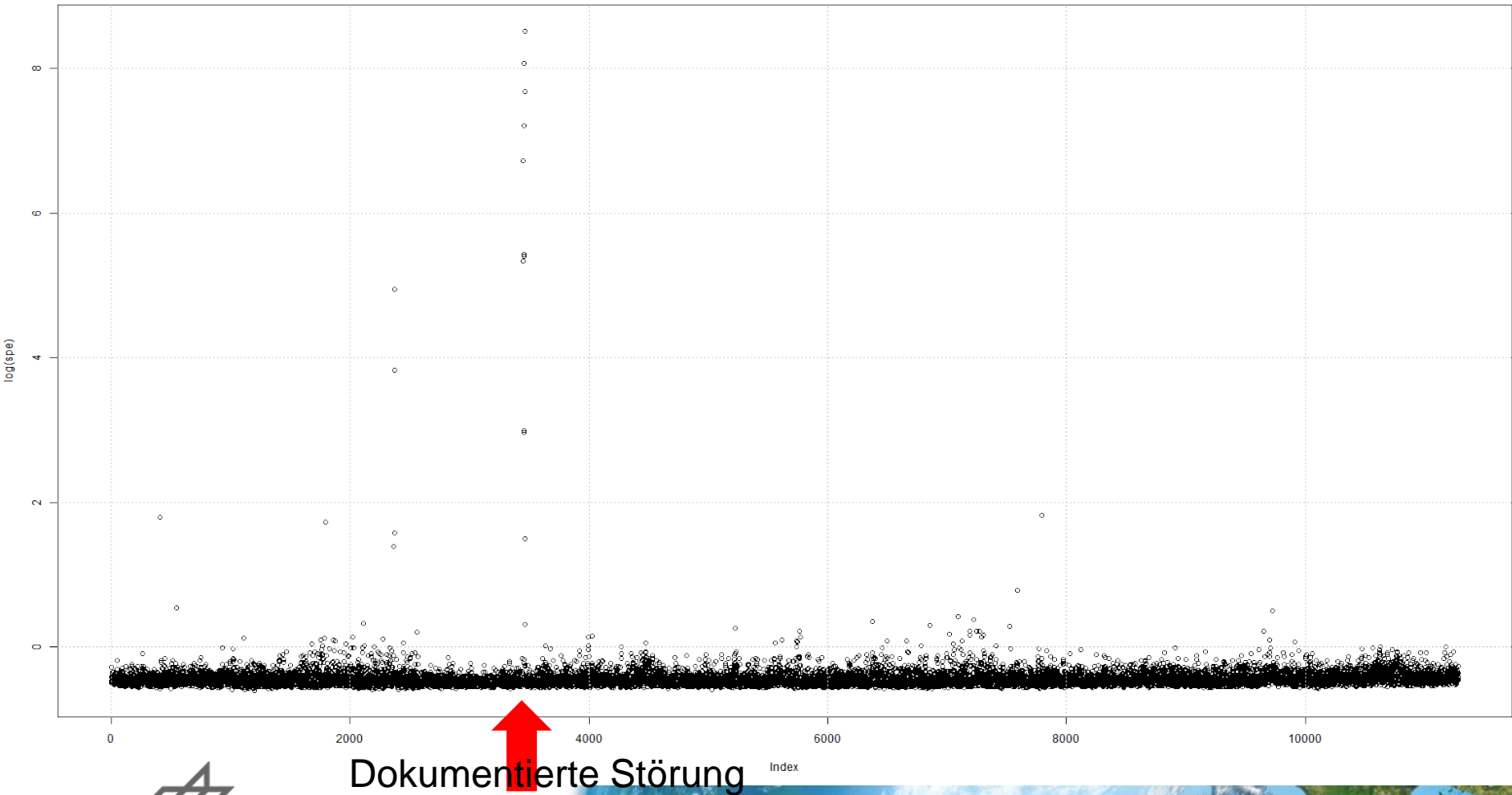
Aktion vor einer Störung



Verdichtete Merkmale zur Rauschfilterung und Störungsvorhersage



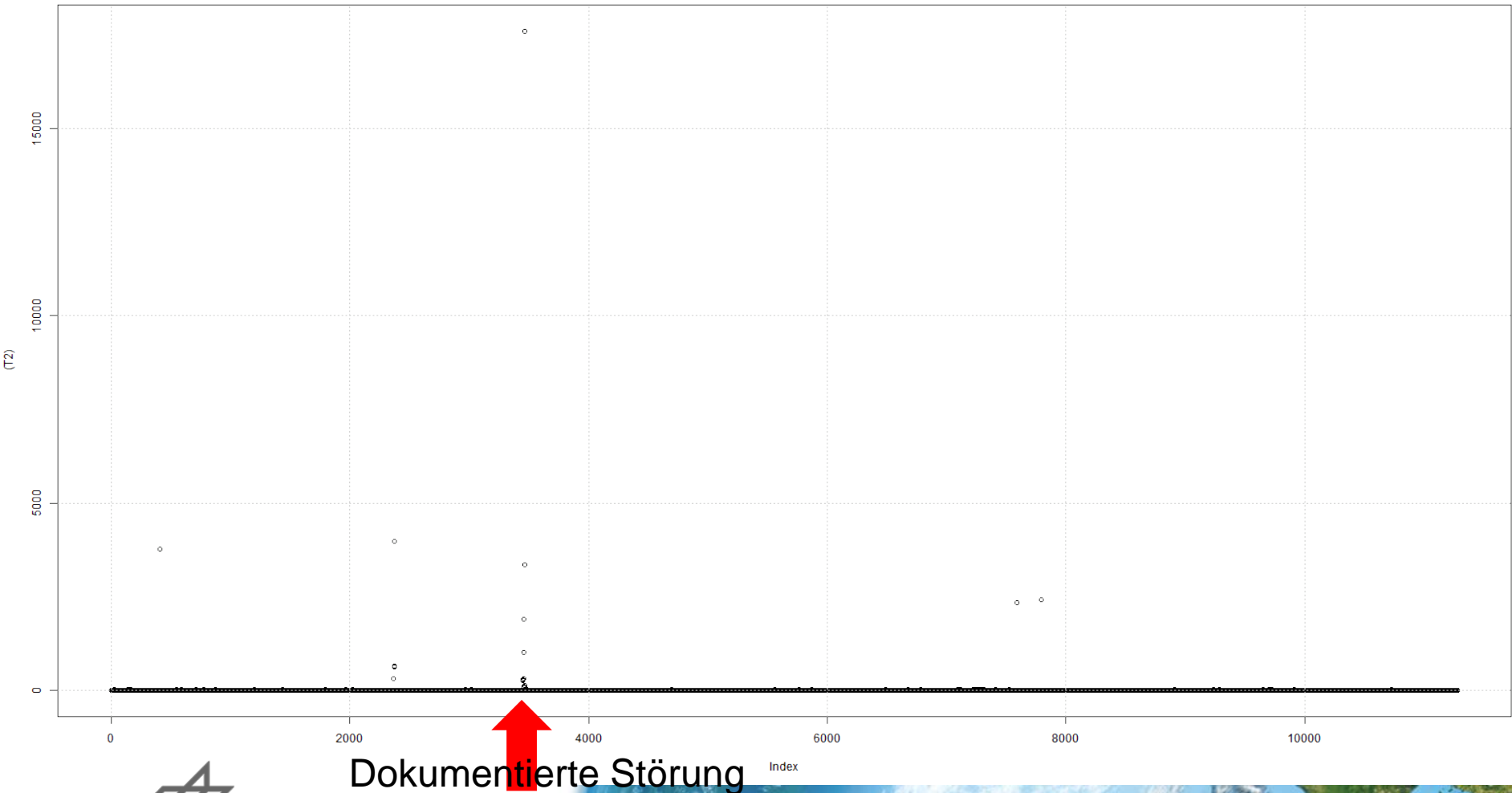
Verdichtete Merkmale zur Rauschfilterung und Störungsvorhersage



Dokumentierte Störung



Verdichtete Merkmale zur Rauschfilterung und Störungsvorhersage

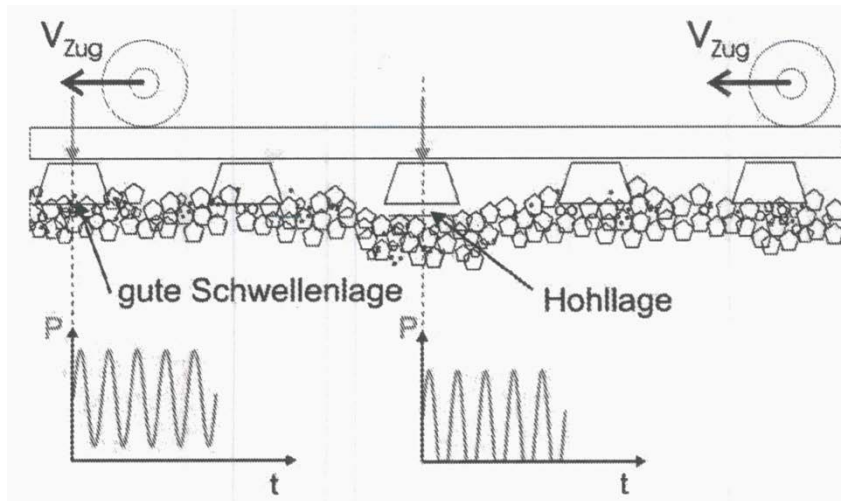


Beispiel aus der Fahrweginstandhaltung in AutoMain

Geometrische Fehlzustände bei relativer Gleislage



- Einzelfehler können
 - zu Beeinträchtigungen der Fahrzeugdynamik führen (Aufschaukeln)
 - Materialbrüche begünstigen



Quelle: Lageveränderungen des Schottergleises durch zyklische und dynamische Beanspruchungen, M. Baeßler (2007)

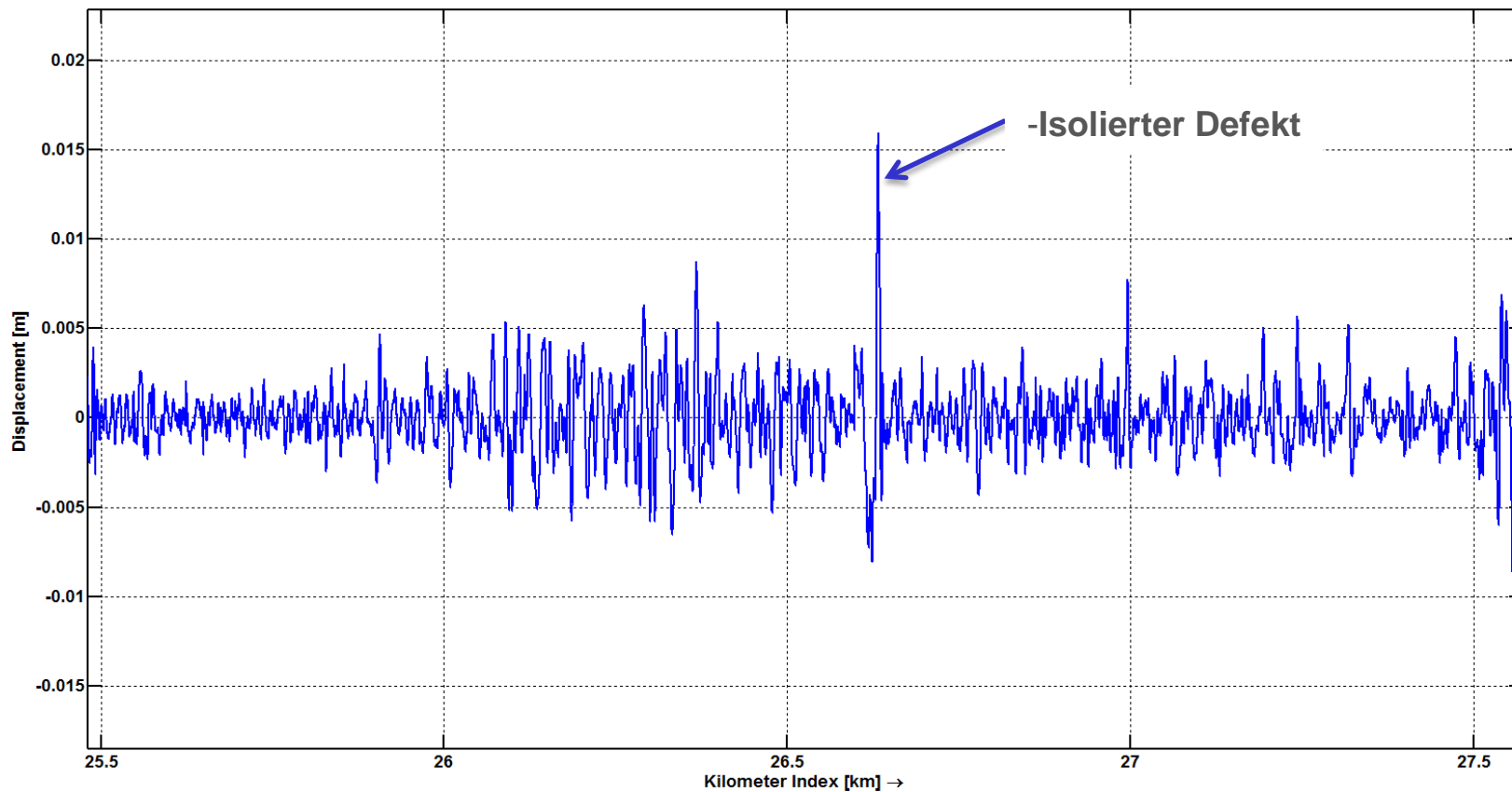


-Bild: Alberto Brosowsky (2009)



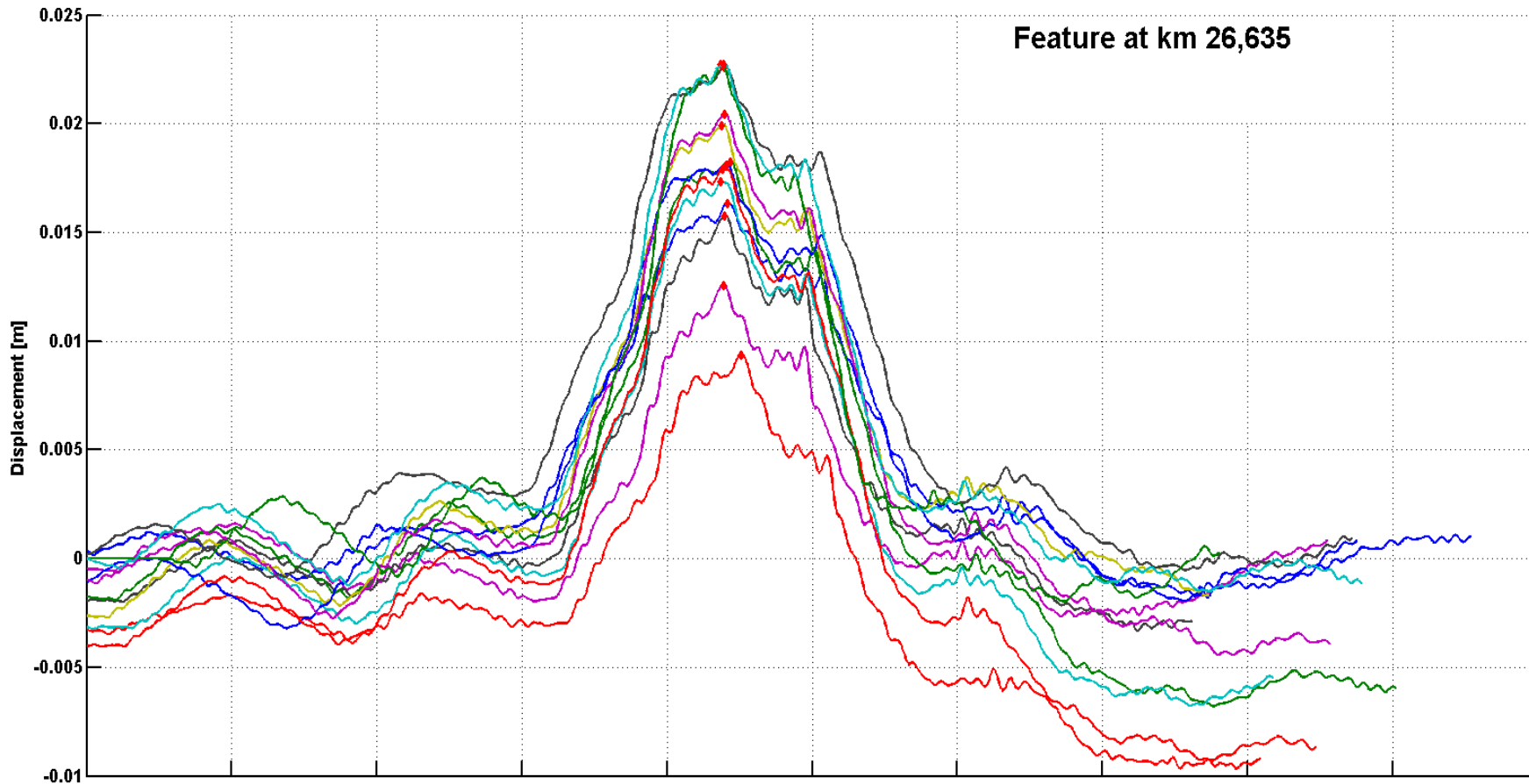
Beispiel aus der Fahrweginstandhaltung

Einzelfehler im Gleis bei 26,6km



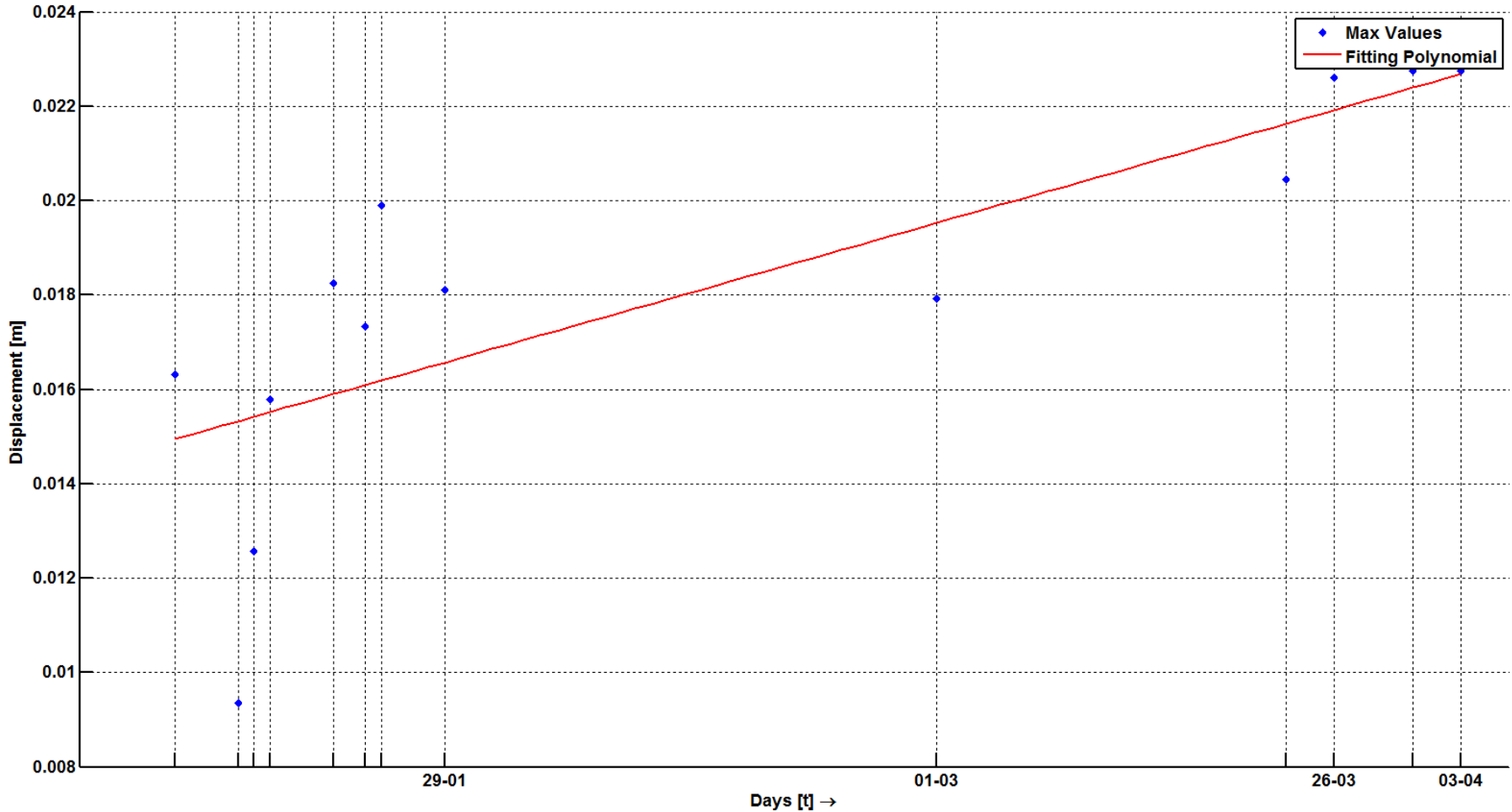
Einzelfehler bei 26,6km (13 verschiedene Tage)

Amplituden werden einander zugeordnet



Zeitreihenanalyse und Prognose der Amplitude

Möglich bei kontinuierlicher Datenakquise im Regelbetrieb



Nutzenbeurteilung aus wirtschaftlicher Sicht



Wissen für Morgen

Evaluation allgemein: Wie gut ist eigentlich eine Diagnose oder Prognose?

Ziel:

- Minimum an Fehlalarmen



- Maximum an erkannten Störungen



- Alles andere kostet unnötig Geld oder erhöht die Stillstandszeiten



Es sind die unnötigen Kosten mit den Einsparungen abzugleichen.

1. Fehllalarme:

- Verursachen unnötige Kosten, da mindestens am betreffenden Element eine Begutachtung vor Ort durchgeführt wird
- Die Folge sind unnötige Instandhaltungskosten in Höhe von $-X$ \$

2. Erkannte Störungen:

- Verhindern das Auftreten einer Störung und der damit verbundenen Betriebserschwerungskosten
- Die Folge sind Einsparungen in Höhe der Verspätungskosten Y \$
- Instandhaltungskosten sind nicht zu berücksichtigen, da diese auch im Fall entstehen, wenn die Störung nicht erkannt würde



Beispiel zur Nutzenevaluation zweier Prognosesysteme

Störungen = 3 O.K. = 5

Einsparung verhinderter Störung = 10 \$

Kosten Fehllarm = 5 \$

Messung	Realität	Zufall	1. Prognosesystem	2. Prognosesystem
7	Negativ	Positiv	Negativ	Negativ
8	Negativ	Negativ	Negativ	Negativ
12	Negativ	Positiv	Negativ	Negativ
15	Negativ	Negativ	Negativ	Negativ
16	Negativ	Positiv	Negativ	Negativ
17	Positiv	Negativ	Negativ	Positiv
19	Positiv	Positiv	Positiv	Positiv
20	Positiv	Negativ	Positiv	Positiv
Benefit		-\$5	\$20	\$30



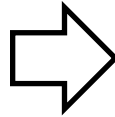
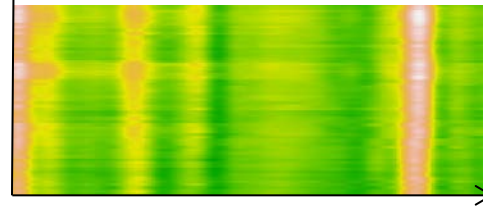
Bei der datengetriebenen Zustandsbeurteilung ist unbedingt einiges zu beachten

- Ohne die Evaluation durch die Instandhaltungsmitarbeiter ist die Beurteilung wertlos
- Wegen neuer Anlagentypen und veränderte Betriebsbedingungen müssen Instandhaltungsmitarbeiter und Systementwickler dauerhaft zusammenarbeiten
- Die vergangenen und zukünftigen Erfahrungen aus dem Feld können nur zu einem Teil in Systemen abgebildet werden
- Die Ergebnisse der Datenanalyse sind immer nur so verlässlich, wie die Daten selbst



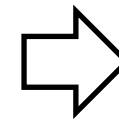
Datengetriebene Zustandsdiagnose als Assistenz einer effizienten Instandhaltung

Erhobene Messdaten

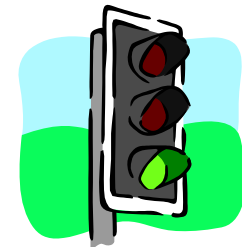


Analyse und Interpretation

- Einsatz fortschrittlicher Methoden aus dem Bereich der Signalanalyse und Data Mining
- Bewertung und Mitgestaltung durch Instandhalter, Bauartbetreuer und Fachexperten



Verlässliche Entscheidungshilfen



Kontakt

Thomas Böhm

Thomas.Boehm@dlr.de

0531-295-3504

Institut für Verkehrssystemtechnik

Lilienthalplatz 7

38108 Braunschweig

