



Predictive Maintenance in der Realität

Von der Umsetzung bei der SBB zur Forschung an der ZHAW

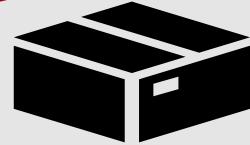
 SBB CFF FFS

Wilfried Bürzle
Ehemals SBB, jetzt ZHAW
ZHAW, Institut für mechanische Systeme



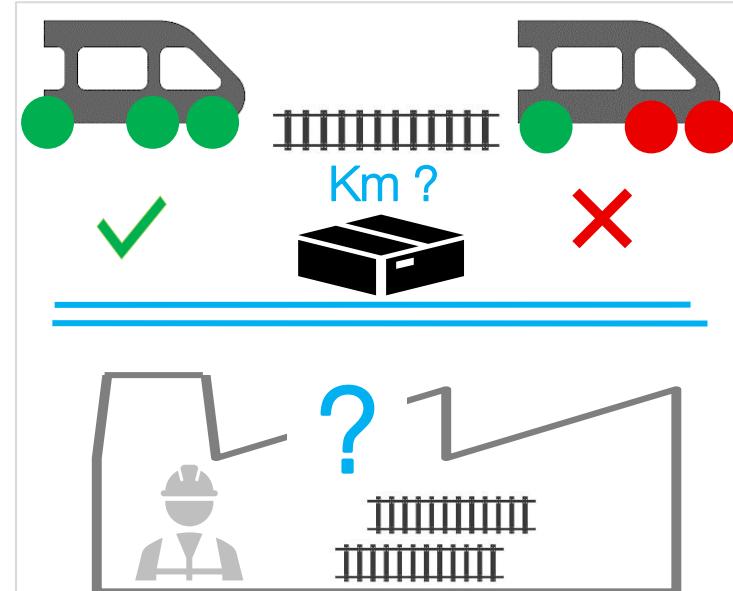
Ziel: Radsatz Supply Chain im Griff. Mittels Zustandsdaten, neuer Instandhaltungsstrategien & gezielter Steuerung.

Früher



Black Box

- Instandsetzungs-Zeitpunkt & Ressourcenbedarf vorgängig unbekannt.
- Peaks. Supply Chain stockt.

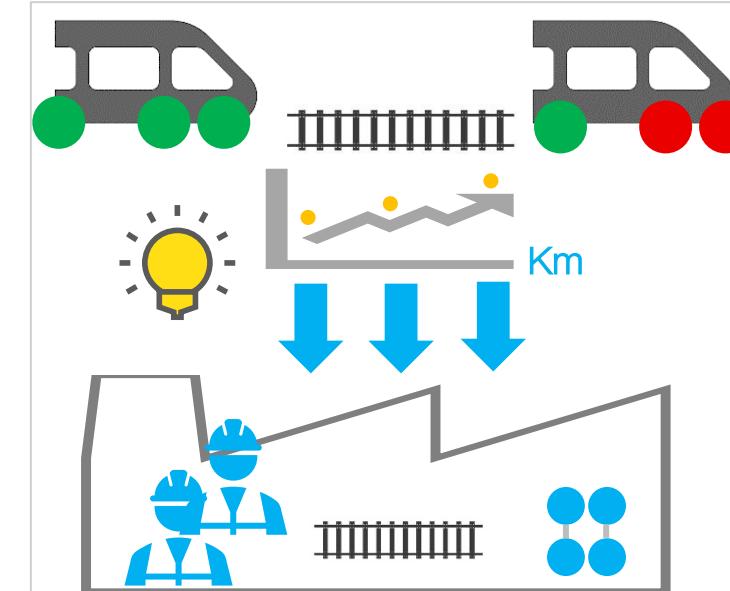


Aufgebaut



Transparenz

- Schadensverläufe & Ressourcenbedarf kennen.
- Handlungsfähig werden. Planbarkeit.



In Transition

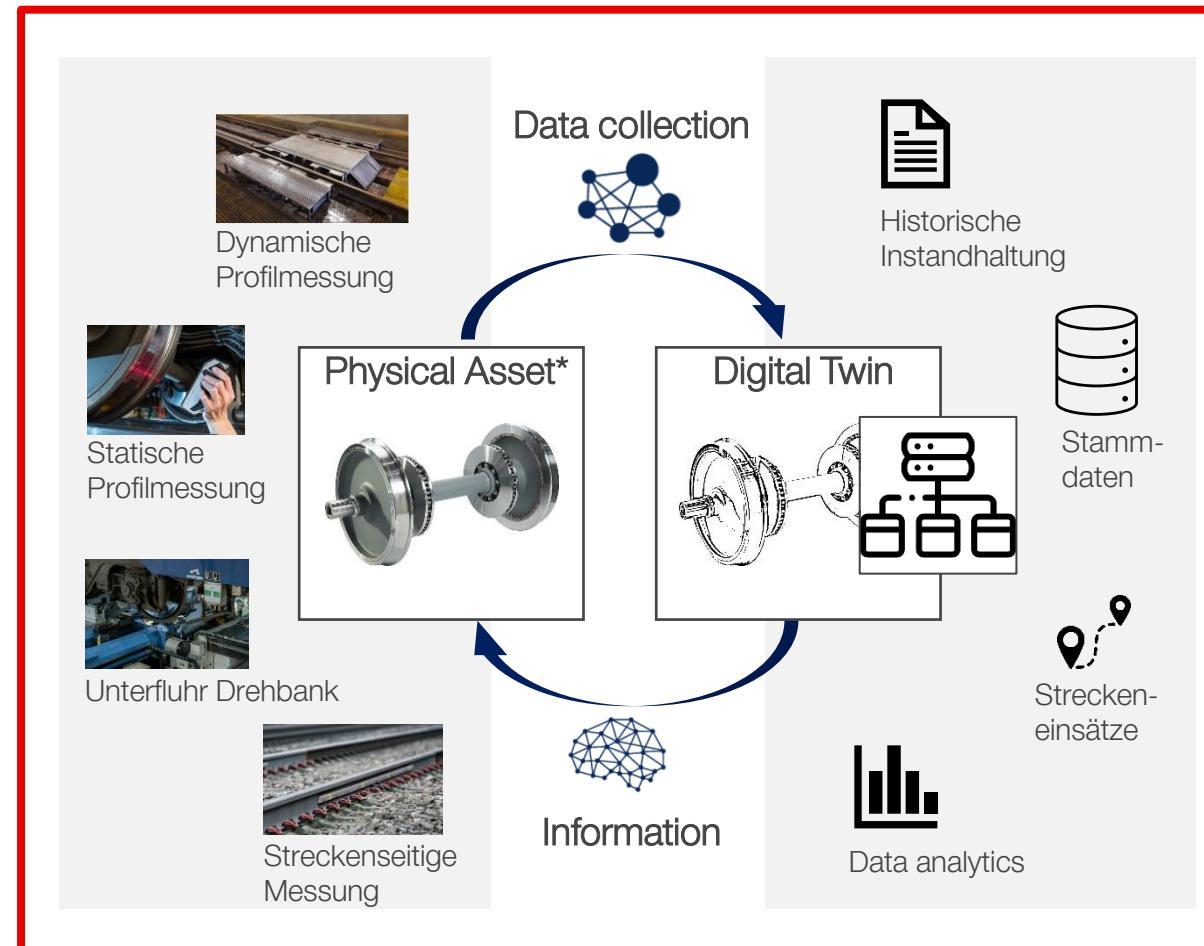
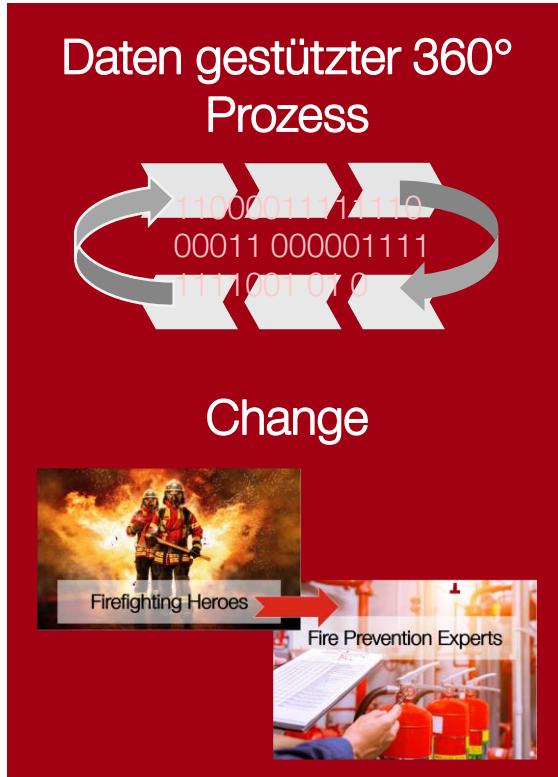


Matchen & Daraus lernen

- Supply Chain proaktiv steuern.
- Präventive Massnahmen bestimmen.
- Bedarfsgerecht dimensionieren.



Realisierung der Vision durch drei wesentliche Elemente



Fahrzeugkalender zeigt zukünftigen Instandhaltungsbedarf



Fahrzeugkalender

Filter Heute Fahrzeuge Flotten 120 Tage < >

	12	14	16	18	20	22	28	32	23	14	27	28	33	26	29	31	33	31
	KW 23	KW 24	KW 25	KW 26	KW 27	KW 28	KW 29	KW 30	KW 31	KW 32	KW 33	KW 34	KW 35	KW 36	KW 37	KW 38	KW 39	
DPZ (Einzelfahrze...)											1 Total 1 LDG							
DPZ (Komp)	1 Geplant 2 Total 2 Geplant 2 TDG 2 Fällig		1 Total 1 TDG 1 Fällig	1 Total 2 Total 2 TDG 2 Fällig	1 Total 2 Total 2 TDG 2 Fällig		1 Total 1 TDG				3 Total 3 TDG	3 Total 3 TDG	1 Total 1 TDG	4 Total 4 TDG 3 LDG 3 TDG	2 Total 2 TDG 1 TDG 1 T914	2 Total 2 TDG	2 Total 2 TDG	
DPZ/HVZ	1 Total 1 TDG	1 Geplant 1 LDG		1 Total 1 LDG							1 Total 2 Fällig	1 Total 1 TDG			1 Total 1 TDG	1 Total 1 TDG	1 Total 1 LDG	
DTZ	2 Total 1 Geplant 1 TDG 1 Fällig	1 Total 2 Geplant 1 LDG 1 Fällig	1 Geplant 1 Total 1 Geplant 2 Fällig	1 Fällig		1 Total 1 TDG				1 Total 1 TDG		1 Total 1 TDG		1 Total 1 LDG 1 TDG	2 Total 1 LDG 1 TDG	1 Total 2 LDG 1 TDG		
ETR 610										1 Total 1 T913 1 T914	1 T901							
EWIV	2 Total 3 Geplant 1 LDG 2 Fällig	1 Fällig 1 Total 2 Fällig	1 Total 4 Fällig	3 Total 1 Total 4 Fällig	1 Total 3 Fällig					1 Total 1 T913 1 T914					1 Total 1 T913 1 T914	1 Total 1 T913 1 T914		
IC2000	5 Geplant 1 Fällig	1 Geplant 2 Total 1 T913 1 T914 4 Fällig		1 Total 2 Fällig	1 Total 1 LDG	2 Total 2 Fällig	1 Total 1 T913 1 T914				1 T914		3 Total 4 T913 3 T914	1 Total 1 T914	1 Total 1 LDG 1 T913 1 T914	1 Total 1 T913 1 T914		
ICN	3 Geplant	1 Geplant 2 Fällig								1 TDG					1 Total 2 T913 2 T914	1 Total 1 TDG		
NPZ	3 Total 1 Geplant 2 LDG 1 TDG	1 Total 1 TDG 1 Fällig	2 Total 1 TDG 1 Fällig	2 Total 2 TDG	4 Total 1 LDG 3 TDG	2 Total 1 LDG 1 TDG	1 Total 1 LDG	2 Total 2 TDG	1 Total 1 LDG 1 TDG	1 Total 1 LDG 1 TDG		2 Total 1 LDG 1 TDG	2 Total 1 LDG 1 TDG	5 Total 1 LDG 4 TDG	3 Total 3 TDG	4 Total 4 TDG		
RABe/RABe 502	2 Geplant 1 Fällig	1 Total 1 Fällig	1 Total 1 LDG 2 TDG		1 Total 1 LDG	4 Total 4 TDG			1 Total 1 TDG		4 Total 4 TDG	3 Total 3 TDG 1 T914	2 Total 2 TDG	2 Total 1 LDG 1 TDG 1 T913	2 Total 2 LDG	1 Total 1 LDG		
RABe 501	1 Geplant																	
RABe 503	1 Geplant			1 Total 1 T913 1 T914	1 T901 1 T913 1 T914				1 T901 1 T913 1 T914		1 Total 1 T901 1 T913 1 T914			1 T901 1 T913 1 T914				
RABe 511	3 Geplant 4 Geplant 3 Fällig	1 Total 1 TDG 1 Fällig	1 Total 2 TDG 2 Fällig	3 Total 2 TDG	1 Total 1 LDG 1 TDG	3 Total 3 TDG	2 Total 2 TDG	2 Total 2 TDG	1 Total 2 TDG	1 Total 1 LDG 1 TDG	3 Total 3 TDG	2 Total 1 T913 1 T914	1 Total 1 LDG 1 TDG	1 Total 1 TDG 1 TDG	1 Total 1 LDG 1 TDG	3 Total 4 TDG		

Fahrzeugkalender zeigt zukünftigen Instandhaltungsbedarf



Fahrzeugkalender

Fahrzeugansicht mit allen relevanten Informationen für Entscheidung



94 85 0514061-6 (RABe 514 (DTZ)/ At1 514)



Sicht R0 andere Instandhaltung



R0 Planen

R0 löschen

Details

S1-R0 Meldungen

- ✉ 2024-04-18
+Radsatz WE1R Nebengeräusche



94 85 1514061-4



94 85 2514061-2



94 85 3514061-0



94 85 4514061-8

Drehgestellpos.

TDG1	TDG2
1 2	3 4
TRS1 TRS2	TRS2 TRS1

1	2	3	4
TRS1 TRS2	TRS2 TRS1	LRS1 LRS2	LRS2 LRS1

LDG1	LDG2
1 2	3 4
LRS1 LRS2	LRS2 LRS1

LDG2	LDG1
4 3	2 1
LRS1 LRS2	LRS2 LRS1

TDG2	TDG1
4 3	2 1
TRS1 TRS2	TRS2 TRS1

TR	TR
918 918	906 907

879	876
915	915

895	895
882	878

896	896
917	917

R0	R0
367'975	367'975

242'583	242'583
210'302	210'302

242'583	242'583
210'302	210'302

R0	R0
367'975	551'835

78'141	78'141
n. V.	n. V.

n. V.	n. V.
-	-

n. V.	n. V.
-	-

n. V.	n. V.
-	-

n. V.	n. V.
-	-

n. V.	n. V.
-	-

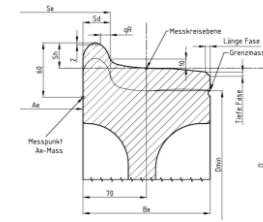
n. V.	n. V.
-	-

Prognosemodelle: von klassischer Statistik zu Machine Learning

Profilverschleiss

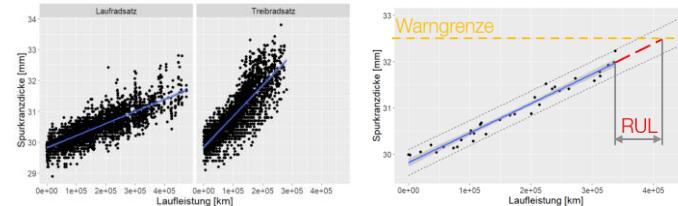
Ziel: Prognose der verbleibenden Einsatzdauer (RUL) bis Warngrenze

Daten: Radsatz Profilmessung



Prognosemodell:

- Multivariate Regression
- Berücksichtigung von fünf Profildimensionen, Laufleistung, Radsatztyp

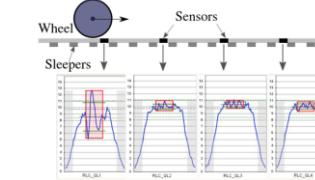


→ Einfach, robust, interpretierbar

Laufflächendefekte

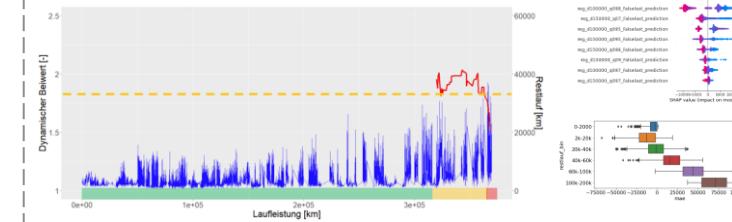
Ziel: Erkennung von Laufflächenschäden und Prognose der verbleibenden Einsatzdauer

Daten: Dyn. Beiwert



Prognosemodell:

- Manuelles Feature Engineering über gleitendem Fenster
- LightGBM Regressor



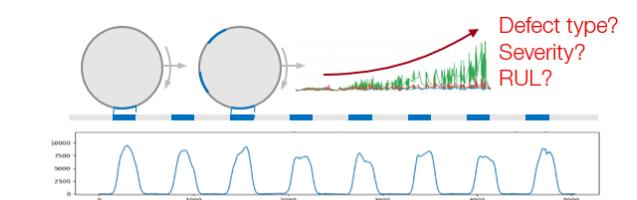
→ Rechenintensiv, komplex

Schadensdiagnose und -prognose

ETH zürich

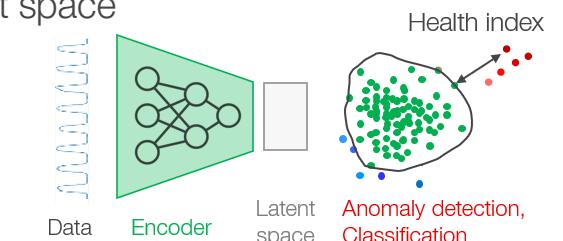
Ziel: Erkennung, Klassifikation, Bewertung und Prognose von Schäden

Daten: DMS, Beschleunigung



Prognosemodell:

- Feature Engineering mittels Autoencoder
- Anomalie Erkennung und Klassifikation in latent space



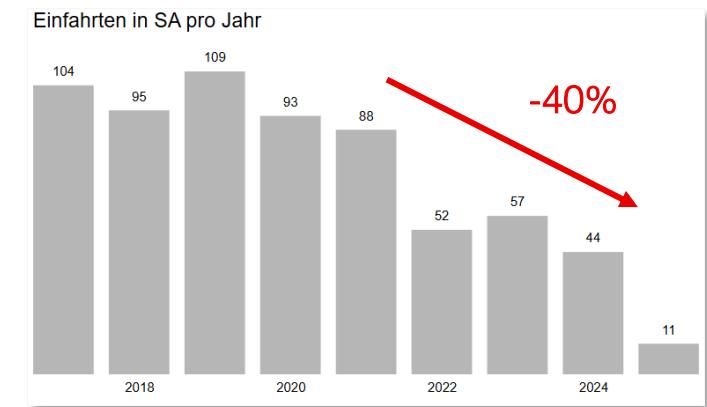
→ Vielversprechend, sehr komplex

Prognosemodelle und Digitale Zwilling sind Mittel zum Zweck

Erfolg: Reduktion der Werkstattaufenthalte auf Allzeittief!

Digitalisierung benötigt angepasste Geschäftsprozesse

- Mehrwert durch aktive Steuerung der Prozesse
- Implementierung ist sehr interdisziplinär

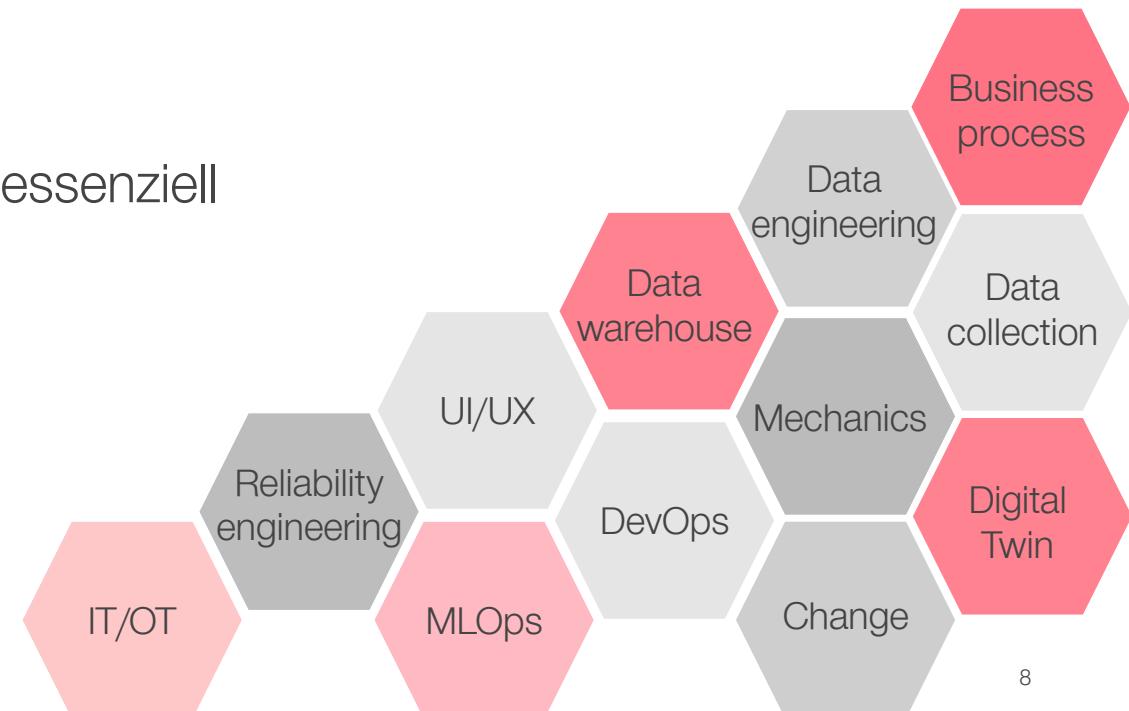


Prognosemodelle generieren Mehrwert

- Ermöglichen proaktive Planung und Steuerung
- Einfachheit, Robustheit und Interpretierbarkeit sind essenziell
... aber, statistische Modelle sind phänomenologisch,
datengetrieben, nicht kausal

“All the impressive achievements of deep learning amount to just curve fitting.”

Judea Pearl



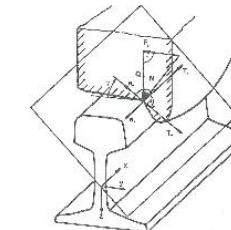
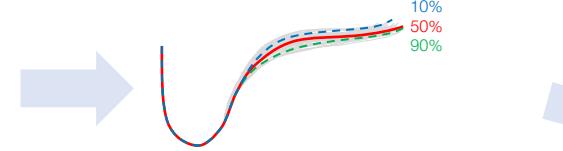
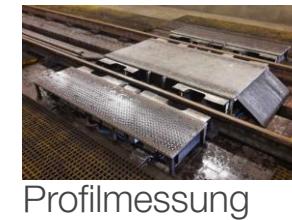
Kausales Verständnis nötig, um Probleme ursächlich zu lösen

Rollkontaktermüdung (RCF) ist bei einigen Flotten eine Herausforderung

- Betrifft "nur" 5% der Radsätze, verursacht aber 90% der Radsatzbearbeitungen
- Defekte geschehen "irgendwann", schwierig zu prognostizieren → Reaktive IH
- Detailliertes Verständnis von Rollmaterial, Infrastruktur und Einsatzbedingungen notwendig → ganzheitliche Bewertung unter spezifischen Gegebenheiten

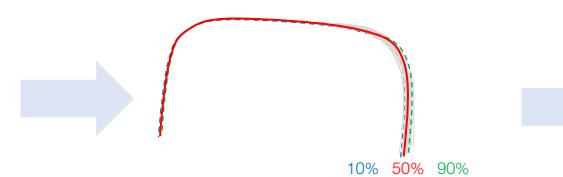


Rollmaterial



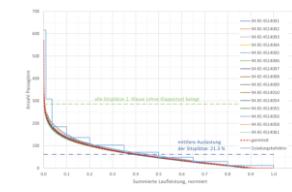
Profilverschleiss und Schadensstatistik

Infrastruktur

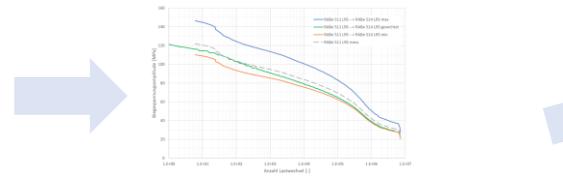


Gleisstatistik

Einsatzbedingung



Belastung



Beanspruchung

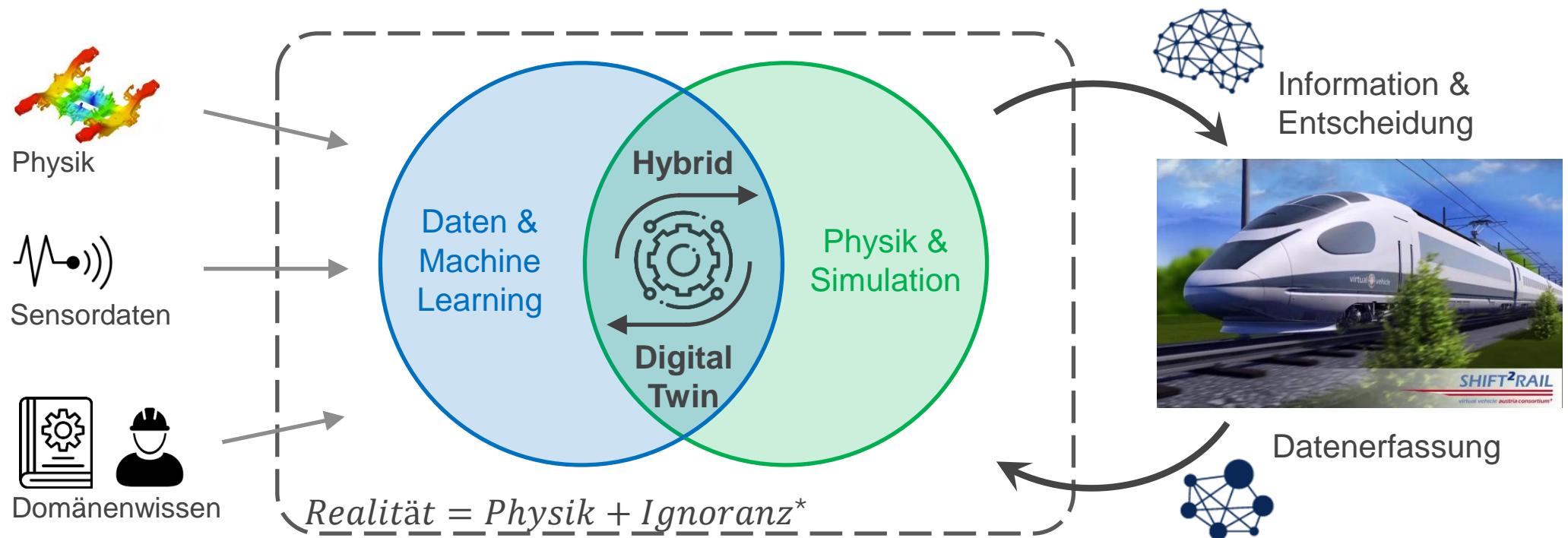
RCF Assessment

- Mehrkörper-System Dynamik
- Kontaktmechanik mit repräsentativer Rad-Schienen Paarung
- Ermüdungsmodelle (Rissinitiierung) für Bewertung

Hybride digitale Zwillinge für zustandsbasierte & prädiktive Instandhaltung mit mehr Kausalität

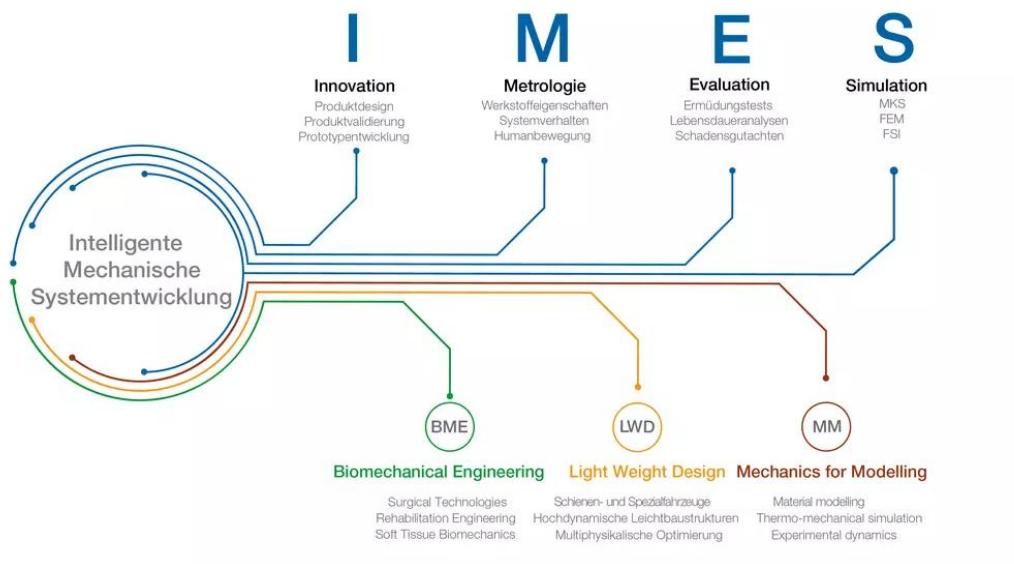
Hybride Digitale Zwillinge für Zustandsbeschreibung, Diagnose, Prognose, Optimierung

- Hybride digitale Zwillinge kombinieren Physik und Machine Learning
- In Realität:
 - Wenig Sensorik, wenig Daten
 - Wenig, gut dokumentierte Schäden
 - Fehlende Betriebszustände in Daten



3 Fachbereiche, 35 Mitarbeitende

- Strukturmechanik, Simulation und Optimierung
- Schienenfahrzeugtechnik



<https://www.zhaw.ch/de/engineering/institute-zentren/imes>

Leistungsbereiche & Zusammenarbeit

- 1) Bachelorstudium Maschinentechnik
 - Ausbildung: Technische Mechanik, FEM, Leichtbau
 - Vertiefung: Mechanische Schienenfahrzeugtechnik
- 2) Weiterbildung
 - CAS Mechanische Schienenfahrzeugtechnik, zusammen mit CH-Bahnbranche
- 3) Projekte im Drittmittelgeschäft
 - Dienstleistungen:
 - Gutachten zu Festigkeit
 - Schadensanalysen
 - Betriebslastmessung
 - Angewandte Forschung & Entwicklung
 - Zusammen mit Industriepartnern
 - Unterstützt durch Innosuisse, Eureka, etc.
- 4) Studienarbeiten
 - Ca. 20 Studienarbeiten (Bachelor, Master) pro Jahr

CAS Mechanische Schienenfahrzeugtechnik

Weiterbildung durch vier Module

- In enger Zusammenarbeit mit dem Verband öffentlicher Verkehr (VöV) entwickelt
- Module können auch als einzelne Weiterbildungen besucht werden

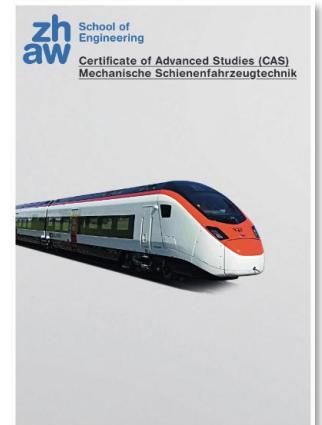
Modul	Inhalt
A: Grundlagen Schienenfahrzeuge und Betrieb	<ul style="list-style-type: none">• Einführung und Allgemeines, rechtliche Grundlagen• Bewegungswiderstände von Schienenfahrzeugen• Zugförderung, Z-v-Diagramm, Antriebscharakteristika• Antriebstechnologien (Diesel und elektrisch)• Bahnproduktion und Rollmaterial-Management
B: Mechanische Hauptkomponenten	<ul style="list-style-type: none">• Zug- und Stosseinrichtungen• Drehgestelle und Radsätze• Klimatisierung von Innenräumen• Korrosionsschutz, Beschichtung, Aussenreinigung• Wagenkasten und Festigkeit nach EN 12663 bzw. EN 15227• Schweißen im Schienenfahrzeugbau EN 15085
C: Interaktion Rad-Schiene	<ul style="list-style-type: none">• Lichtraumprofil und Fahrzeugbegrenzungslinie• Kräfte zwischen Schiene und Rad, Rad-Schiene-Kontakt• Sinuslauf, Laufstabilität und Laufdynamik• Bogenlauf und Gleisüberhöhung• Entgleisen durch Aufklettern, Heumannscher Einser
D: Spezialsysteme	<ul style="list-style-type: none">• Bremseinrichtungen• Einstiegssysteme

Methodik

- Starker Praxisbezug durch Vorlesung, Exkursion, Gruppenarbeiten
- 50% Lehranteil IMES
- 50% externe Referenten aus der Bahnbranche (RhB, SBB, zb, Stadler, BAV)

Kosten und Dauer

- Dauer: 6 Monate
- Umfang: 12 ETCS, d.h. 8 Lektionen pro Woche
- Kosten: CHF 6'900.-

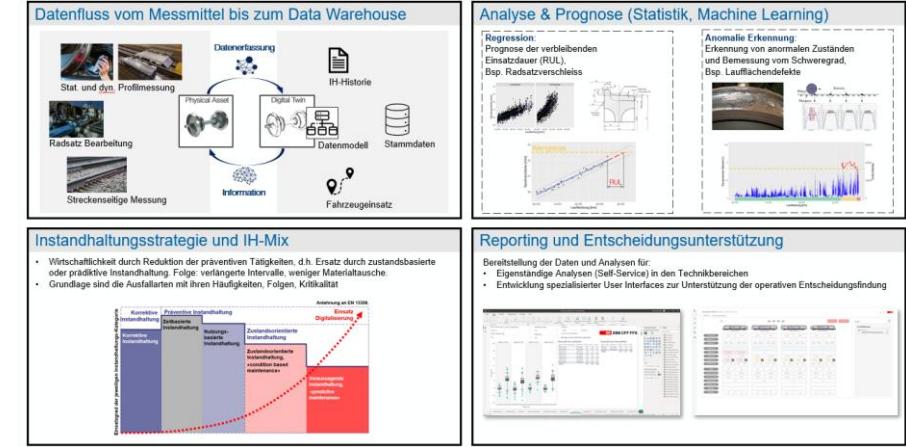


Predictive Maintenance in der Praxis

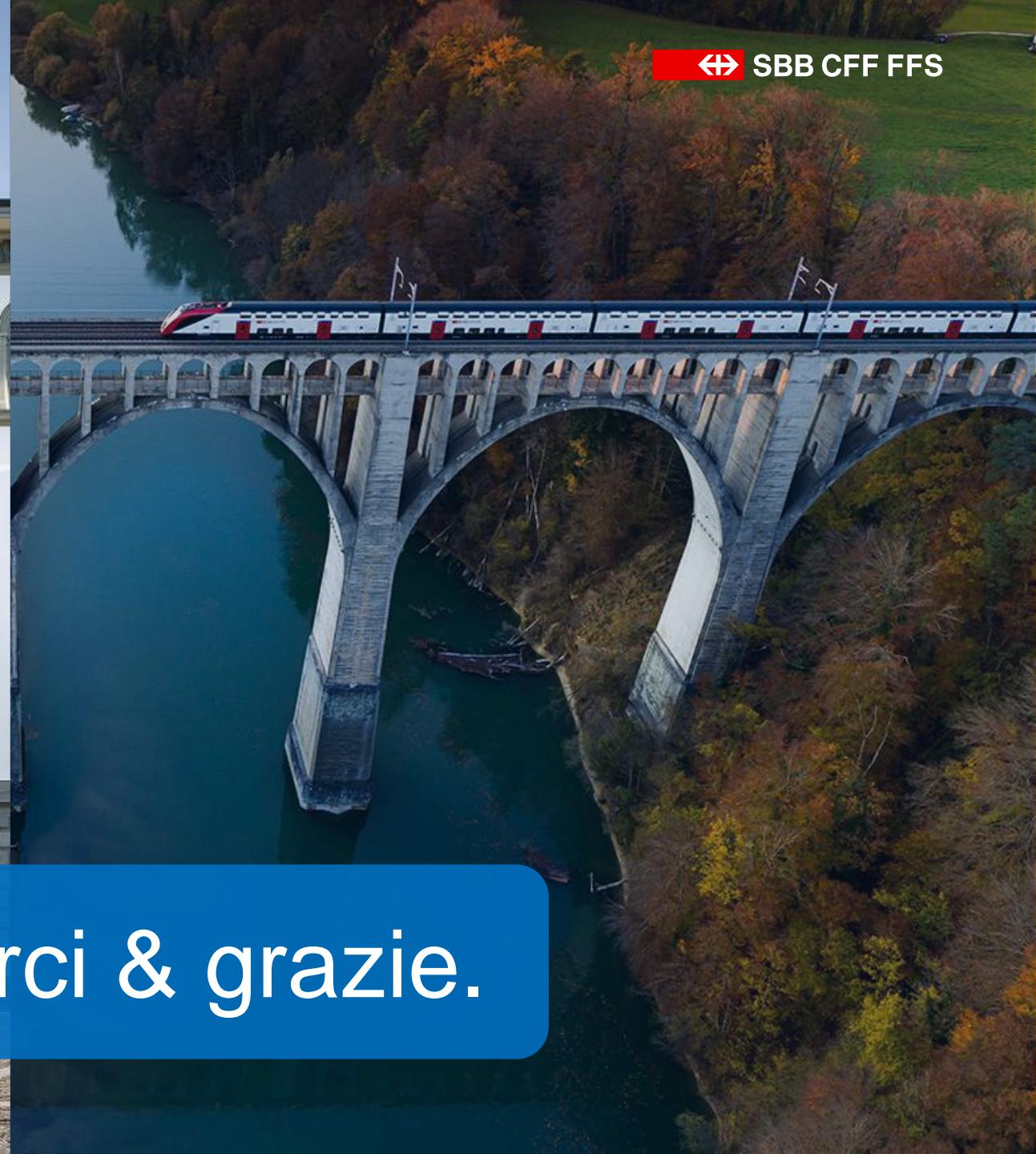
- 1) Predictive Maintenance ist viel mehr als nur ein Prognosemodell
 - Eine IH-Strategie eingebettet in einen IH-Mix
 - Massgebend sind Ausfallarten, Häufigkeiten und Folgen
 - Es braucht eine Methode (RCM, Reliability Engineering) zur Definition vom IH-Mix

- 2) Datenmanagement ist sehr komplex und aufwändig

- 3) Prozessgestaltung und Kultur der Veränderung
 - Vertrauen in Daten und Modelle
 - Agile Softwareentwicklung zwischen Business und IT
 - Veränderungswille und Führung sind notwendig



Kultur frisst Strategie. Quelle: <https://x.com/FerraroRoberto>



Danke, merci & grazie.

Zürcher Hochschule für
Angewandte Wissenschaften

School of Engineering
IMES Institut für Mechanische Systeme

Dr. Wilfried Bürzle

Technikumstrasse 9
Postfach
CH-8401 Winterthur

Tel: +41 58 934 48 32

E-Mail: wilfried.buerzle@zhaw.ch
www.zhaw.ch/imes