

# Steuerung und Regelung der Traktion bei TRAXX-Lokomotiven

Peter Honegger

Rüdiger Kögel

Dr. Norbert Hohenbichler

43. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge Graz, 4.4.2016



# Agenda

---

1 TRAXX Lokomotiven – Zugkraftperformanz für zuverlässigen Betrieb

2 Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

3 Optimale Ausnutzung der Adhäsion - Kraftschlussregelung

4 Zulässige Anhängelasten

# Einleitung:

## Steigendes Transportvolumen wird vor allem durch Straße übernommen

- Das Transportvolumen steigt nach kurzfristigem Einbruch während der Wirtschaftskrise stetig an.
- Den größten Anteil bewältigt der LKW.
- Wachsender LKW-Verkehr führt zu zunehmenden Emissionen, Lärm und Verstopfung der Autobahnen.
- Der Ausstoß klimaschädlicher Abgase steigt dramatisch an.
- Die Straße hat einen zunehmenden Wettbewerbsvorteil bedingt durch
  - viel niedrigere Sicherheitsanforderungen
  - viel einfachere Zulassung
  - viel höhere Interoperabilität
  - viel niedrigere Personalkosten



# Einleitung: steigender Wettbewerb auf Schiene → Änderungen Anforderungen an den Schienengüterverkehr

---

- Weitere Kostenoptimierung gegenüber dem Wettbewerb auf der Straße
- Bessere Infrastrukturausnutzung
  - schwerere Züge
  - längere Züge
  - höhere Taktung
- Energiekostenoptimierung
- Reduzierung der Geräuschemissionen
- Maximale Ausnutzung der Lokomotiven (teures Investitionsgut)
- Maximale Ausnutzung der Anhängelast in Mehrfachtraktion mit vorhandenen Lokomotiven
- Verschleiß-Reduzierung am Fahrzeug und an der Infrastruktur
- Reduzierung der Instandhaltungskosten



# Einleitung: Historische Entwicklung der max. Anhängelast

## Hergestellt bis 1985:

### Stufenschalterlokomotiven mit DC-Fahrmotor

- Hohe Schleuderdrehzahlen, nicht kontrollierbare Drehzahlen in Anfahrbereich
- Keine Leittechnik, kein Adhäsionsregelung
- Betrieb bei Drehzahl 0 nur kurzzeitig machbar
- Schleudern im Stillstand führt zu Gleiszerstörung



## Hergestellt 1985 bis 1995:

### Anschnittsteuerfahrzeuge mit DC-Fahrmotor, z.B. 114

- Einfache Leittechnik, erste Adhäsionsregelungen
- Reduzierte Schleuderdrehzahlen
- Betrieb bei Drehzahl 0 nur kurzzeitig machbar
- Schleudern im Stillstand führt zu Kerbbildung



## Hergestellt 1990 bis heute:

### Umrichter-Fahrzeuge mit AC-Fahrmotoren

- Adhäsionsregelungen werden immer präziser und gleisschonender
- Schleuderdrehzahlen unter Delta 1 km/h sind machbar
- Betrieb im Stillstand mit hoher Zugkraft lange Zeit machbar



Eine 4 achsige Umrichter Lok kann das Traktionsprogramm einer 6 Achsigen Stufenschalterlok übernehmen

Anhängelasten um 1/3 gesteigert

PRIVATE AND CONFIDENTIAL  
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

# Die TRAXX AC3 – optimiert für schwere Züge in Elektrotraktion und auf der letzten nicht elektrifizierten Meile

- Last Mile-Funktionalität mit Traktionsbatterie und Diesel-Zusatzmotor
- Ein-Mann-Betrieb durch Rangierfunkfernsteuerung
- Neue Logistikkonzepte ohne Rangierlokomotiven
- Erweitertes Einsatzgebiet der E-Lokomotive in Häfen, Terminals, Werkanschlüssen



Last Mile:

**Dieselmotor** Stage IIIb  
230 kW Motor

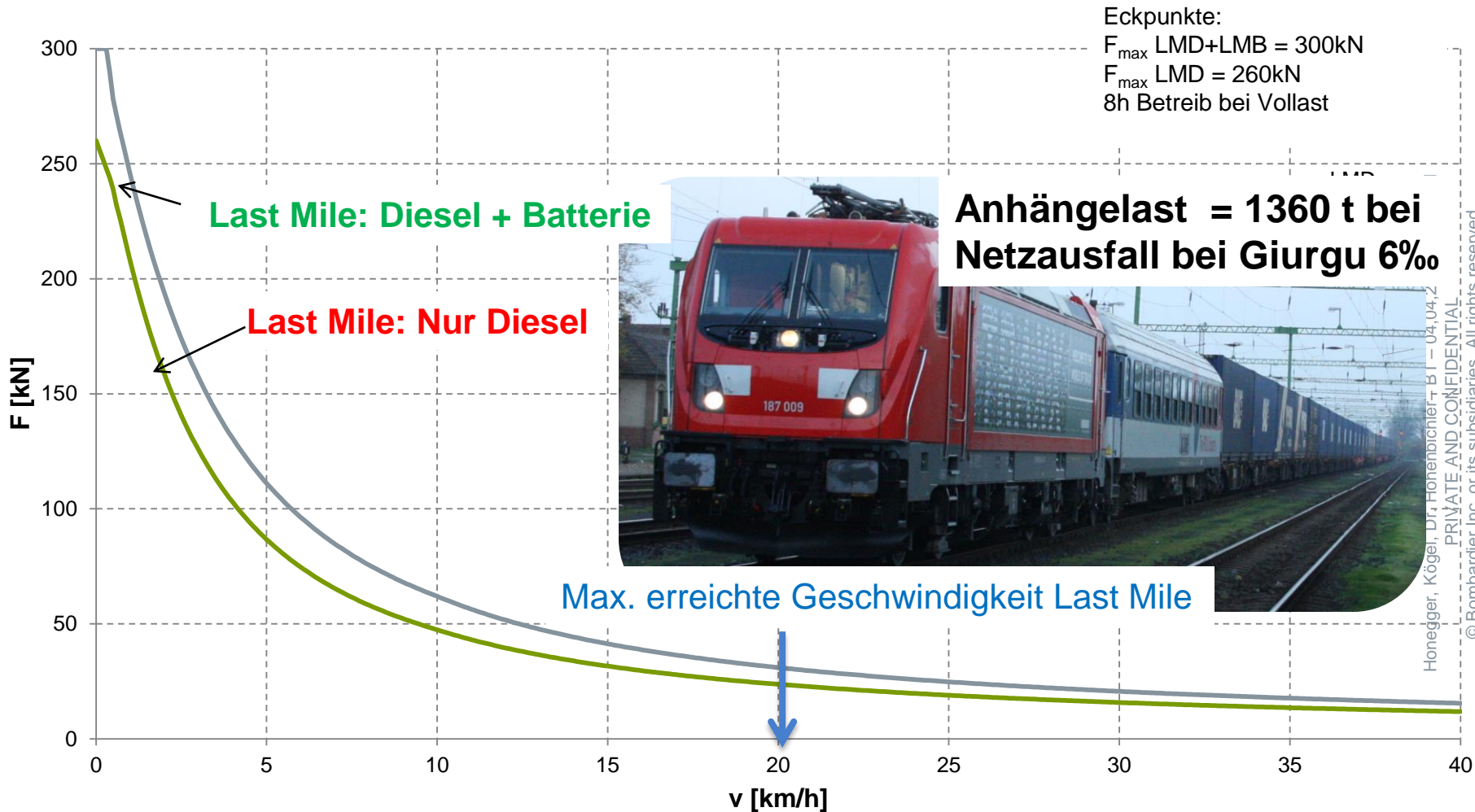
**Traktionsbatterie**  
50 kW 30 min verfügbar

**Total 280 kW während 30 min**



er, Kögel, Dr. Hohenbichler –  
PRIVATE AND CONFIDENTIAL  
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

# Die TRAXX AC 3 Last Mile-Lokomotive beweist auch bei besonderen Betriebszuständen ihr Dauerleistungsvermögen

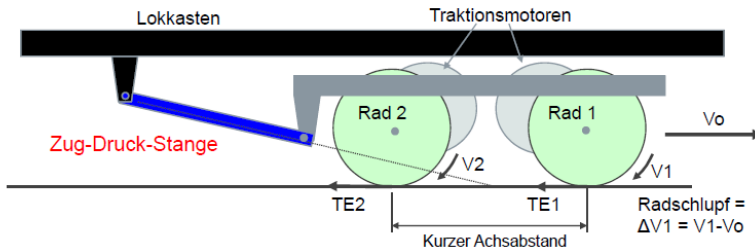


Honegger, Kögel, Dr. Honegger, BI - 04, 04, 2  
 PRIVATE AND CONFIDENTIAL  
 © Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

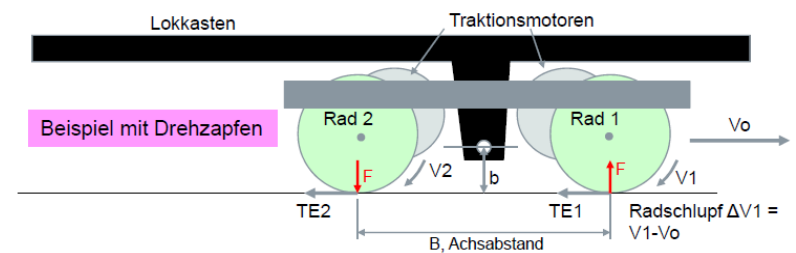
# Einflussfaktoren auf die maximale Anhängelast

## Drehgestell-Anordnung

### Zug - Druckstange



### Drehzapfen



Die Zug-Druck-Stange führt zu einer geringeren Radsatzentlastung als beim Drehzapfen.

## Gesamtgewicht

Das Gesamtgewicht von modernen Umrichterlokomotiven variiert von 82,5 bis 90 t Gesamtgewicht.

## Antriebskonfiguration:

Einzelachsenantrieb, Gruppenantrieb (2 Achsen pro SR, 4 Achsen pro SR)

## Adhäsionsregelung

Durch moderne Regelalgorithmen und schnelle Rechner kann die Regelung massiv verbessert werden.



# Agenda

---

1 TRAXX Lokomotiven – Zugkraftperformanz für zuverlässigen Betrieb

2 Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

3 Optimale Ausnutzung der Adhäsion - Kraftschlussregelung

4 Zulässige Anhängelasten

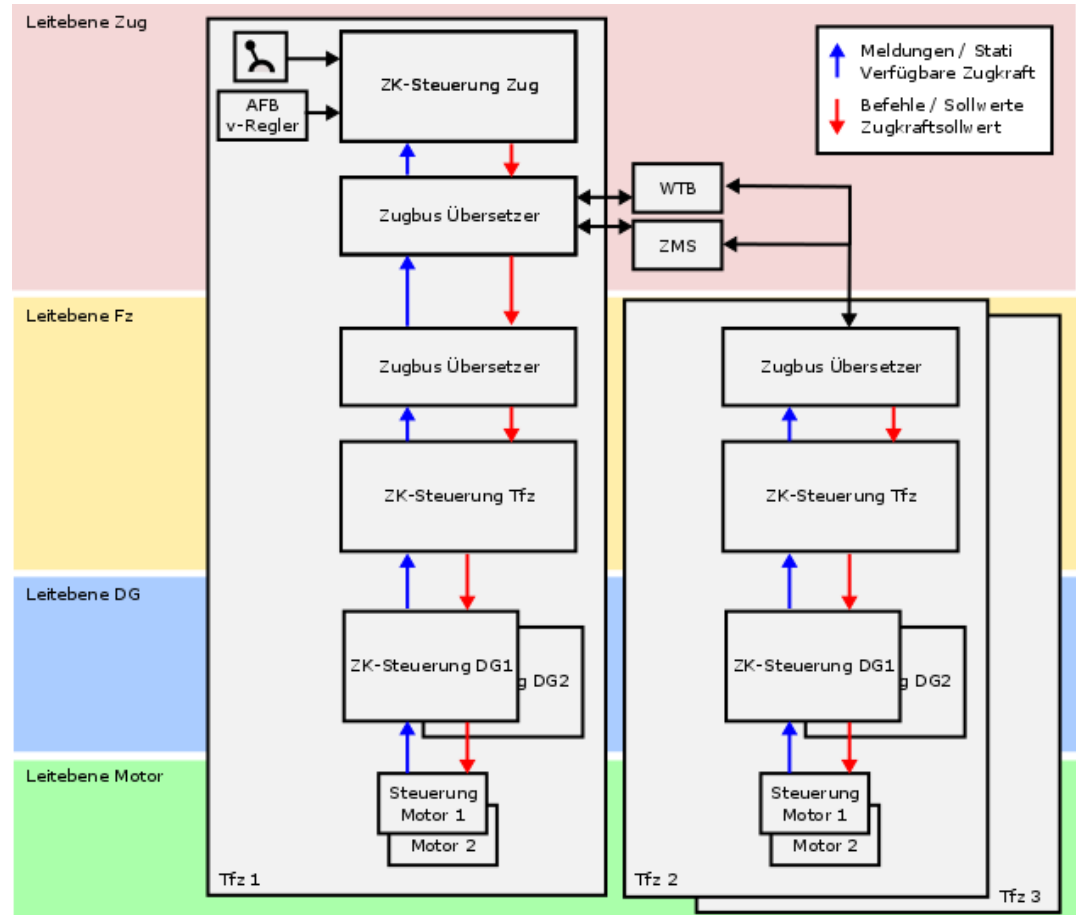
# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Leitebenen der Traktionssteuerung

### Signalfluss der Leitebenen

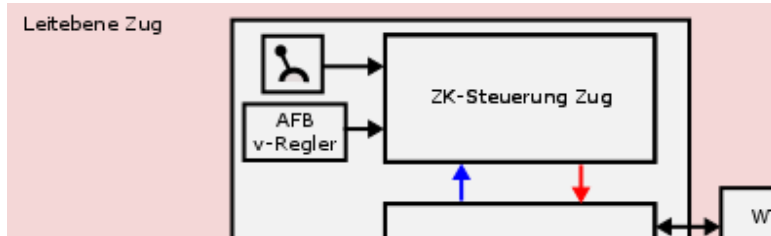
- Zustandsmeldungen (verfügbare Traktionskraft) nach oben
- Befehle (Zugkraftsollwerte) nach unten

**Struktur ermöglicht leistungsfähige Zugkraftsteuerung**



# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Leitebenen Zug und Mensch-Maschine-Schnittstelle

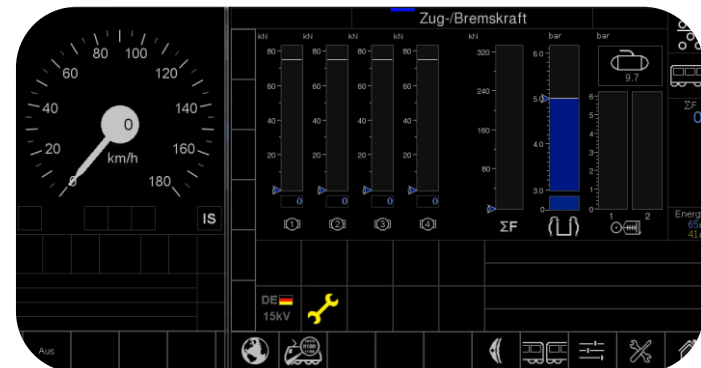


### Zug-/E-Bremskraftsteller

- Zeitabhängig
- Stellungsabhängig (*Dynamische Skalierung*)

### Ziele

1. Unmittelbare Reaktion: Jeder Befehl bewirkt unmittelbar eine Veränderung des Zugkraftsollwertes
2. Steuerung in kN: Keine Änderung der Stellung -> Zugkraftsollwert bleibt nach Möglichkeit konstant



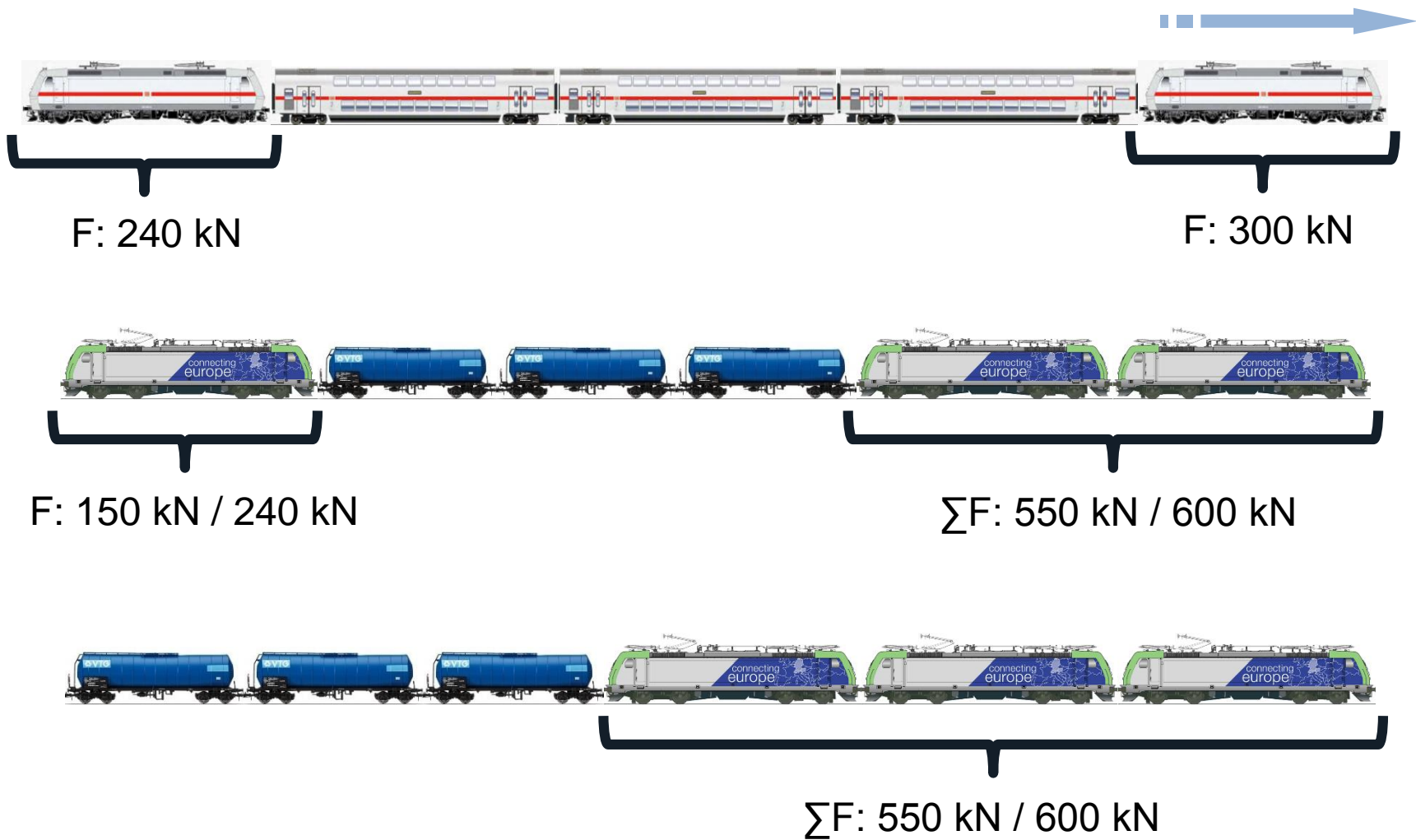
# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Mehrfachtraktion – Funktionen und Steuerungsarten

	WTB	ZMS	ZDS	ZWS
Betrieb mit bis zu zwei Lokomotiven	✓	✓	✓	
Betrieb mit bis zu vier Lokomotiven	✓	✓		
Betrieb mit Steuerwagen	✓			✓
Beliebige Zugkonfigurationen	✓			
Begrenzung von Zughaken- und Pufferkräften	✓	✓		
Fernsteuerung der E-Bremse	✓	✓	✓	✓
Gleichmäßige Auslastung aller Tfz für Zug- und E-Bremskraft	✓	✓	✓	✓
Steuerung der Gesamtkraft in kN	✓	✓		
Selbsttätige Kompensation bei Ausfällen	✓	✓		

# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Begrenzung von Zughaken- und Pufferkräften

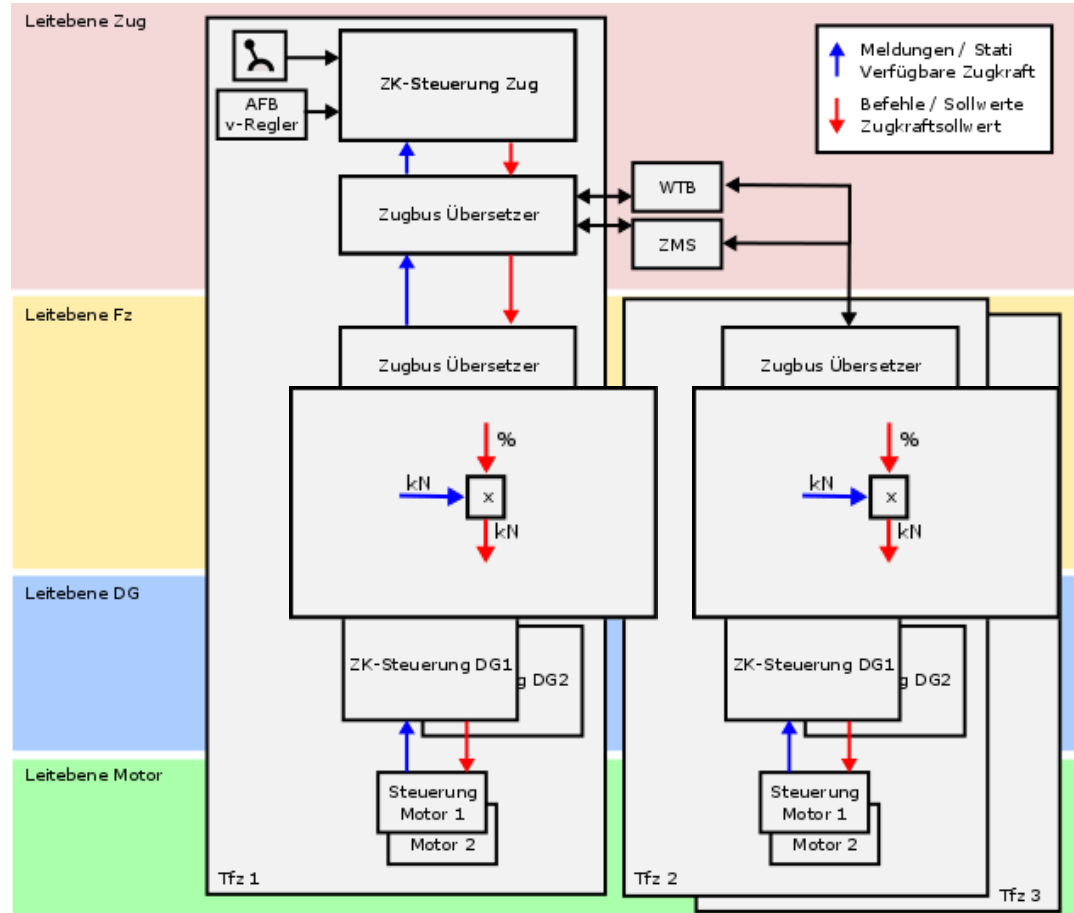


# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Gleichmäßige Auslastung

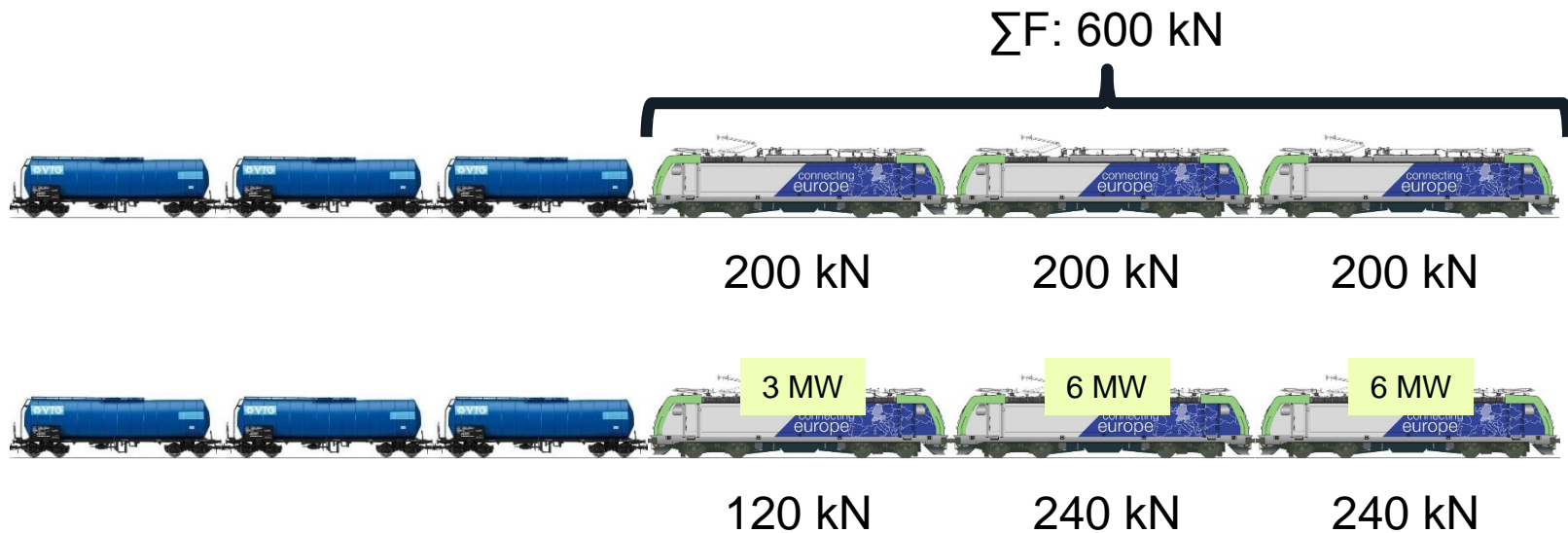
### Gleichmäßige Auslastung

1. Führungsfahrzeug kommandiert Traktion in Prozent (0-100%)
2. Traktionsfahrzeuge multiplizieren Prozentwert mit aktuell verfügbarer Traktionskraft



# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

Gleichmäßige Auslastung und Begrenzung der Summenzugkraft

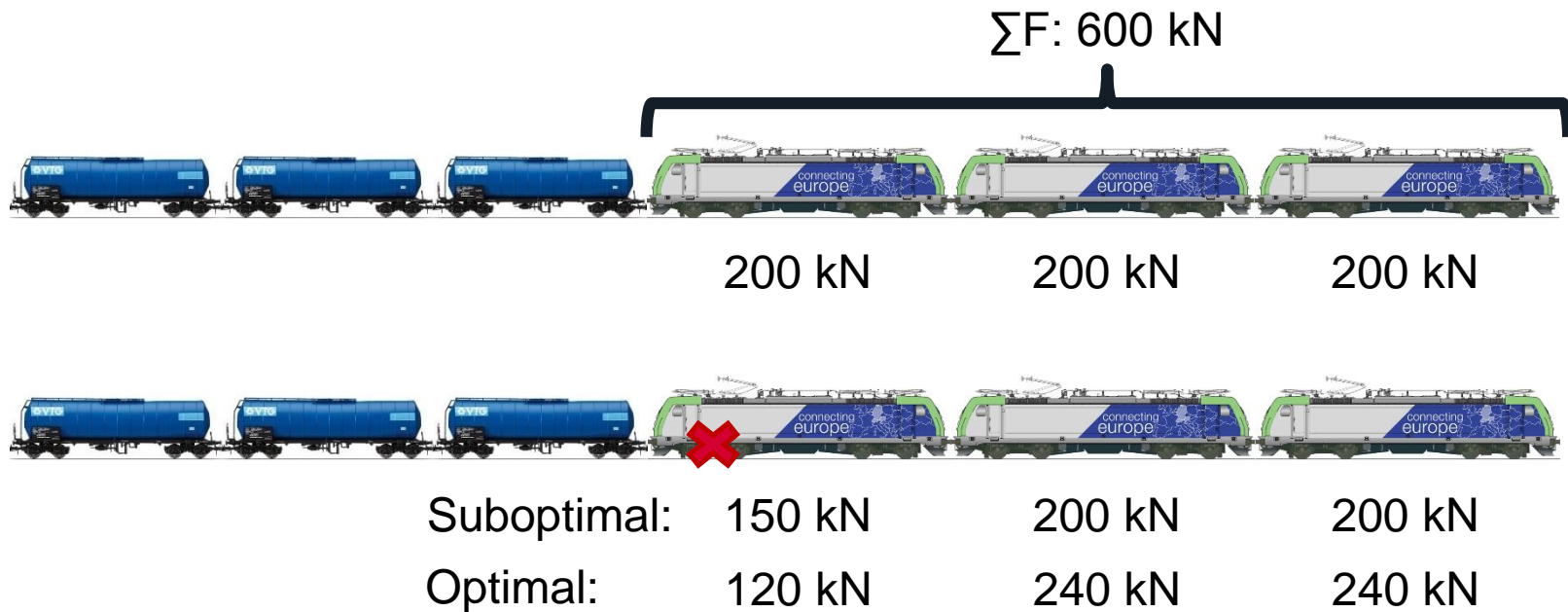


## Ziele

1. Gleichmäßige Auslastung (in Bezug auf Leistung)
2. Begrenzung der Summenzugkraft

# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Ausfallverhalten



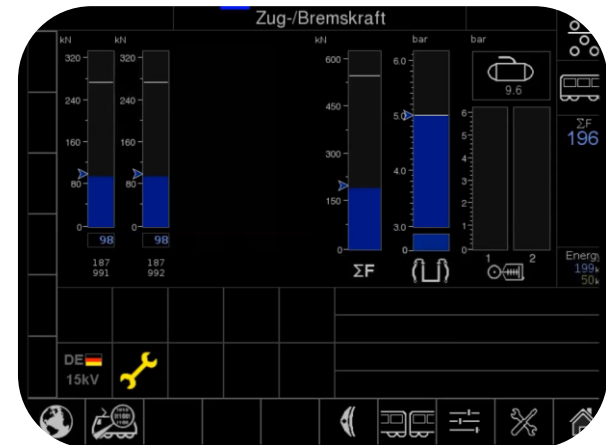
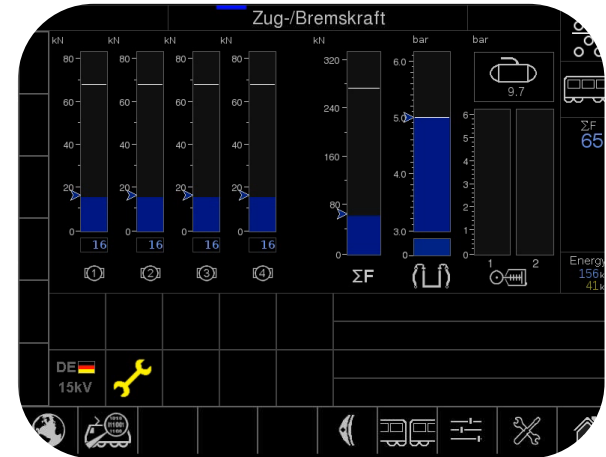
### Ziele bei Ausfällen

1. Begrenzung der Summenzugkraft (weiterhin)
2. Optimale Nutzung der verbleibenden Traktionskraft



# Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

## Ausfallverhalten und selbsttätige Kompensation



### Ziele bei Ausfällen

1. Beibehaltung der Summenzugkraft
2. Optimale Nutzung der verbleibenden Traktionskraft
3. Wiederaufschalten gestörter Antriebe nach flüchtigen Störungen ohne Abschaltung noch laufender Antriebe

# Agenda

---

1 TRAXX Lokomotiven – Zugkraftperformanz für zuverlässigen Betrieb

2 Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

3 Optimale Ausnutzung der Adhäsion - Kraftschlussregelung

4 Zulässige Anhängelasten

# Optimale Ausnutzung der Adhäsion

## Regelungskonzept



Radsatz	4	3		2	1
Modus	Rm	Sm		Sm	Sm

### Referenzmodus (Rm)

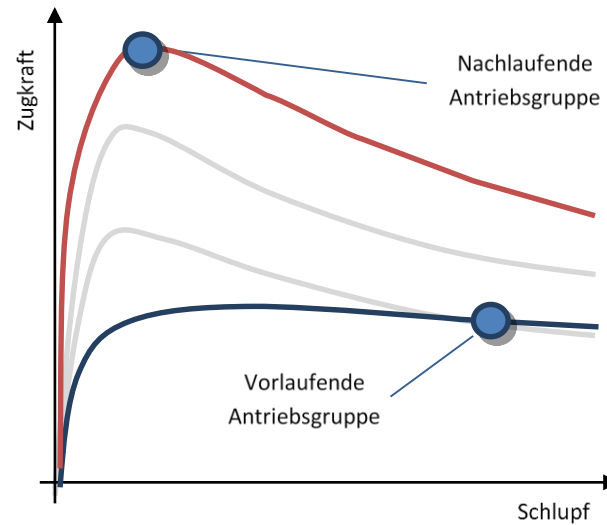
- Regelung der Traktionskraft eines Radsatzes mit reduziertem Schlupf
- Bildung einer stabilen Referenzgeschwindigkeit (Maß für die Geschwindigkeit über Grund).

### Schlupfmodus (Sm)

- Regelung der Traktionskraft in einem Schlupfband auf Basis der Referenzgeschwindigkeit
- Eintrag von Reibleistung reduziert die Zwischenschicht im Radaufstandspunkt (z.B. Verdampfung von Wasser).
- Putzwirkung für die nachfolgenden Radsätze führt zu einer Rad-Schiene Konditionierung.

# Optimale Ausnutzung der Adhäsion

## Konditionierung

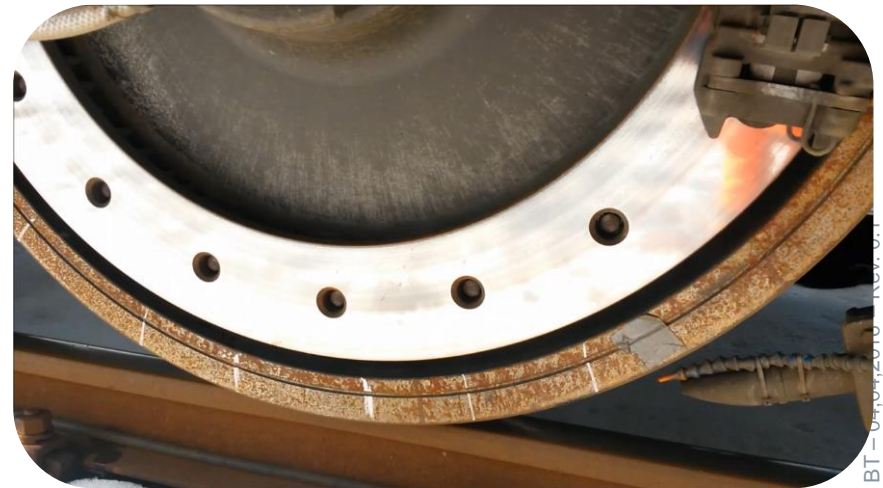


### Ziel des Regelungskonzept

- Gesamtoptimum des Kraftschlusses aller Radsätze durch Konditionierungseffekt
- (keine Optimierung auf optimalen Kraftschluss jedes einzelnen Radsatzes)

# Optimale Ausnutzung der Adhäsion

## Kraftschlussregelung



# Optimale Ausnutzung der Adhäsion

## True-Ground-Speed



Radsatz	4	3		2	1
Modus	Sm	Sm		Sm	Sm

### True-Ground-Speed

- GPS oder Radar zur Ermittlung der Referenzgeschwindigkeit

**Verbesserung der Traktionsperformanz bei höheren Geschwindigkeiten**

# Optimale Ausnutzung der Adhäsion

## Zugkraftumverteilung

Radkonditionierung, Schienenbedingungen:

- > Stark unterschiedlicher Kraftschluss der einzelnen Radsätze
- > Dynamische, kaum vorhersehbare Änderungen



### Funktion Zugkraftumverteilung

- Steigerung der Kraftschlussausnutzung der Lokomotive
- Geringerer Verschleiß an Rad und Schiene, höhere Laufruhe, geringere Neigung zu Rolliervorgängen (Torsionsschwingungen) des Radsatzes

# Agenda

---

1 TRAXX Lokomotiven – Zugkraftperformanz für zuverlässigen Betrieb

2 Optimale Steuerung der Zugkraftsollwerte

3 Optimale Ausnutzung der Adhäsion - Kraftschlussregelung

4 Zulässige Anhängelasten



# Nachweisführung

---

## Kriterien der maximalen Anhängelast

Beschleunigung bis 20 km/h in einer angemessenen Zeit  
bei schlechtesten Adhäsionsbedingungen,  
im Streckenabschnitt mit der engsten Kurve  
Erreichen der für die Fahrplaneinhaltung notwendigen  
Streckengeschwindigkeit bei schlechten Adhäsionsbedingungen

## Versuchstechnischer Nachweis

Ausstatten einer Versuchskonfiguration mit hoher Anhängelast,  
schrittweises Erhöhen der Anhängelast,

hier eine TRAXX AC3 mit 830 t Anhängelast am Tauern mit  
entsprechender Beschleunigungsreserve

## Zur Simulation der Bedingungen

Ausrüsten des Fahrzeugs mit einer Bewässerungseinrichtung  
und einer geeichten Zugvorrichtung

Die Versuche werden mit Bewässerung und Sandung durchgeführt.



# Zusammenfassung

## Optimierte Traktion bei TRAXX-Lokomotiven

---

Durch moderne, auf die Einsatzbedingungen optimierte Triebfahrzeuge und deren Adhäsionsregelungen kann die Anhängelast signifikant erhöht werden.

Gleichzeitig kann der Infrastruktur-Verschleiß durch Vermeiden von unkontrollierten Schleudervorgängen massiv reduziert werden.

Durch verbesserte Regelungen können Betriebsstörungen bei schlechten Bedingungen massiv reduziert werden.

Die intelligenten Regelungen der TRAXX Lokomotiven erlauben eine maximale Ausnutzung der Anhängelast sowohl in Einfach- als auch in Mehrfachtraktion.

**BOMBARDIER**

the evolution of mobility