

# Weiterentwicklung des Gesamtsystems Bahn im Zusammenwirken von Netz und Fahrzeug

## Netzfrequenzabhängige Traktionsleistungsbegrenzung

Johann Pechlaner

Markus Pröls

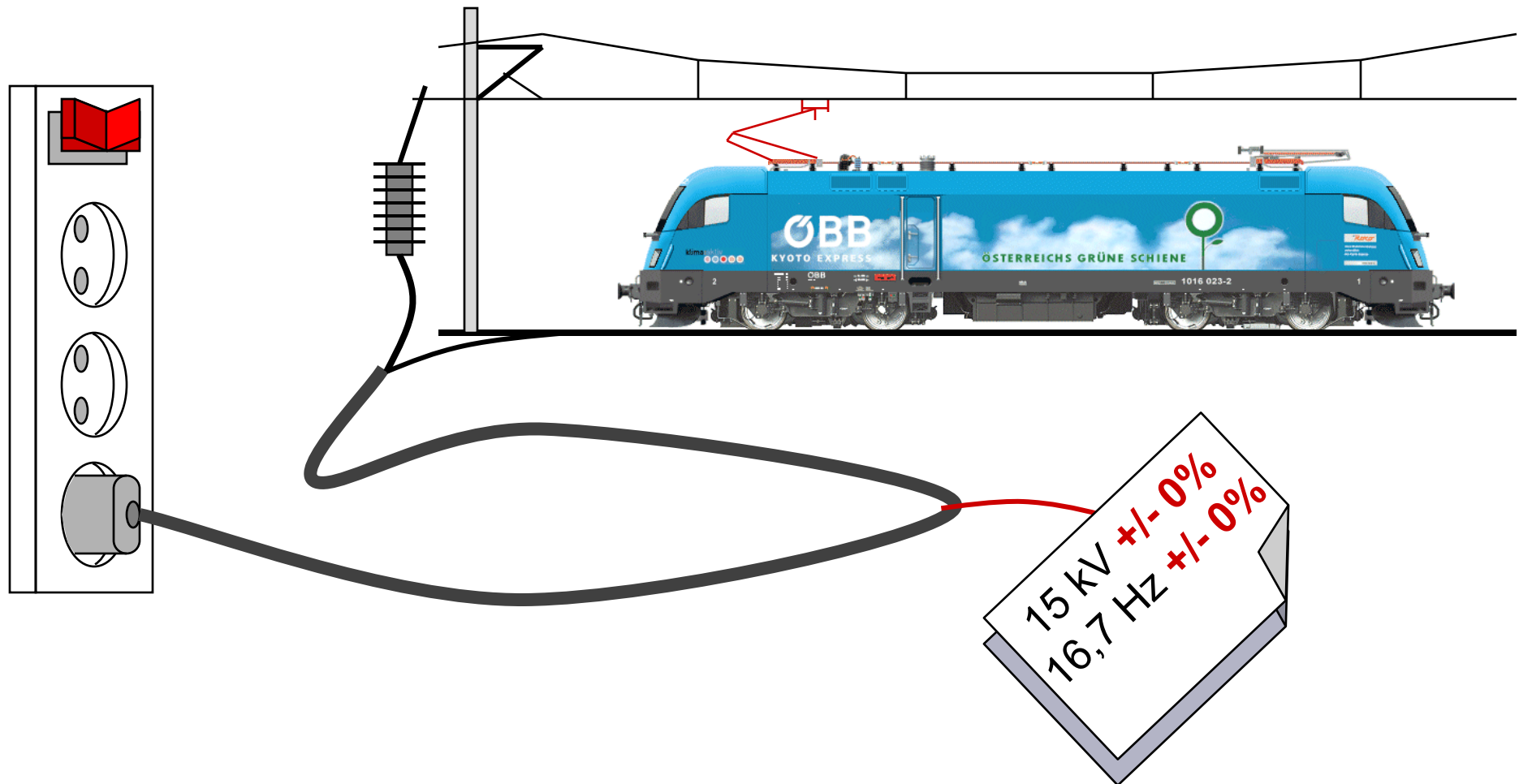
Markus Meyera

Tagung

***Moderne Schienenfahrzeuge***

Graz, 15. September 2008

# Strom für die Lokomotiven aus der Steckdose...?



## Ausgangslage

Betrieb der Bahnstromversorgung:

- normal sehr zuverlässig
- Regelung vollständig unabhängig von den Triebfahrzeugen

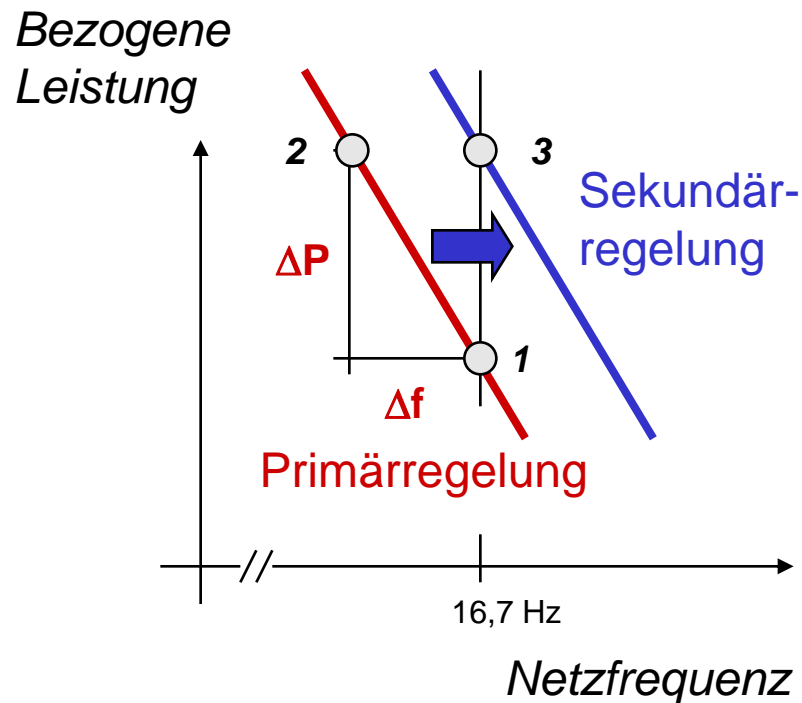
Ausserordentliche Situationen:

- Störfälle und / oder Unterhalt
- nicht rückspeisefähige Inselnetze
- Netzzusammenbruch
- Präventives Rekuperationsbrems-Verbot

➔ Was kann verbessert werden ?

# Prinzip der Netzregelung

## Maschinenkennlinie



## Primärregelung:

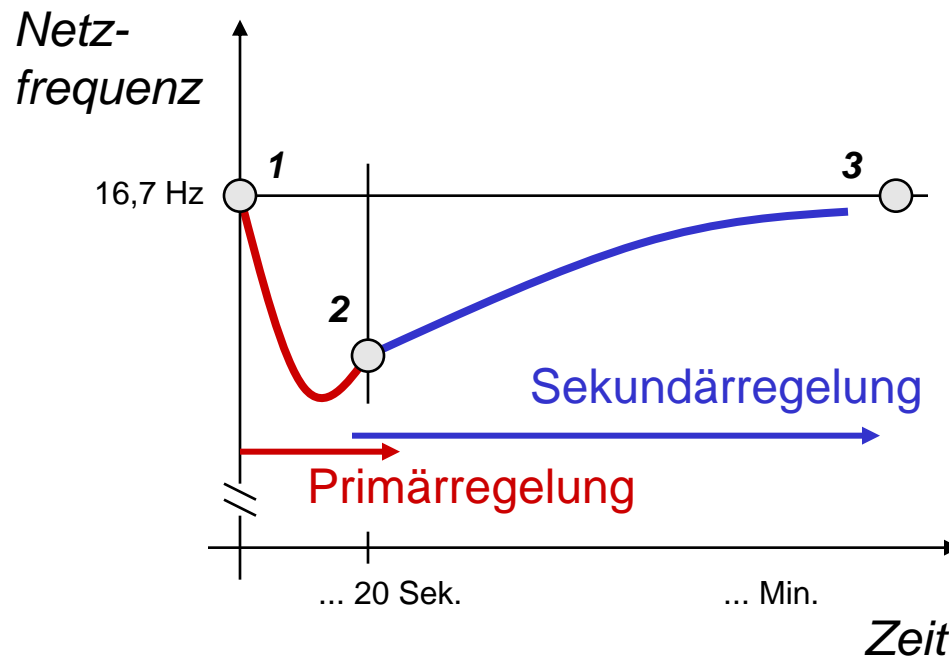
- **P/f** - Kennlinie
- lokal
- schnell

## Sekundärregelung:

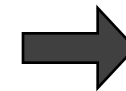
- Ausregelung der mittleren Netzfrequenz
- übergeordnet im Netz
- langsam

# Prinzip der Netzregelung

## Einschwingen nach Laststoss



- Schwankungen der Netzfrequenz werden immer ausgeregelt
- Netzfrequenz ausserhalb der Toleranz weist auf Problem im Netz hin:



Netzzustand ist „anhand der Frequenz sichtbar“

## Netzzusammenbruch

- Ausserordentliche Zustände im Netz können immer wieder auftreten (meistens Kombination von Unterhalt und Störungen)
- Leistungsdefizit oder Nichtaufnahmefähigkeit im Netz äussert sich in Abweichung der Netzfrequenz
- Grosse Über- / Unterfrequenz führt zu Schutzabschaltung in Kraftwerken und auf Fahrzeugen
- Wiederaufbau des Netzes kann längere Zeit dauern
- Gegenmassnahmen heute z.B. Rekuperationsbrems-Verbot

## Vergleich mit dem öffentlichen 50-Hz-Netz

### 16,7-Hz-Bahnnetz:

- Bewegte, leistungsstarke Verbraucher
- Keine selektive Kommunikation zum Zweck des Netzschutzes
- Bisher keine Tfz-seitigen Massnahmen zur Lastbegrenzung  
(die spannungsabhängige Leistungsbegrenzung wirkt nur an langen Stichleitungen)

### Öffentliches 50-Hz-Netz:

- Viele leistungsschwache Verbraucher
- Direkte Kommunikation zu leistungsstarken Verbrauchern
- Gestaffelter Lastabwurf zum Netzschutz ist vorgesehen

## Netzfrequenzabh. Traktionsleistungsbegrenzung

Idee:

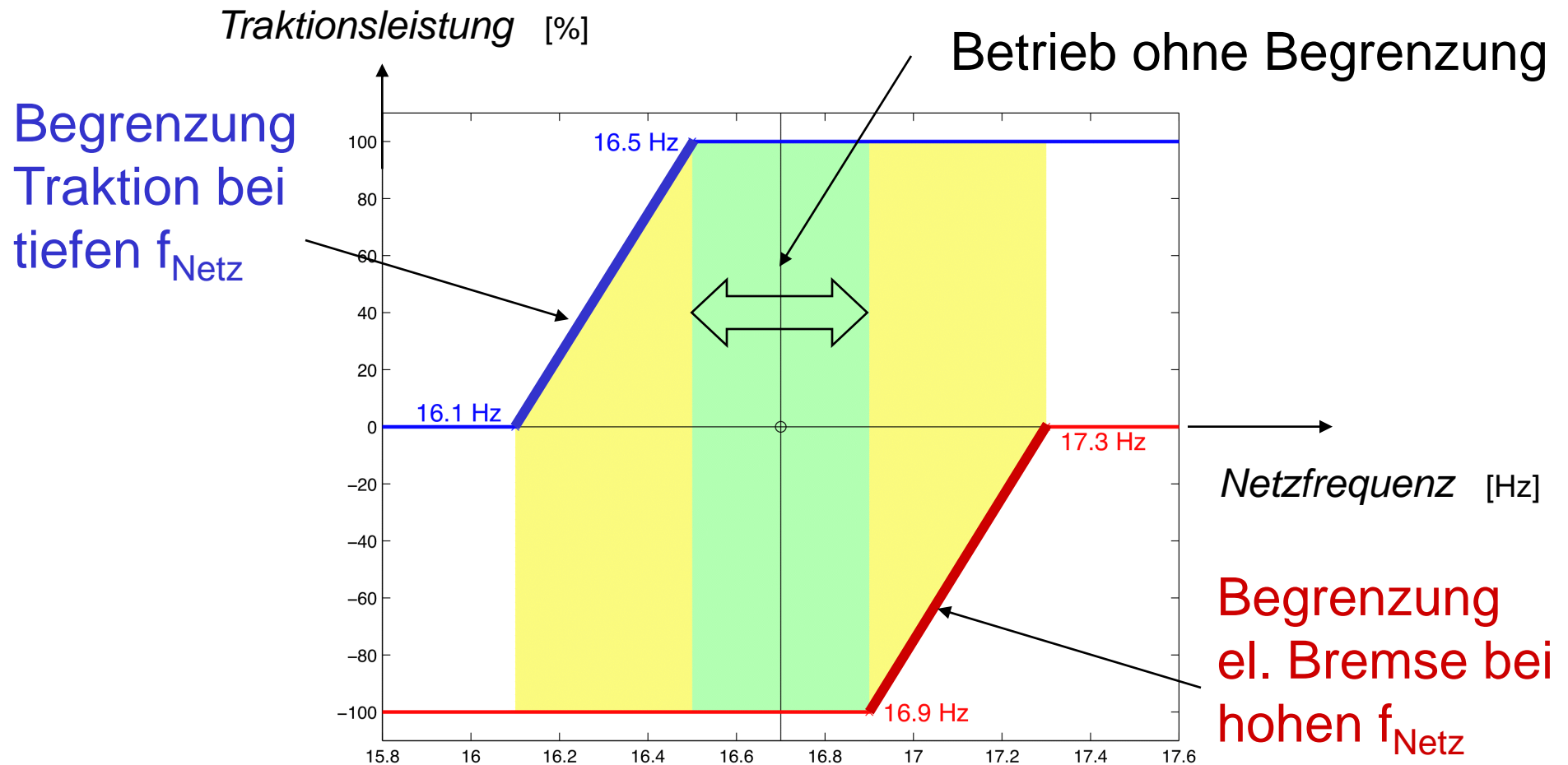
- Die Triebfahrzeuge (Tfz) begrenzen ihre Traktions- und Bremsleistung in Funktion der momentanen Netzfrequenz

Anforderungen:

- Geeignete statische Abstimmung zwischen Netz und Tfz
- Das Netz muss jederzeit stabil betrieben werden können (keine aufklingenden Reglerschwingungen)
- Die Triebfahrzeuge müssen auch während der Begrenzung bedienbar bleiben



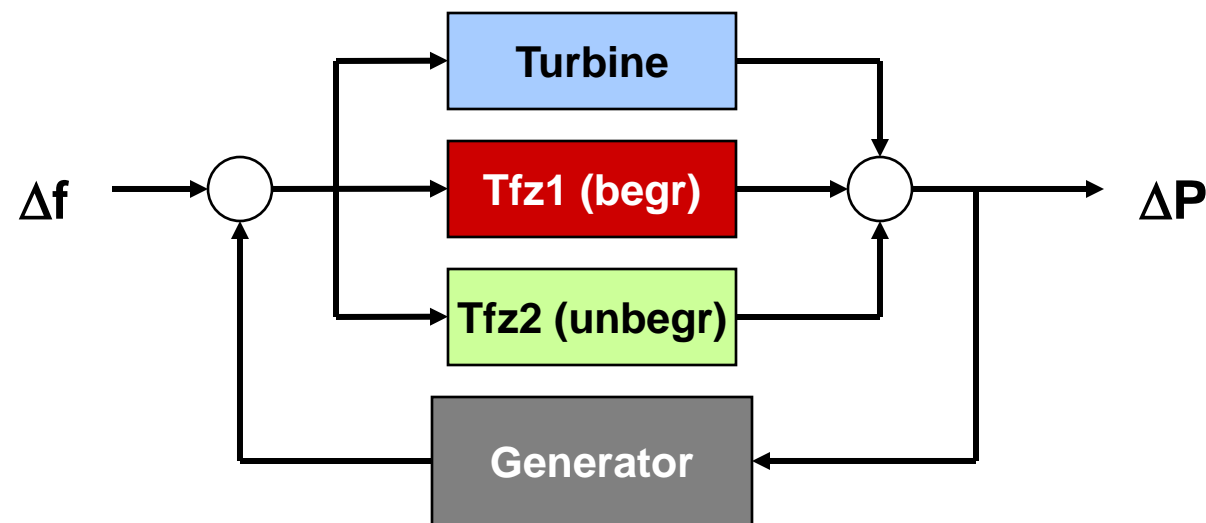
# Statische Kennlinien



# Dynamische Anforderungen

Rückgekoppelter Regelkreis:

Frequenz  $\rightarrow$  Leistung  $\rightarrow$  Frequenz !

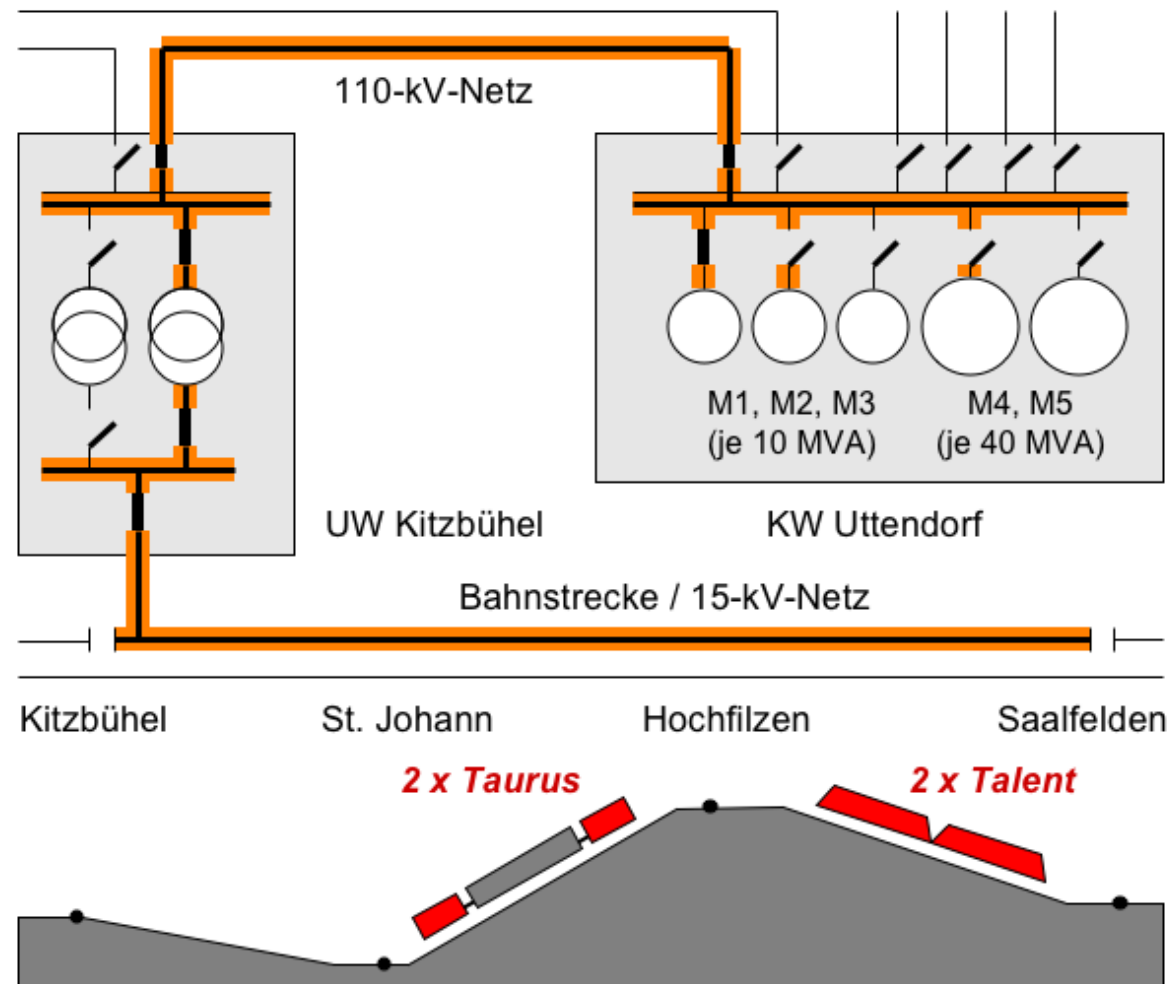


System muss in betrieblich relevanten Zuständen stabil bleiben

## Simulationen und Versuche

- Netzweite Einführung verlangt Absicherung
- Simulationen in verschiedenen Komplexitätsgraden (Triebfahrzeuge, speisendes Netz)
- Definitive Bestimmung der statischen Kennlinie und Parameter für das dynamische Verhalten
- Absicherung durch Versuche:
  - Wirksamkeit, Bedienbarkeit, Genauigkeit der Vorhersagen
  - im Inselnetz KW Uttendorf – UW Kitzbühel – Hochfilzenpass (2 Nächte im Oktober 2007)

# Nachweis in einem Versuchsnetz



## Eingesetzte Triebfahrzeuge

Fotos: A. Albrecht, TU Dresden



Regionalzug mit zwei  
Triebwagen  
Rh 4024 „Talent“

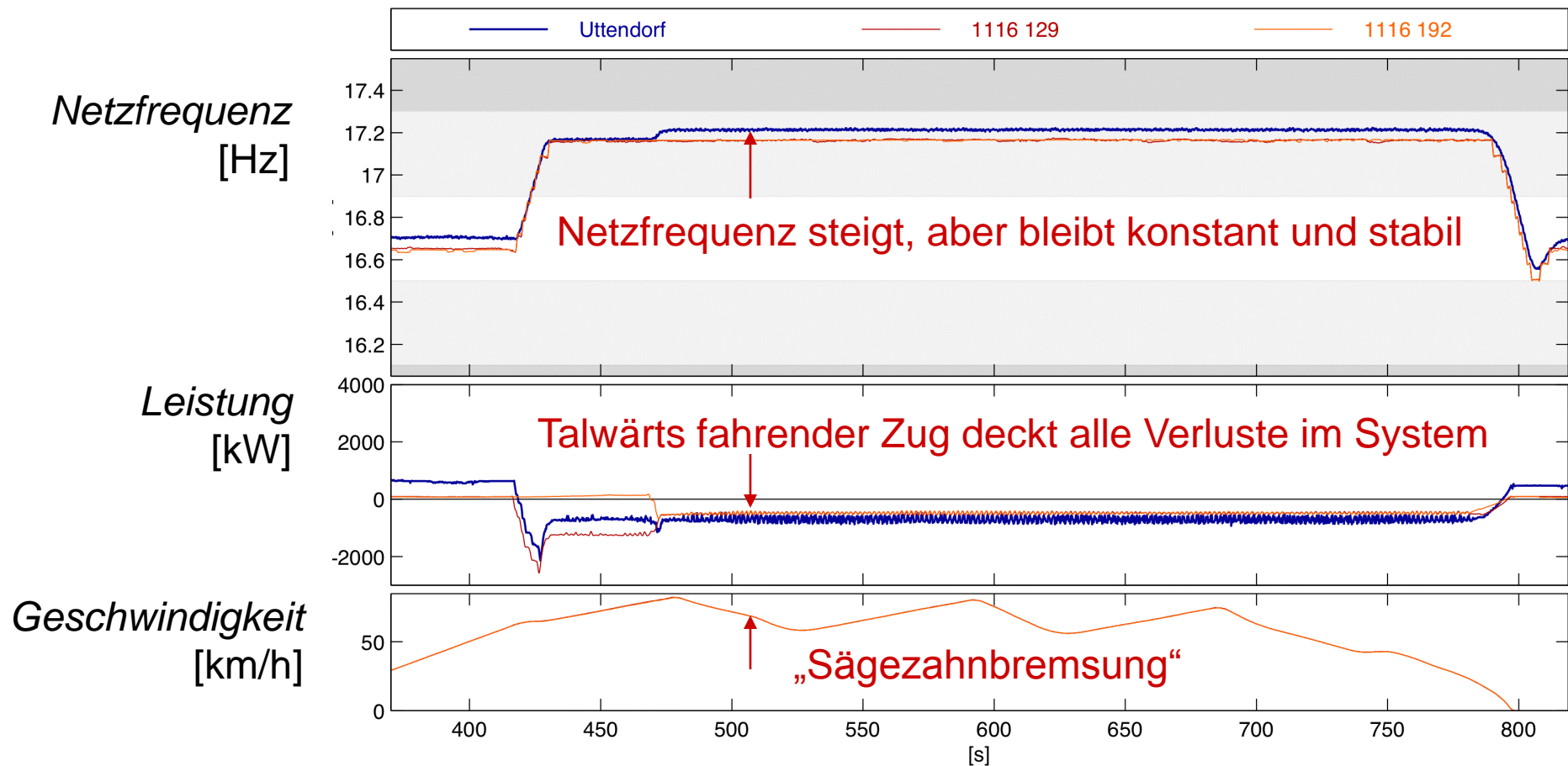
Güterzug mit zwei  
Lokomotiven Rh 1116 „Taurus“



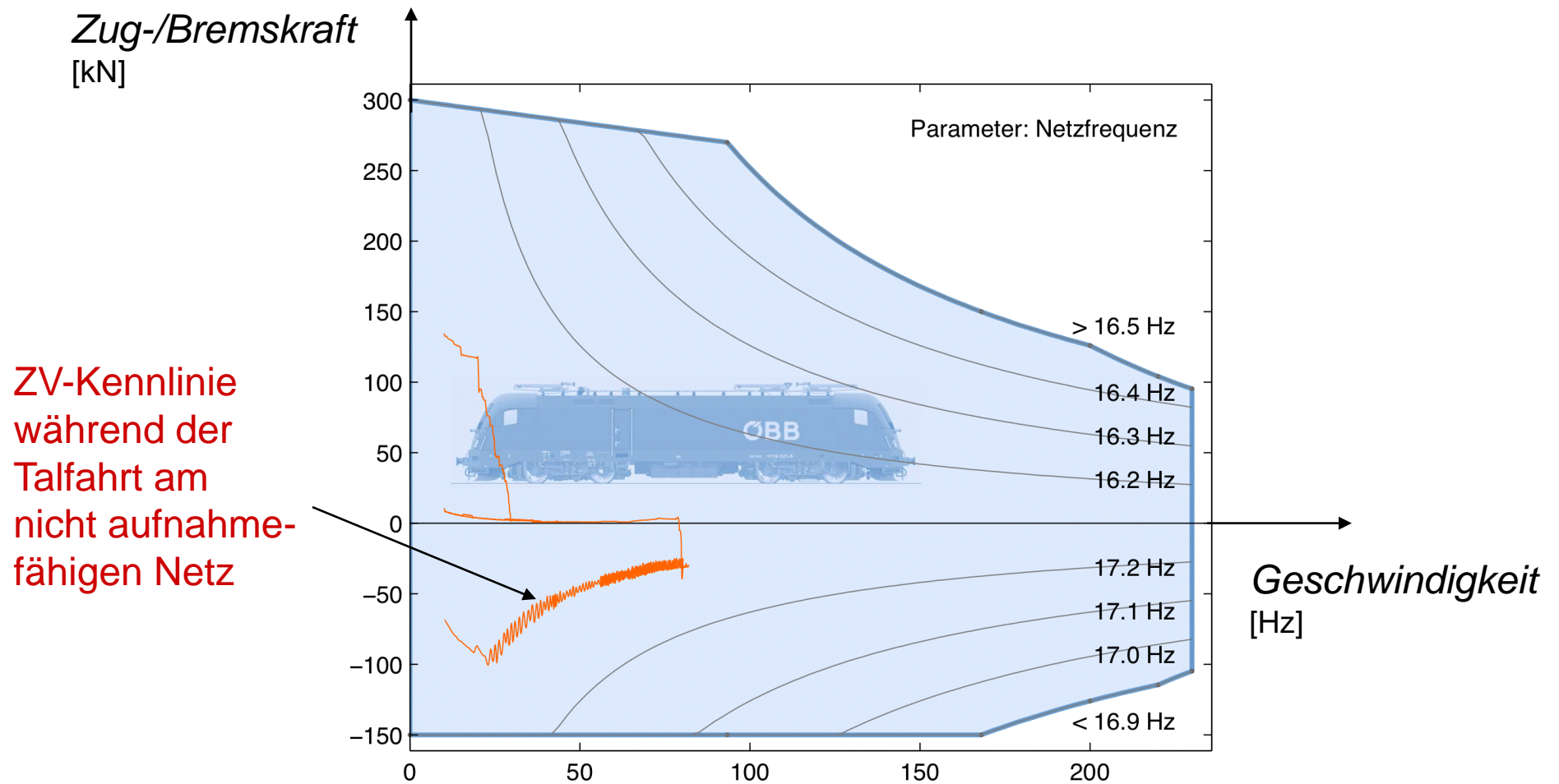


# Verhalten am nicht aufnahmefähigen Netz

Messresultate aus Kitzbühel (Güterzug):

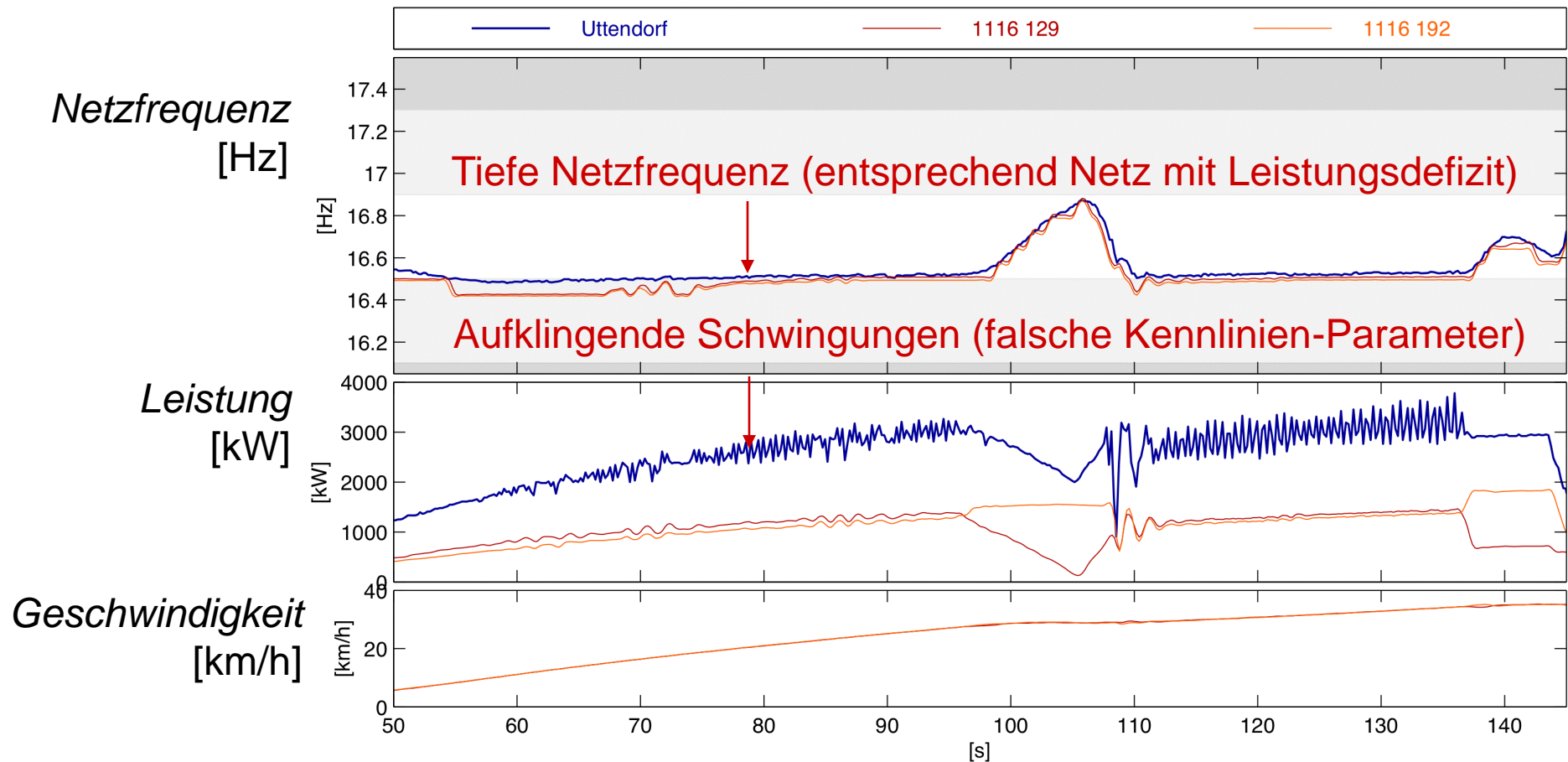


# Zugkraft- / Geschwindigkeits-Kennlinien



# Stabilitätsgrenze

Gezielt herbeigeführte Instabilität (Inselnetz Kitzbühel):





## Erkenntnisse

- Die Begrenzung ist wirksam
- Leistungsbegrenzung wirkt für den Tfz-Führer ähnlich wie schlechte Adhäsion
- Die Stabilitätssituation erlaubt realistischen Betrieb (z.B: drei 6-MW-Lokomotiven an 20 MVA Generatorleistung)
- Das Netz kann sogar betrieben werden, ohne dass das Kraftwerk primärseitig Leistung abgibt oder aufnimmt (natürlich nur solange noch mechanische Energie in den Zügen ist...)
- Anwendbar für alle modernen Umrichter-Triebfahrzeuge

# Von der Idee ...

L 245/280

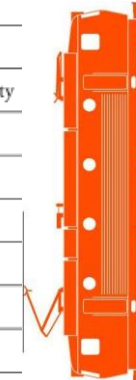
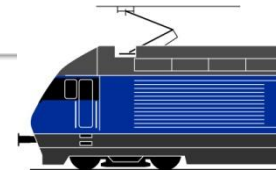
EN

Official Journal of the European Communities

## COMMISSION DECISION

of 30 May 2002

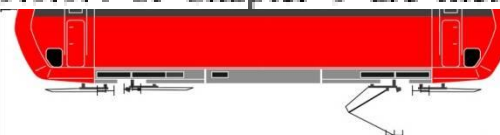
concerning the technical specification for interoperability relating to the energy subsystem of the trans-European high-speed rail network (1)



Voltage and frequency	4.1.1
Installed power, mean useful voltage	4.3.1.1
Harmonic currents	4.2.2.3
Electrical protection	2.2.8
External electromagnetic compatibility	3.1.5
Protection against electric shock	3.1.8, 4.3.2.4
Isolation of power supply	3.1.10
Continuation of power supply	3.1.11
Regenerative braking	3.1.4
Geometry of overhead contact line	1.2.1, 4.1.2.2, 5.3.1.3
Dynamic envelope	2.2.4
Phase separation sections	4.2.2.10
System separation sections	4.2.2.11
Current capacity	5.3.1.2, 5.3.2.3, 5.3.3.3
Wave propagation speed	5.3.1.4
Elasticity and its uniformity	5.3.1.5
Mean contact force	
Safety, earthing and	3.2.2
Dynamic behaviour	
Design of pantogra	
Design of collector	
Contact forces	

In order to ensure that the requirements set out in points 4.1.1, 4.1.2, 4.2.2.1, 4.2.2.2, 4.2.2.8, 4.2.2.9, 4.2.2.10, 4.2.2.11, 4.2.2.12, 4.3.1.1, 4.3.1.3, 4.3.1.4, Chapter 4 are met and the interoperability constituents used comply with the requirements of points 5.3.1.2, 5.3.1.3, 5.3.1.4, 5.3.1.5, 5.3.1.6, 5.3.1.8, 5.3.2.2, 5.3.2.9, 5.3.3.1, 5.3.3.2, 5.3.3.3 and 5.3.3.4 of Chapter 5 are met.

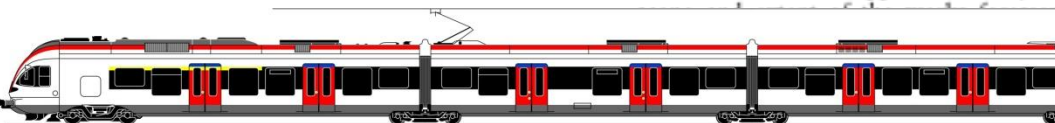
Having regard to Council Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail network (1), and in particular Article 6(1) thereof,



Whereas:

to which the TSI is applied will vary according to the type of train

(1) In accordance with the trans-European high-speed rail network



## ... zur Umsetzung

Aktueller Zustand:

- Einführung bei „Taurus“ und „Talent“ angelaufen
- Kriterium aufgenommen in den Anforderungskatalog an die Triebfahrzeuge für Zulassung im Netz der ÖBB (Neufahrzeuge)
- Noch offen: Anpassung der neueren Bestandsfahrzeuge, insbesondere von EVUs im freien Netzzugang
- Die SBB wollen die Anforderung identisch übernehmen
- Die DB AG zeigt Interesse

## Folgerungen

- Die Zuverlässigkeit des Bahnsystems lässt sich oft durch einfache Massnahmen steigern
- Dazu kann eine gemeinsame Betrachtung Infrastruktur – Fahrzeuge notwendig sein
- Die Einführung einer Softwareänderung kann administrativ viel aufwendiger sein als die Änderung selbst
- ... das soll uns nicht von der Weiterentwicklung des Systems abhalten !

# Infrastruktur und Fahrzeuge bleiben ein System !

