

*emkamatik*

---

# **Elektrische Interaktion Fahrzeuge – Infrastruktur**

## **Eine aktuelle Übersicht**

Markus Meyer

© 2014 *emkamatik* GmbH

42. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“, Graz, 9.9.2014

---

# Inhalt

*emkamatik*

---

- 1** Einführung
- 2** Phänomene der elektrischen Interaktion
- 3** Herausforderungen

# Inhalt

*emkamatik*

---

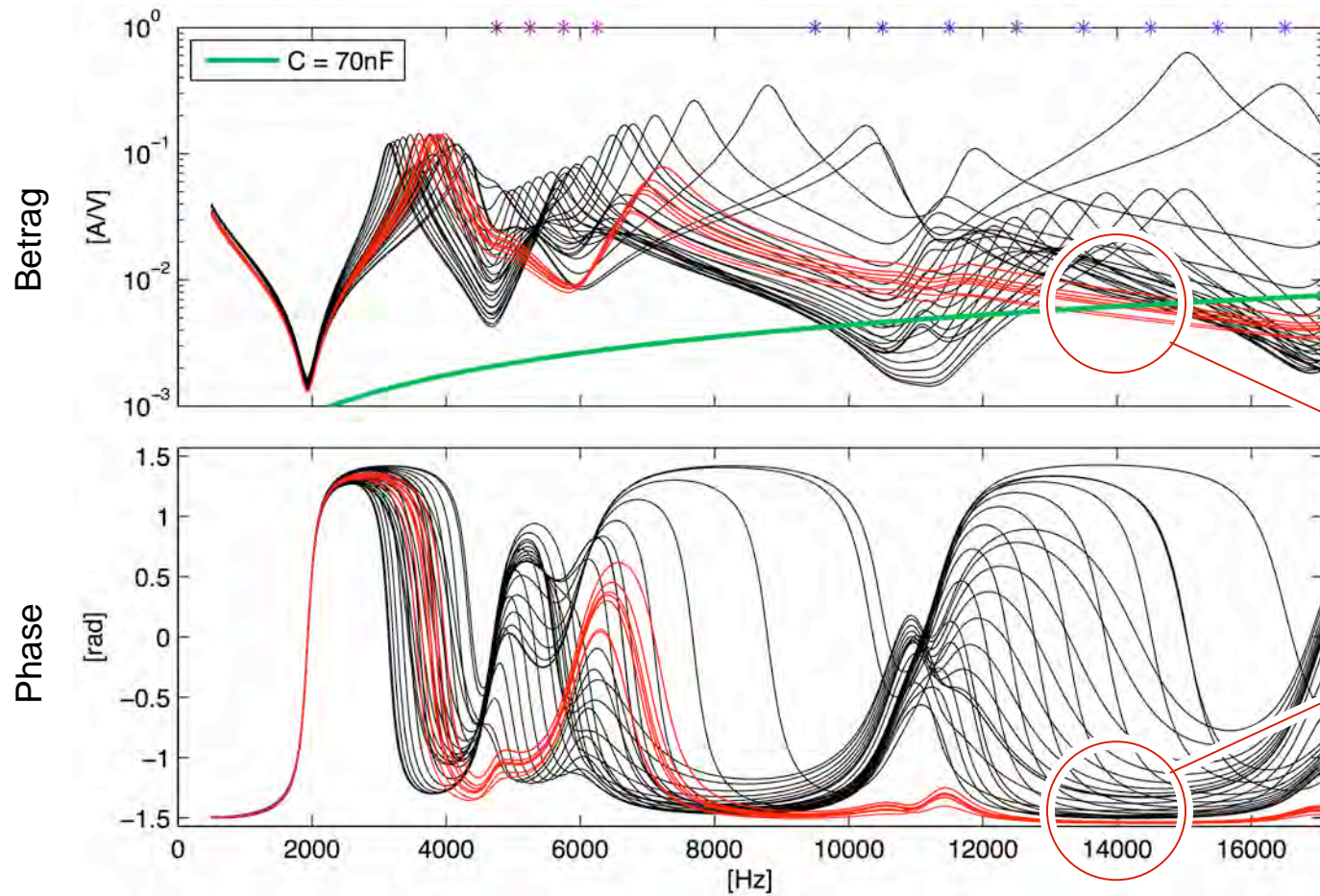
- 1 Einführung**
- 2 Phänomene der elektrischen Interaktion
- 3 Herausforderungen



# ... und elektrische Interaktion

emkamatik

Weniger bekannt, doch ebenfalls wichtig im Bahnsystem



Beispiel:  
Spezielle Resonanzsituation im Bahnstromnetz

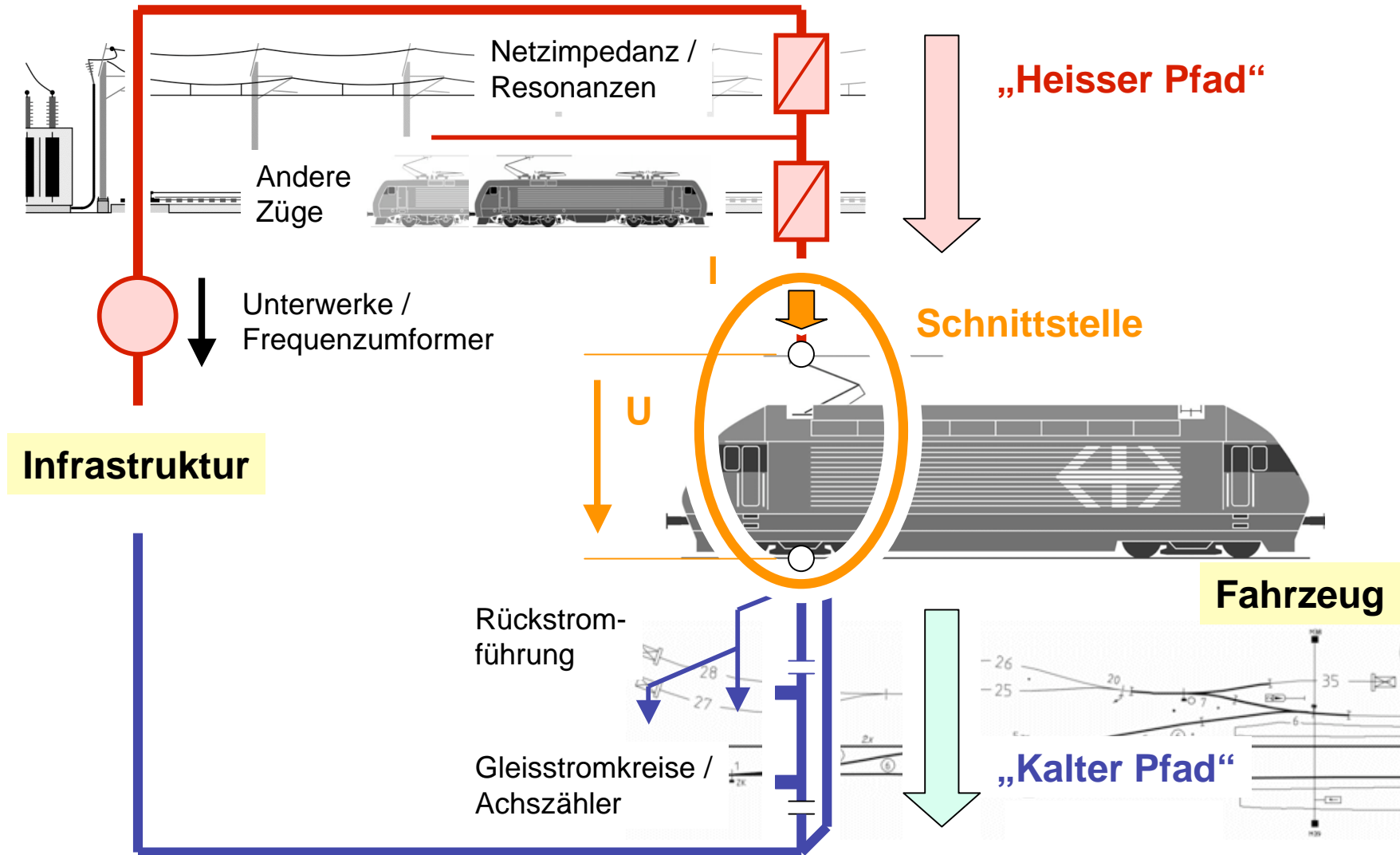
Zusammenfallen von Netzimpedanz und Fahrzeug-Kabelimpedanz

Lokal sehr geringe Dämpfung

Quelle: emkamatik / EU-Projekt EUREMCO

# Elektrisches System

emkamatik

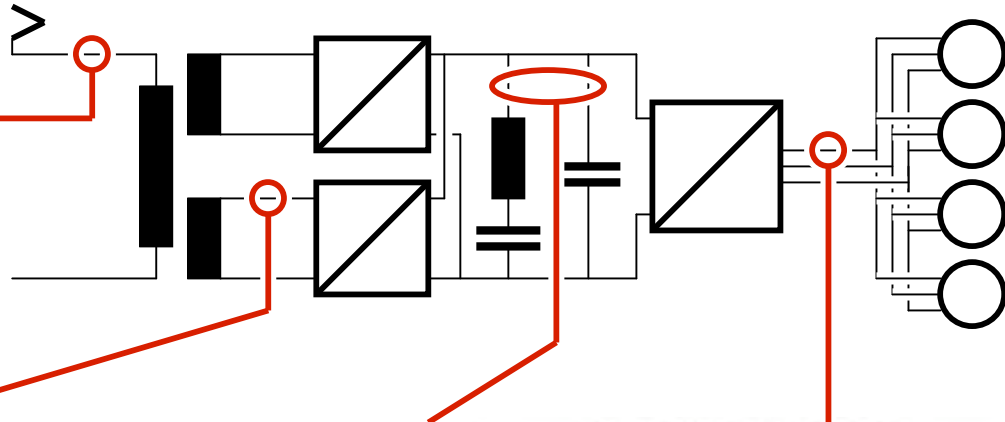
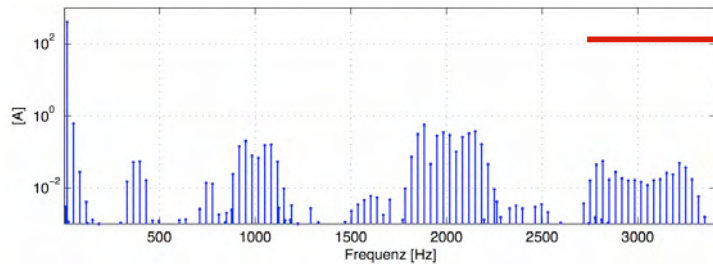


# Erzeugung von Störströmen

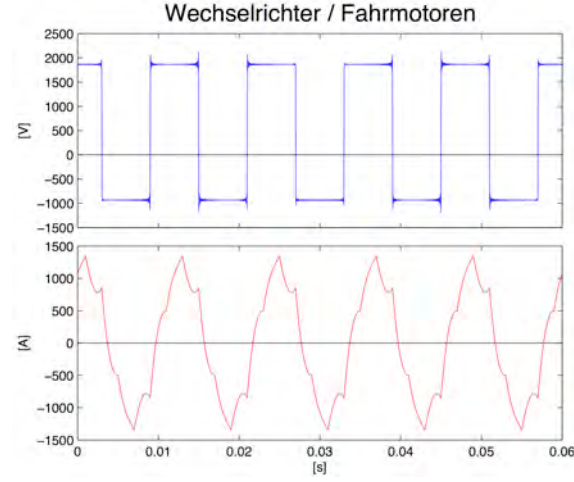
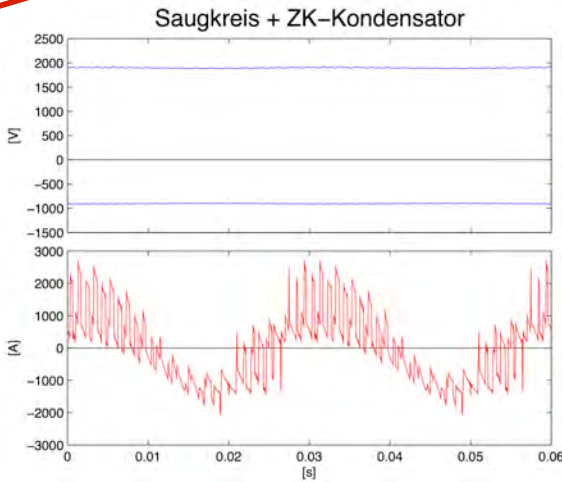
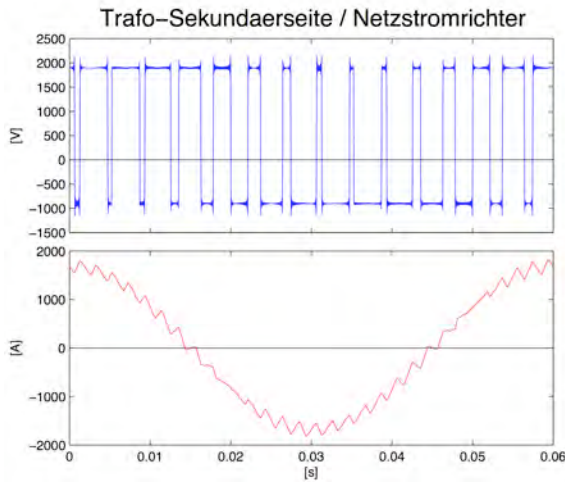
emkamatik

Bei Umrichterantrieben ist die Erzeugung höherer Frequenzen systembedingt

Primärstrom-Spektrum



Interne Spannungen und Ströme

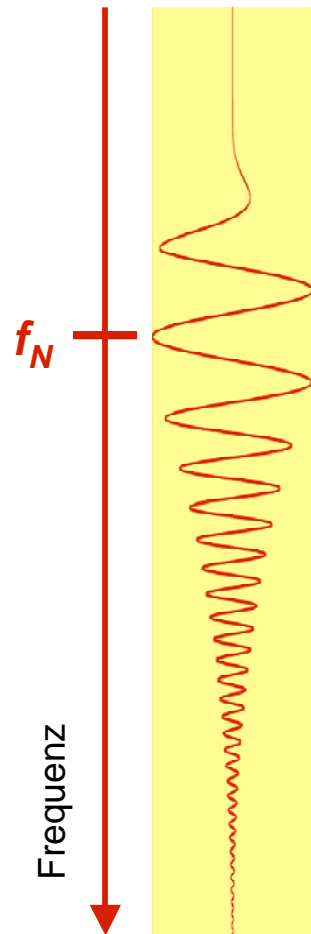


Hinweis: Die „Überschwinger“ in den Spannungsverläufen kommen von im Frequenzbereich bandbegrenzt gerechneten Signalen

# Phänomene

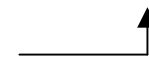
emkamatik

Die wichtigsten Phänomene der Elektrischen Systemkompatibilität:



- Gleichströme in Wechselstromnetzen EN 50122-3
- Tieffrequente Schwingungen EN 50388-2
- Leistungsbegrenzung EN 50388-1
- Wirk- und Blindleistungsregelung EN 50388-1
- Instabilitäten durch Resonanzanregung EN 50388-2
- Überspannungen durch Harmonische EN 50388-2
- Beeinflussung von Gleisfreimeldeanlagen EN 50238
- Elektromagnetische Felder EN 50121

Massgebende Euronorm  
EN 50388-2: in Ausarbeitung





# Bedeutung der Elektrischen Systemkompatibilität

*emkamatik*

---

Die Fragen betreffen

- Infrastruktur
- Fahrzeuge
- Betrieb

und sind mitbestimmend für

- Sicherheit
- Zuverlässigkeit

im Bahnsystem.

Aufgrund des Funktionsprinzips der leistungselektronischen Antriebe können die Phänomene nicht ignoriert werden. Man kann nur

- intelligenter
- oder weniger schlau

damit umgehen. Die realen Verhältnisse müssen dabei berücksichtigt sein.

# Störstrommessfahrten

*emkamatik*

---



Railjet-Taurus mit Messzug zwischen Giubiasco und Luino (September 2010)

Foto: Markus Meyer

# Inhalt

*emkamatik*

---

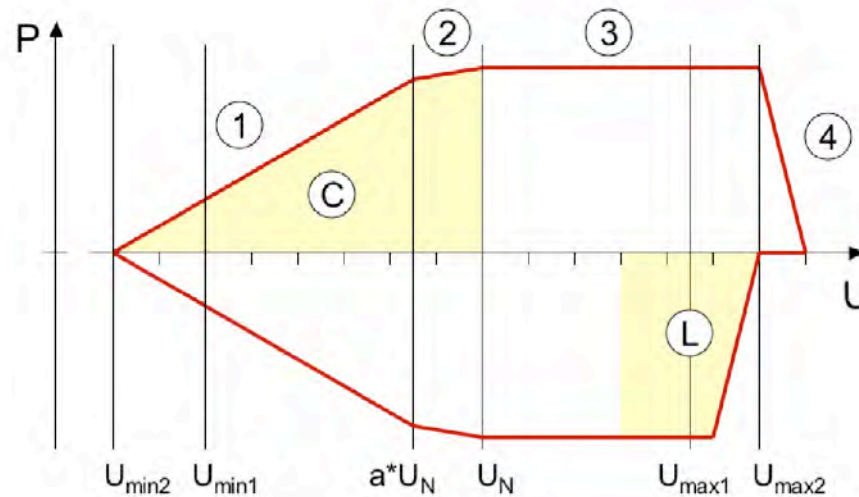
- 1 Einführung
- 2 Phänomene der elektrischen Interaktion**
- 3 Herausforderungen

# Leistungsbegrenzung

emkamatik

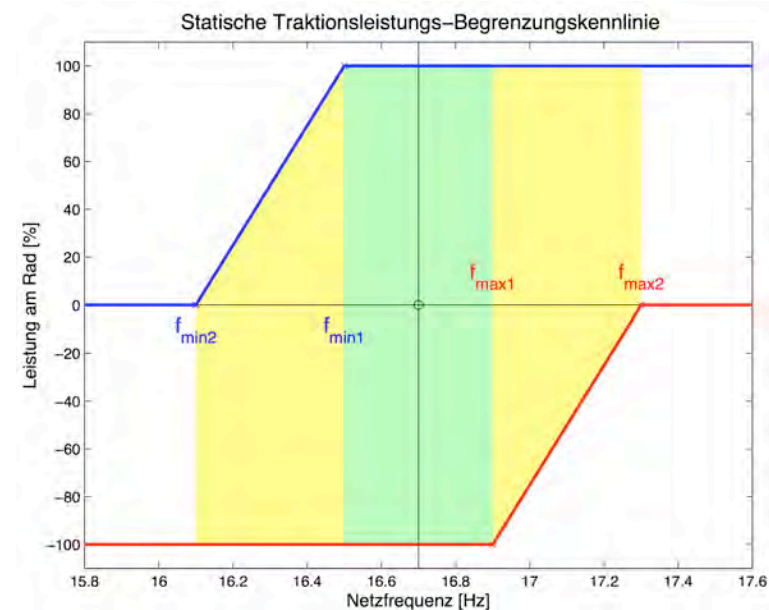
Leistungsbegrenzung in Funktion der

## Fahrleitungsspannung



- für alle Netze eindeutig definiert
- einfach zu verstehen
- dynamisch korrekt zu programmieren

## Netzfrequenz



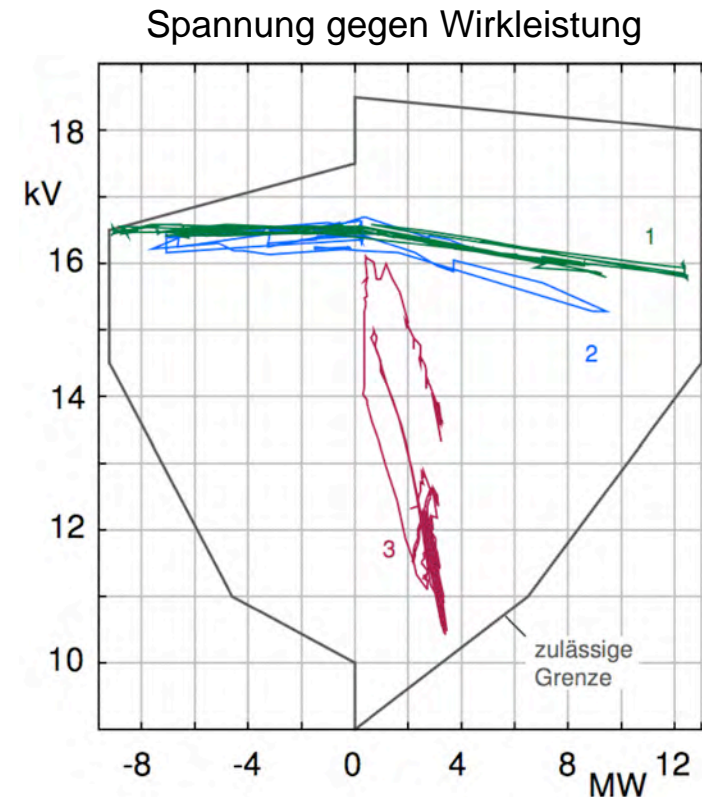
- heute nur für die 16.7-Hz-Netze
- künftig evtl. auch für 50-Hz-Netze
- dynamisch weitgehend unkritisch

# Leistungsfaktor $\lambda$

emkamatik

In AC-Netzen lässt sich die Fahrleitungsspannung am Ort des Zuges durch den Bezug von Blindleistung beeinflussen:

- Durch die Normen vorgeschrieben:
  - $\lambda \geq 0.95$  momentan bei  $P \geq 2$  MW
  - $\lambda \geq 0.85$  über ein Lastspiel
- Ausnahme:
  - Nutzung von Blindleistung zur Begrenzung der Spannung beim elektrischen Bremsen (hohe Ausnützung der Bremse auch in schwachen Netzen)



Beispiel: Messungen auf der Erzbahn Narvik – Kiruna – Luleå



# Einstellfahrten für die Blindleistungsregelung

*emkamatik*

---



IORE-Lokomotiven bei Testfahrten zwischen Kiruna und Svappavara (Nov. 2000) Foto: Markus Meyer

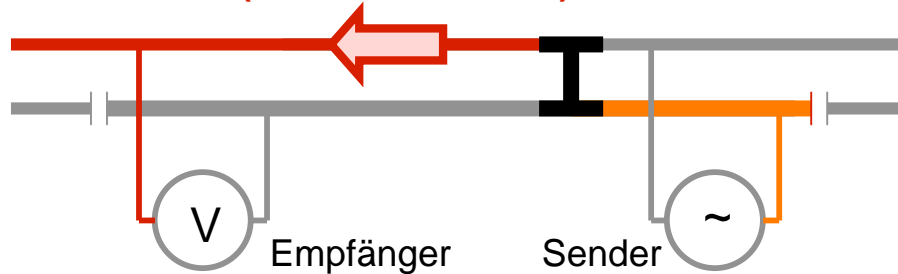
# Beeinflussung der Gleisfreimeldung

emkamatik

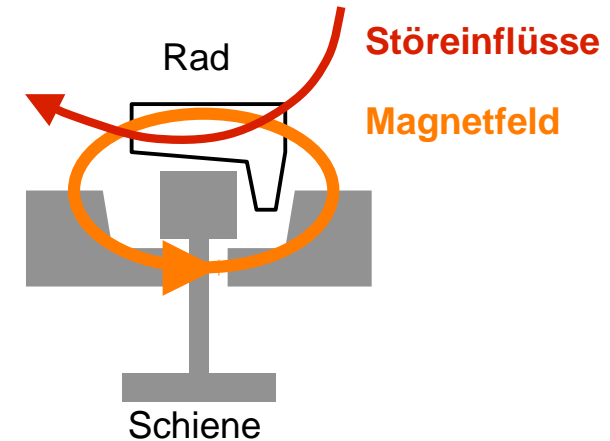
Es gibt heute nur zwei bedeutsame Arten der Gleisfreimeldung:

## Gleisstromkreise

Störeinfluss (durch Rückstrom)



## Achszähler



- beeinflussbar durch Störströme (Traktionsrückstrom)
- geleitete Störungen
- zum Teil weiträumig (Einfluss Bahnstromversorgung)

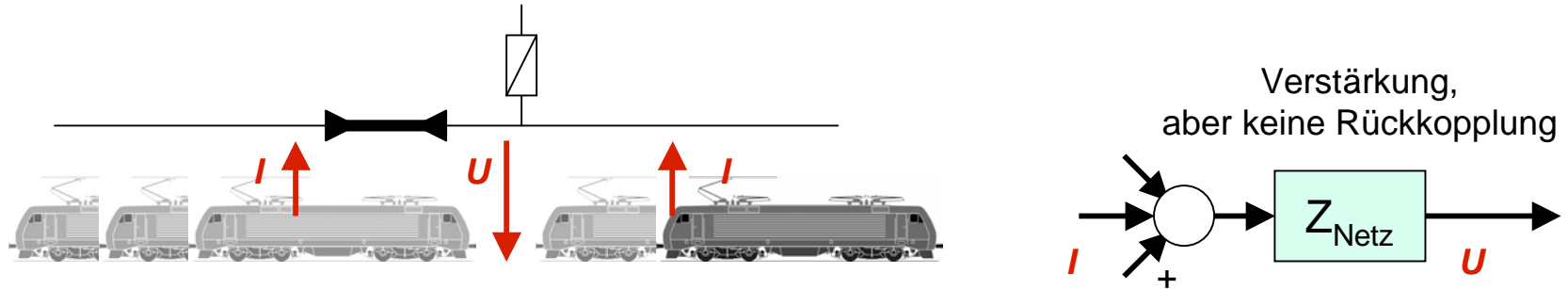
- beeinflussbar durch Streufelder (Trafo, Fahrmotoren, Filter)
- abgestrahlte Felder
- lokal, aber dreidimensional

# Harmonische auf der Fahrleitungsspannung

emkamatik

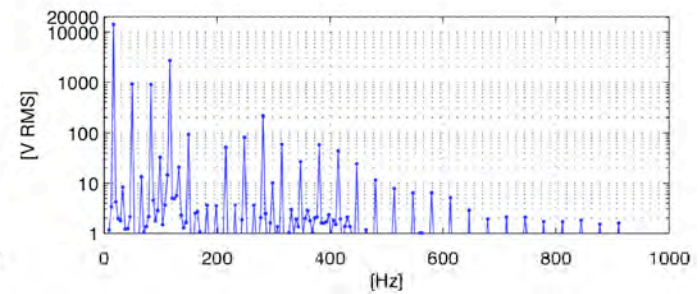
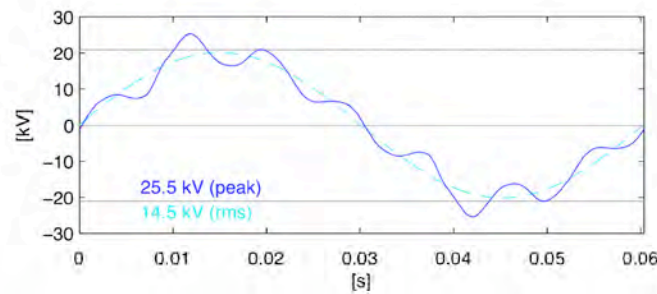
Störströme können an Netzresonanzen verstärkt werden:

- Gefahr von Überspannungen
- Erhöhte Störbeeinflussung von Gleisstromkreisen im Tonfrequenzbereich
- Verkopplung der Störeinflüsse mehrerer Fahrzeuge über das Bahnstromnetz



Beispiel: Dioden-Gleichrichterlok in einem Inselnetz Lötschberg-Basistunnel

Fahrleitungsspannung stationär

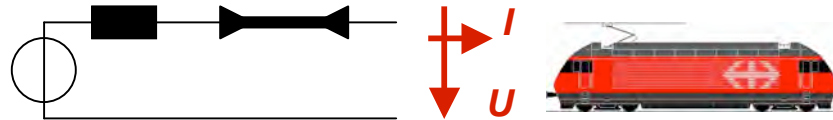




# Resonanzstabilität

emkamatik

Anregung von Netzresonanzen zu Instabilitäten:

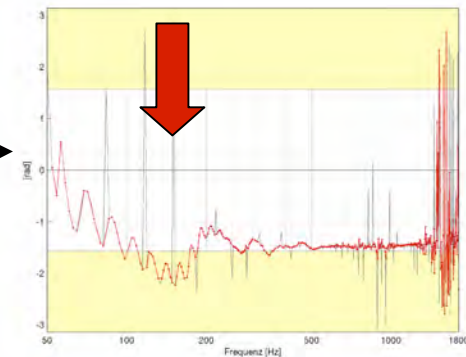
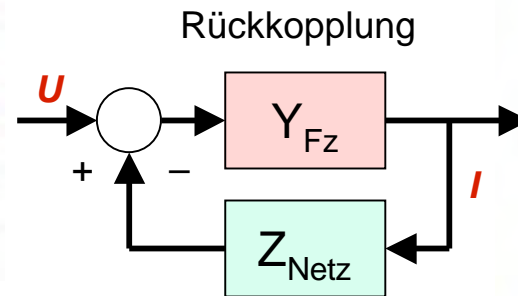
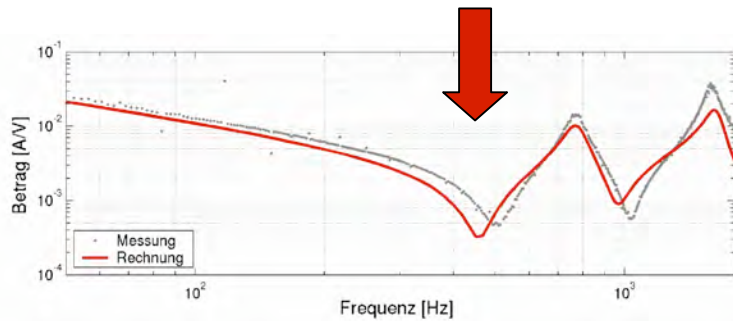


## Netzresonanz

z.B. elektrische Schwingung zwischen Generatoren und Kabel-Kapazitäten

## Anregendes Fahrzeug

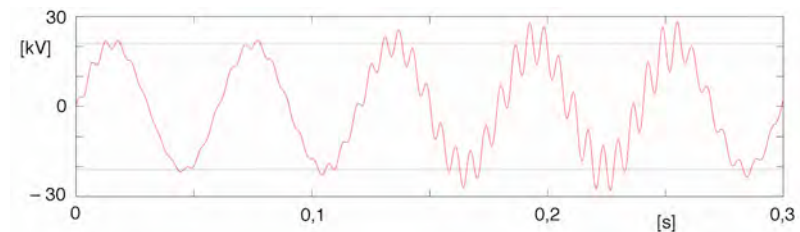
wirkt bei einigen Frequenzen wie ein negativer ohmscher Widerstand



## Gefahr

- aufklingende Resonanzschwingung
- Überspannungen
- Betriebsstörungen, evtl. Schäden

Beispiel: aufklingende Schwingung (Messung)



# Netz-Frequenzgangmessungen

*emkamatik*

---



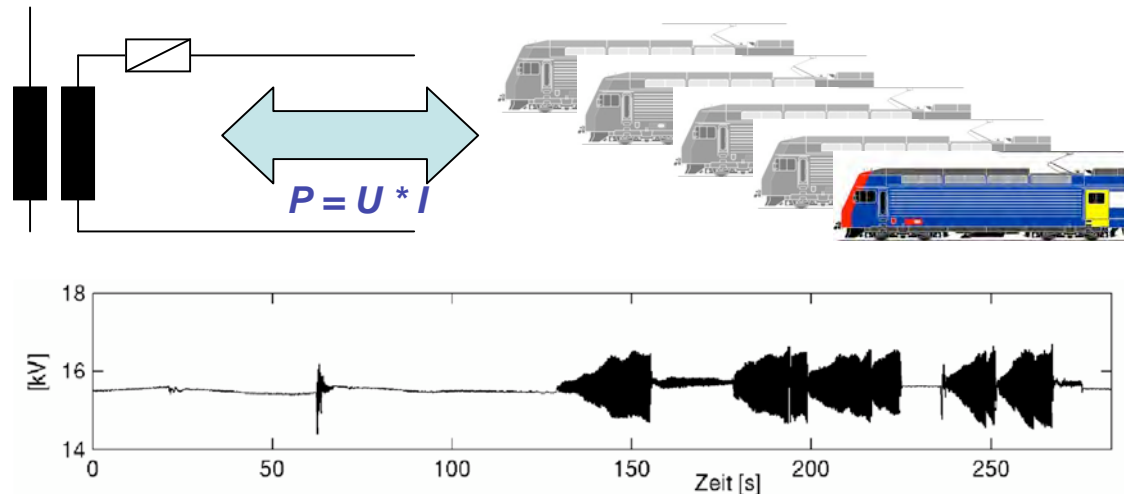
SBB-Flirt als Messzug auf der Hochgeschwindigkeitslinie HSL Zuid (Oktober 2006)

Foto: Rolf Suter

# Tieffrequente Reglerstabilität

emkamatik

Bei ungünstiger Kombination von Parametern der Bahnstromversorgung und der Regler auf Fahrzeugen:



Beispiel: starke Spannungsschwingung in einem Inselnetz mit 4 Loks

- Leistungspendelungen, Spannungsschwankungen, „Schütteln“
- oftmals sind viele Triebfahrzeuge gleichzeitig involviert
- typisch bei Frequenzen von 1 ... 8 Hz
- nichtlinear, da Produkt aus U mal I betroffen
- Kriterien erst in Ausarbeitung

# Stabilitätsnachweise

*emkamatik*

---



NSB-Flirt bei Inselnetz-Versuchen in Haugastøl (Dezember 2011)

Foto: Markus Meyer

# Inhalt

*emkamatik*

---

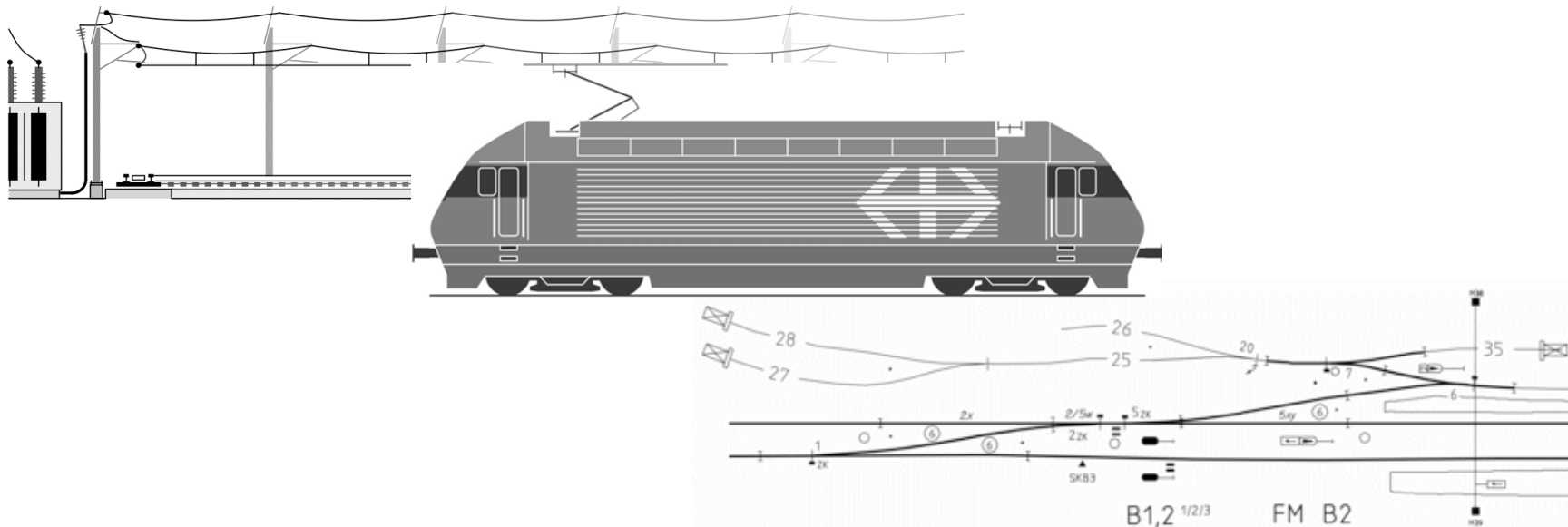
- 1** Einführung
- 2** Phänomene der elektrischen Interaktion
- 3** **Herausforderungen**



# Aufgaben für die Zukunft

emkamatik

- Schaffung eines konsistenten „Zielsystems“ aus
  - Bahnstromversorgung
  - Triebfahrzeuge
  - Gleisfreimeldeanlagen
- Umgang mit den langlebigen bestehenden Anlagen
- Sinnvolle Handhabung der Normen und Nachweise




# Störstromlimiten für 16.7-Hz-Bahnen ...

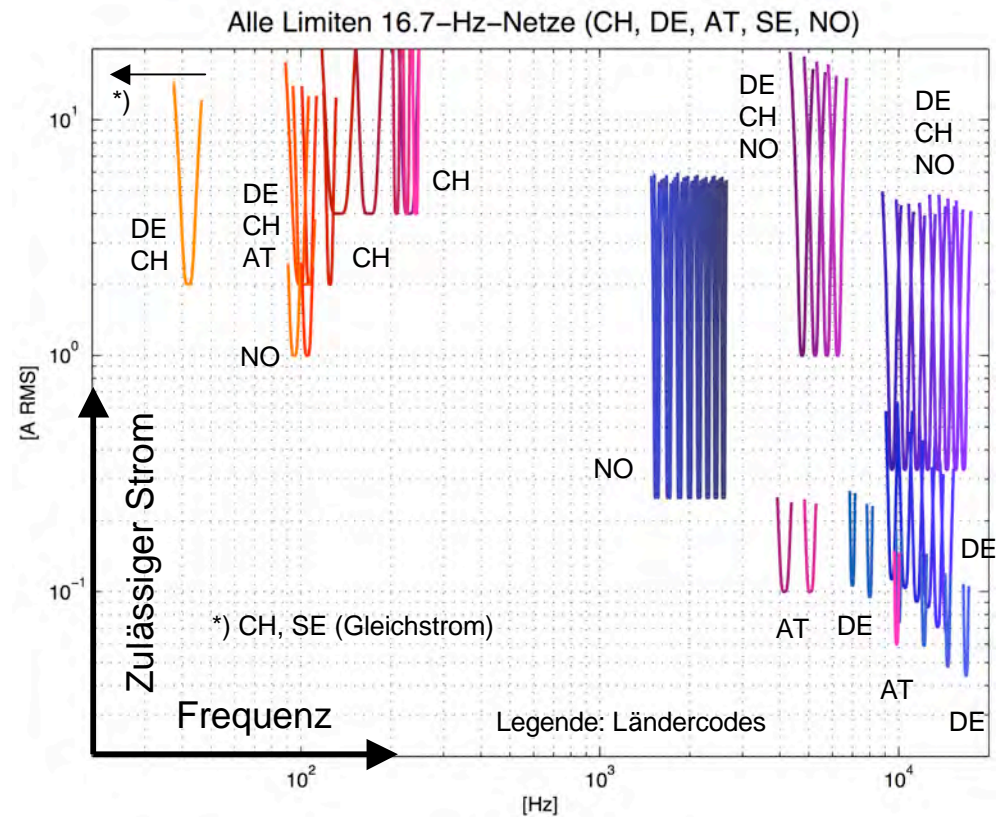
emkamatik

Die heute in den 5 Ländern gültigen 58 unterschiedlichen Einzel-Limiten sind

- historisch bedingt und nicht koordiniert
- oft nicht für alle Länder mit einer einzigen Fahrzeugsoftware erfüllbar



	DC	Niederfrequent	Tonfrequent
NO		2	28
SE	1		
DE		2	24
CH	1	11	12
AT		2	3
Untersch. Limiten	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>43</b>

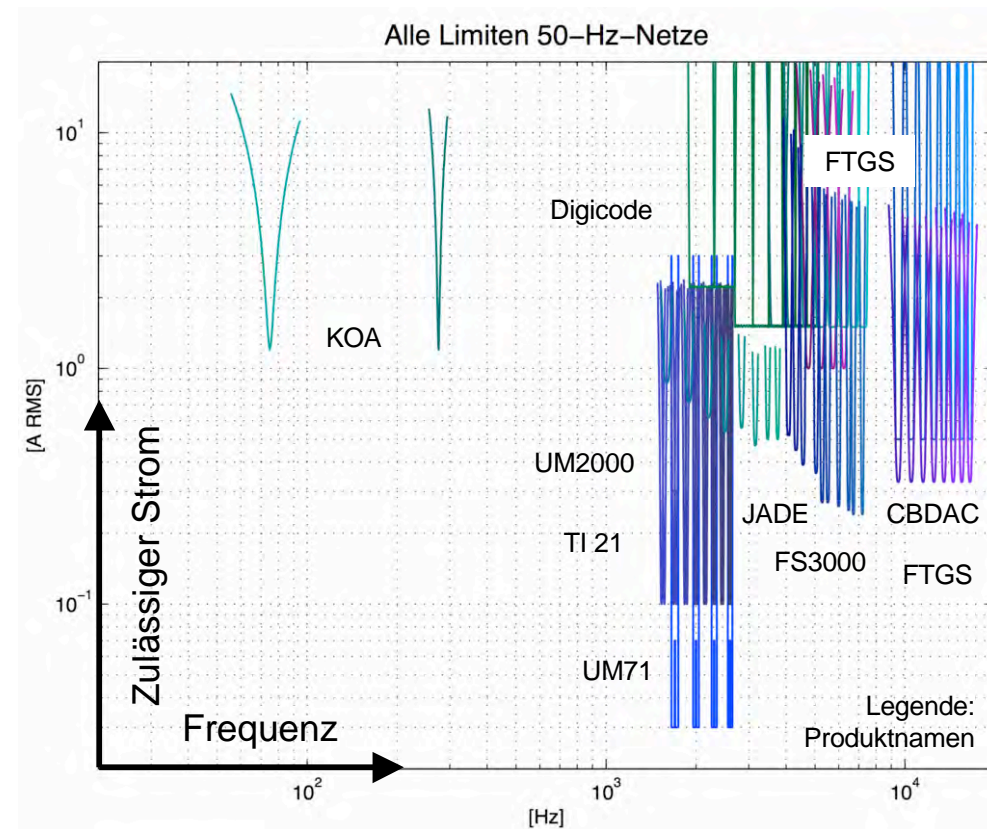


## ... und für 50-Hz-Bahnen

emkamatik

Die gleiche Art der Darstellung, aber unvollständig:

- hier nur die Einzel-Limiten von 80 (vorwiegend „bevorzugten“) Typen
- nur wenige davon mit identischen Frequenzen wie in den 16.7-Hz-Ländern

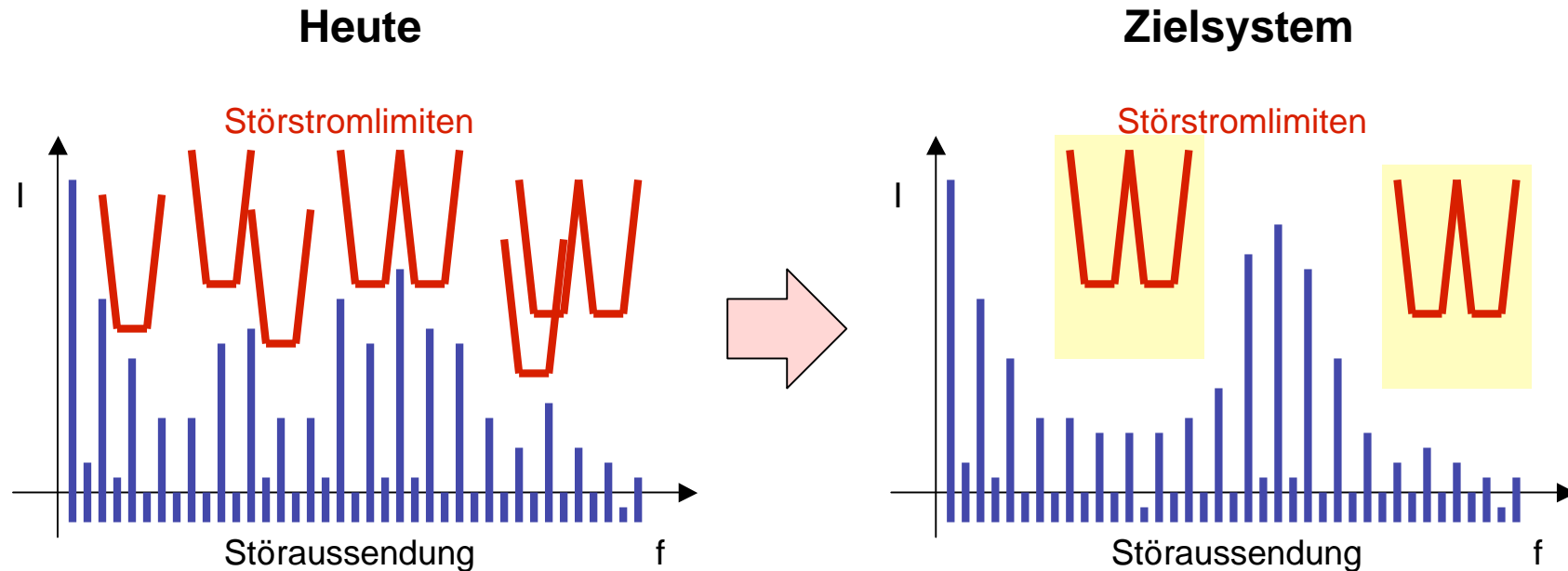




# Frequenzmanagement

emkamatik

Das Prinzip eines Frequenzmanagements wäre eigentlich einfach ...



- ein „Durcheinander“
- oft Zusatzaufwand auf Fahrzeugen
- aufwendige Nachweise

- Entflechtung Emission – GSK
- Reserve für Resonanzverstärkung
- nur ein Nachweis pro Stromsystem

# Langlebigkeit der Anlagen

emkamatik

Anzahl der heute installierten Gleisstromkreise:



Niederfrequent		Tonfrequent	
Uncodiert	Codiert	Uncodiert	Codiert
0, 42, 50, 100, 106.7, 125 Hz	137 ... 242 Hz	9.5 ... 16.8 kHz	4.75 ... 6.25, 9.5 ... 16.5 kHz
	„UGSK“	„GLS“	„FTGS“

## Deutschland

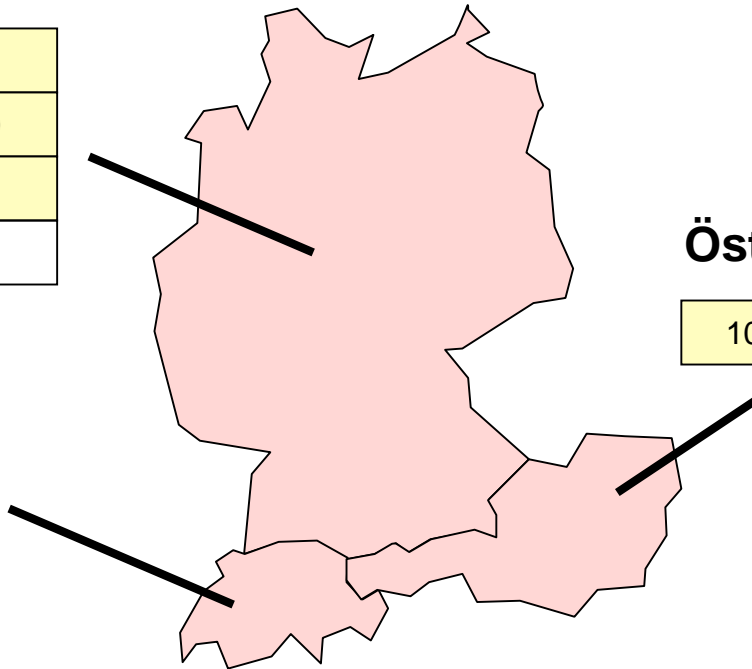
42, 50 Hz	5'200
100 Hz	49'000
GLS	2'500
FTGS	4'500

## Schweiz

0 Hz	10'350
42, 106.7, 125 Hz	7'300
UGSK	5'700
FTGS	140

## Österreich

100, 106.7 Hz	12'500
---------------	--------



# Eigenschaften der Netze und Fahrzeuge

emkamatik

Störstrommessung ?



Bis heute finden Störstrommessungen bei grenzüberschreitend eingesetzten Triebfahrzeugen in jedem Land einmal statt:

- teilweise andere Ergebnisse
- oft aber sehr ähnlich

## Ziel:

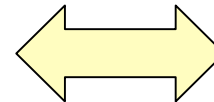
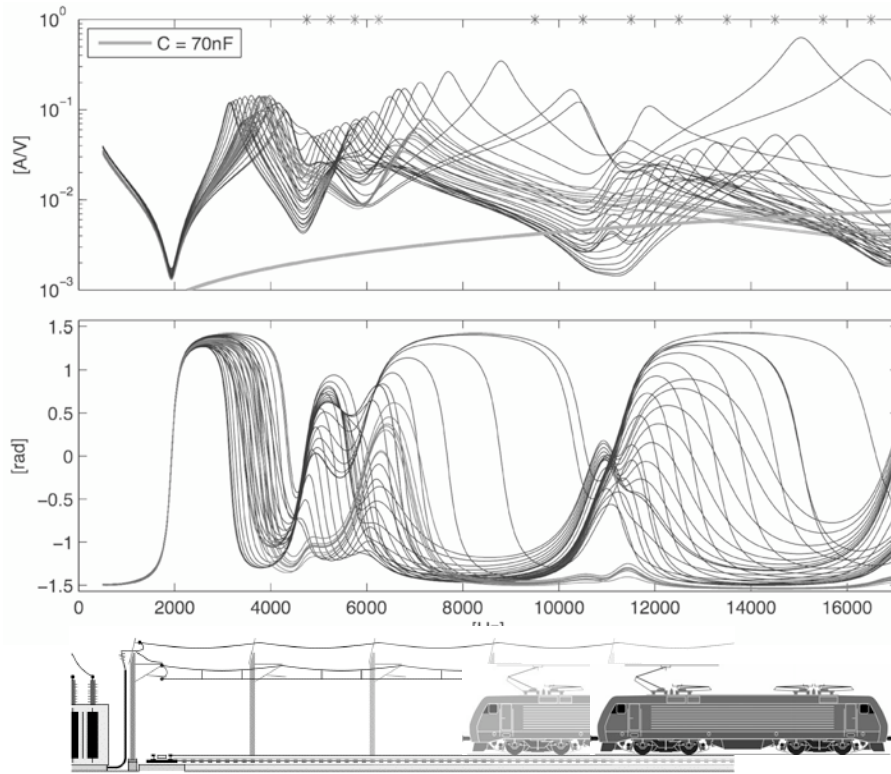
Zulassungsmessungen nur noch pro Speisesystem einmal

# „Cross Acceptance“

emkamatik

Dazu ist es nötig, Regeln für die messtechnischen Nachweise zu erstellen:

- korrektes Abbild der realen Verhältnisse
- praktikabel mit vertretbarem Aufwand
- eindeutig und „juristisch unanfechtbar“



§ § § § § § § §

# Verkabelung – Resonanzproblematik

emkamatik

Abgestimmte Anforderungen an

## Bahnstromversorgung

- Tiefste zulässige Resonanzfrequenz neu 90 Hz
- Ermöglichung einiger weiterer Kabel im 132-kV-Netz  
(Forderungen Landschaftsschutz)

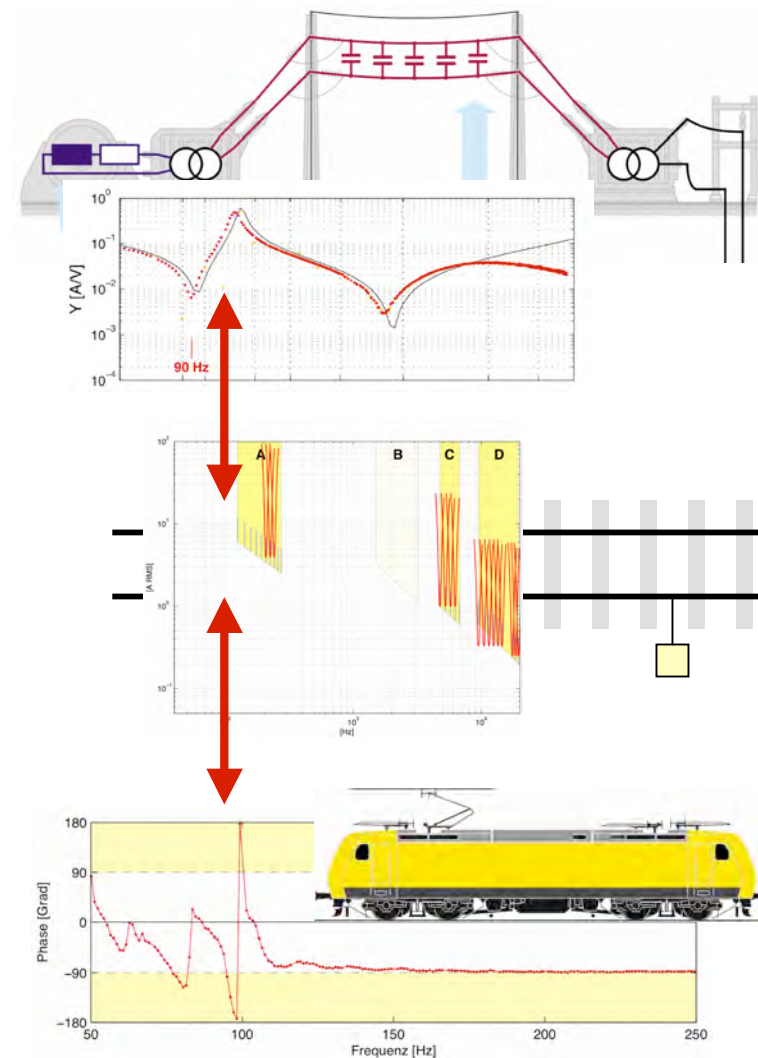
## Gleisstromkreise

- Zulässige Arbeitsfrequenzen
- Ersatz oder Umstellung aller 100-Hz-Gleisstromkreise  
(Einhaltung der Grenzwerte ohne Antiregelung auf Triebfahrzeugen)

## Fahrzeuge

- Frequenzgang / Passivität
- Deaktivierung 100-Hz-Antiregelung / neue Grenzfrequenz 90 Hz  
(keine aktive Resonanzanregung bei 100 Hz)

Beispiel: 100 Hz im Netz der SBB



# Zusammenarbeit in Europa

*emkamatik*

---



Re 482 von SBB Cargo und Messwagen der DB Systemtechnik (August 2014)

Foto: Markus Meyer



# Dank

emkamatik

---

Fragen der elektrischen Systemkompatibilität können nicht durch eine Firma allein, sondern nur durch die verschiedensten Beteiligten gemeinsam behandelt werden. Wir danken für die gute Zusammenarbeit

- in kommerziellen Projekten



- in EU-Forschungsprojekten



- bei der Ausarbeitung von Normen



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit !

*emkamatik*

---



Bergfrühling im Berner Oberland

Foto: Markus Meyer