

# ORCA - Systemmanagement

## KRI – Key Reliability Indikatoren

Hamburg, April 2025

Michael Fette

**Fette**  
Competence in Energy

New Grid Codes are demanding for assets and grids – and create new business opportunities

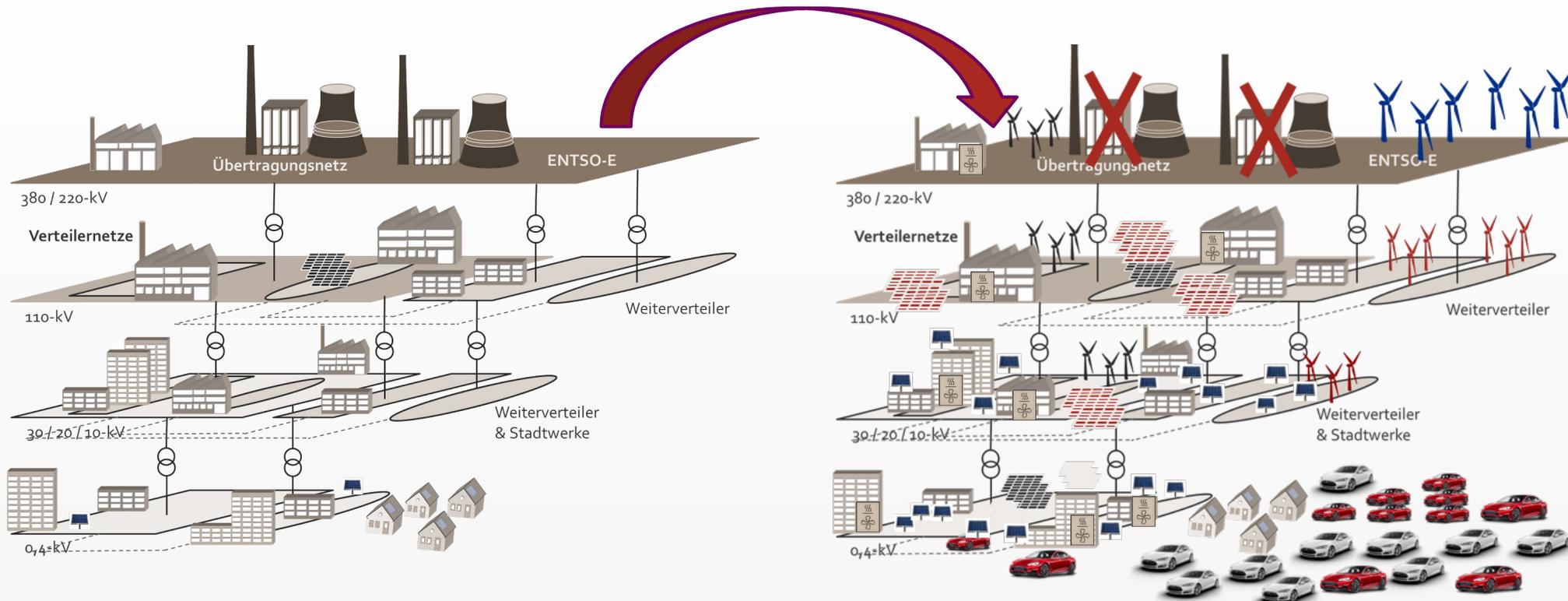
Hamburg, April 2025

2

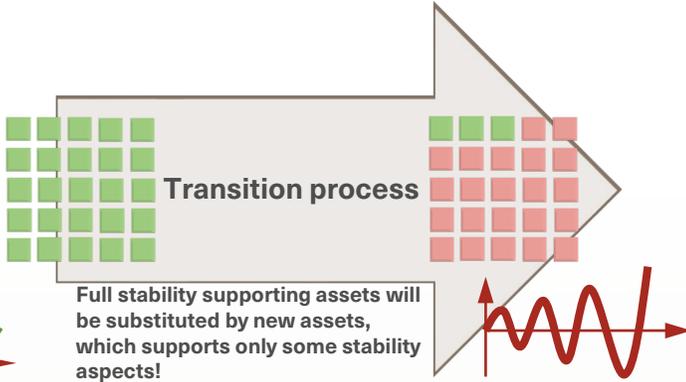
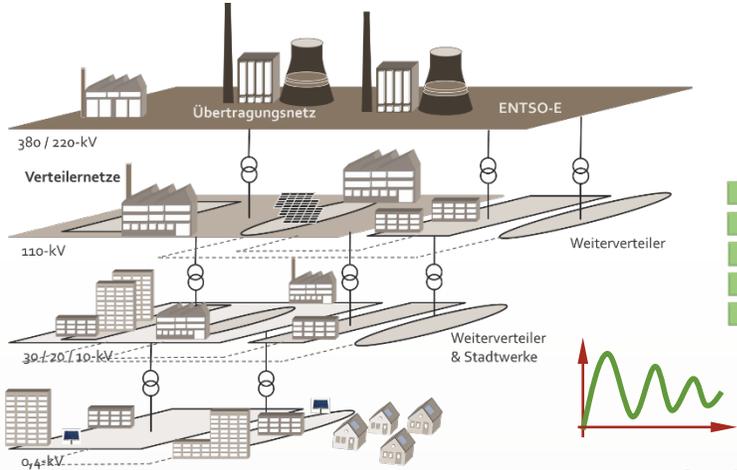
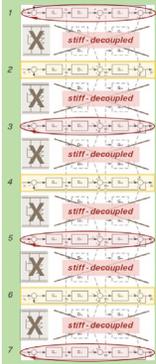
Michael Fette

Digital Nonlinear Power Systems

# Fundamental changes in future system require transition with clear vision and new solutions

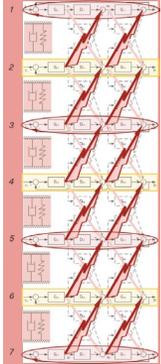
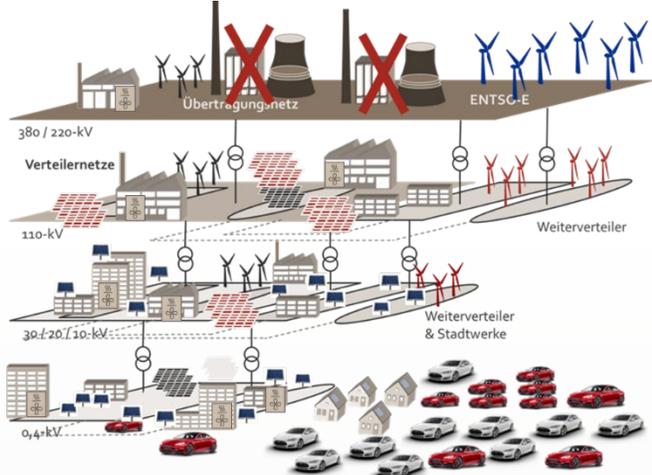


From passive participation to active contributions - at all levels

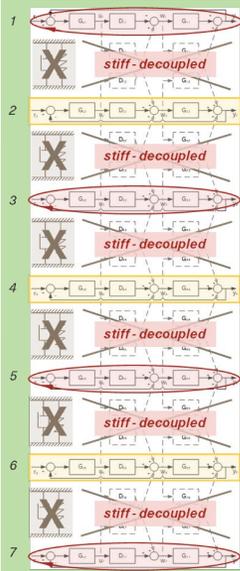


Full stability supporting assets will be substituted by new assets, which supports only some stability aspects!

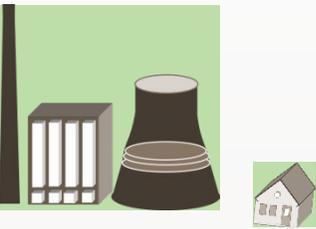
**A substitution of „power blocks“ is not the solution!  
The system can not be operated by this!**



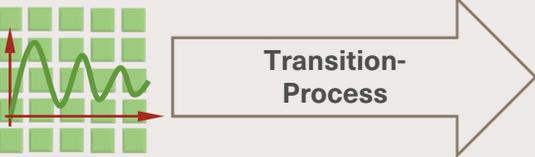
(⊙) It will be an abrupt „non-smooth“ transition



Dynamically ~~decoupled~~ system levels

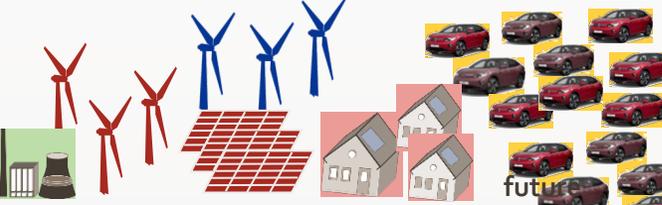


history

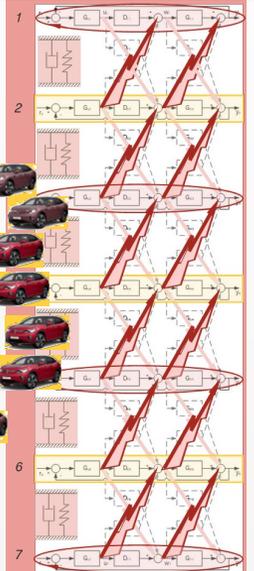
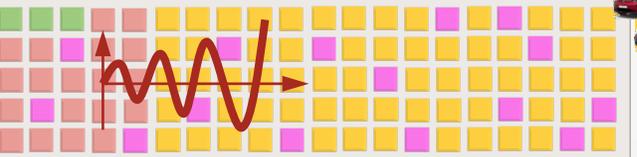


Dynamically ~~decoupled~~ system levels

+ Grid forming technologies

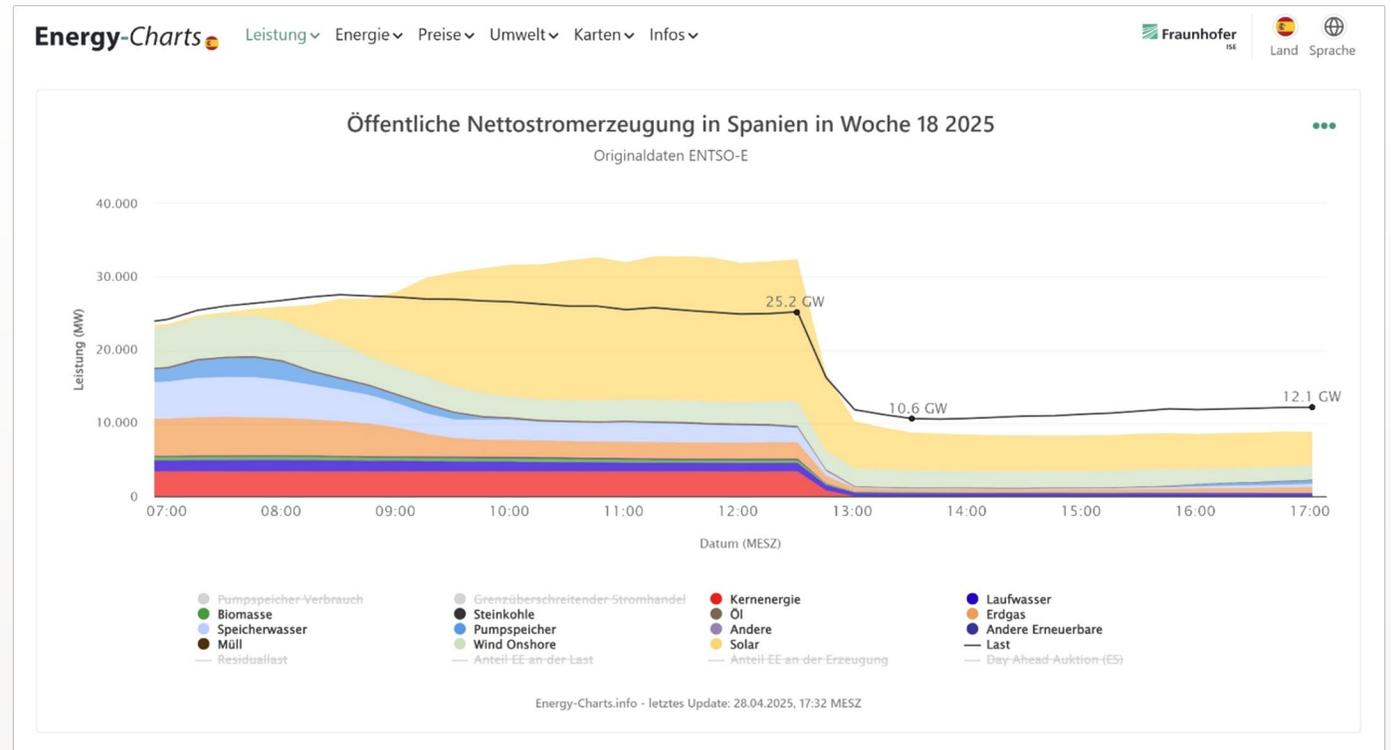
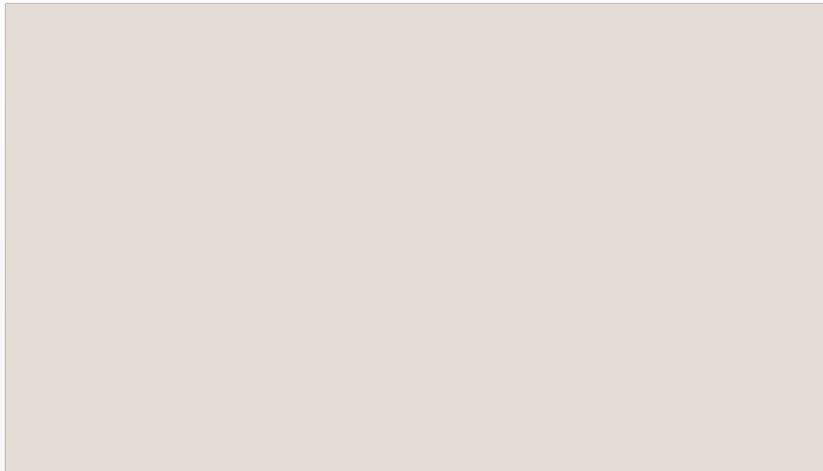


future



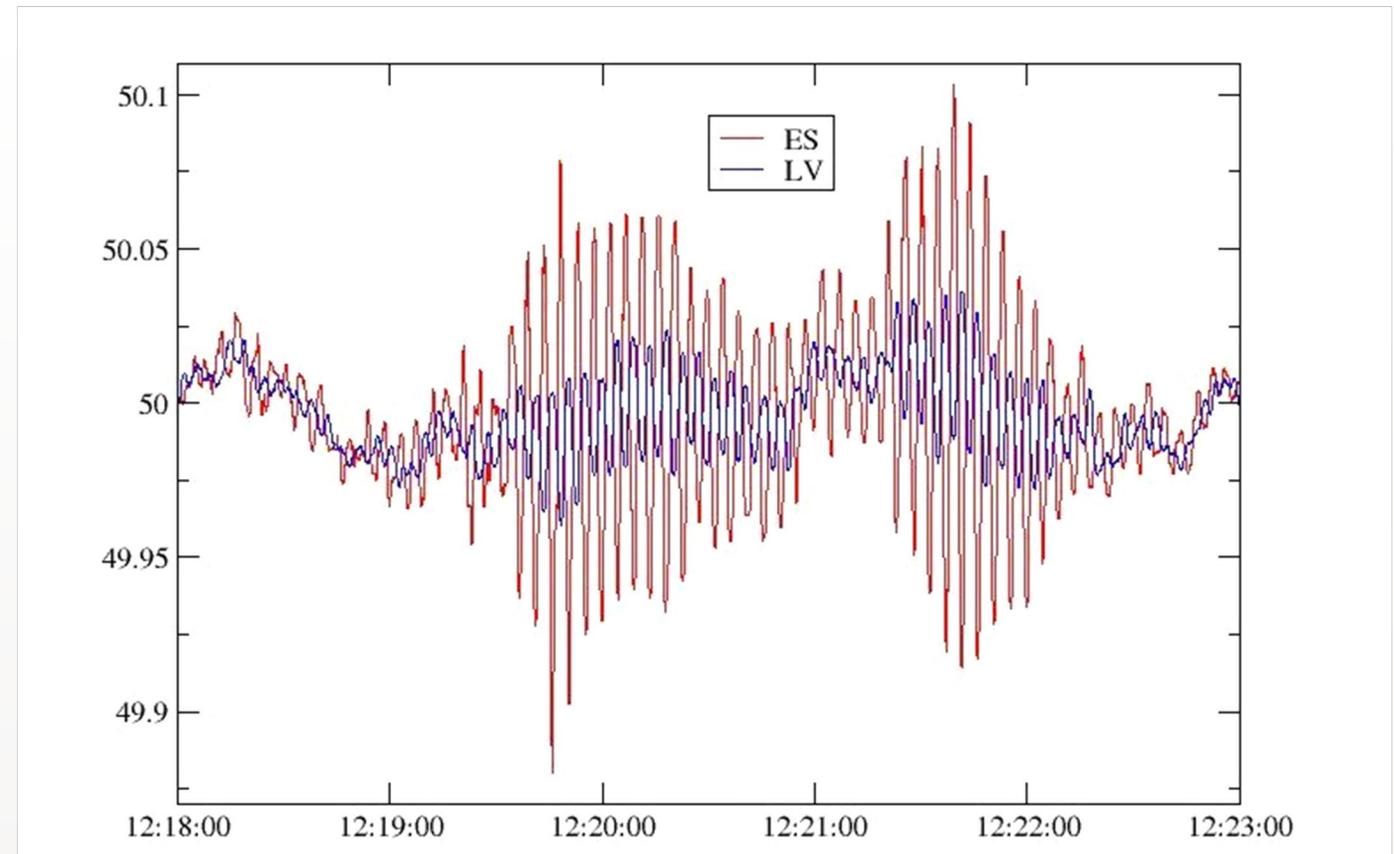
Vom Netz zum System

# Leistungsanteile Energiequellen



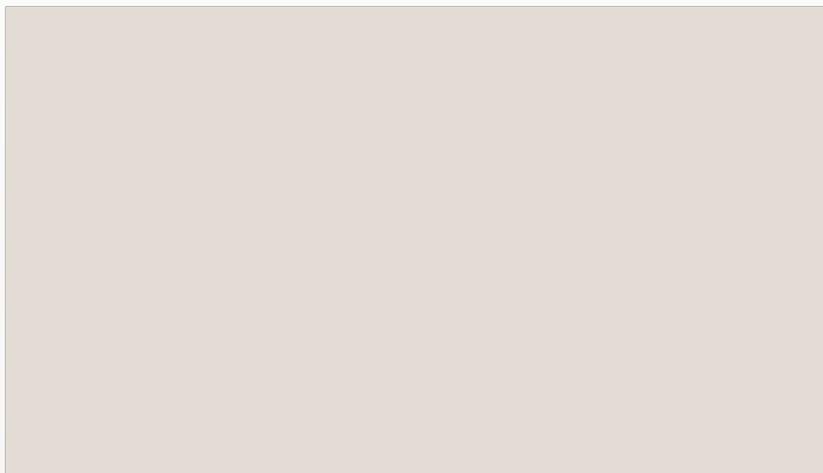
## Oszillationen Spanien / Litauen

- Quelle LinkedIn
- Bestimmte Frequenz: 0,21 Hz
- In Litauen in Gegenphase

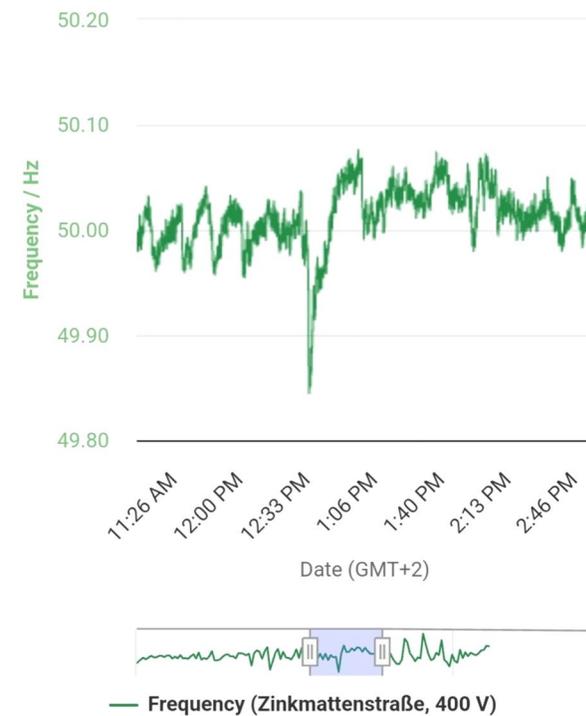


15:18:00 15:19:00 15:30:00 15:31:00 15:33:00 15:33:00

# Frequenzverlauf



## Measurement of grid voltage and frequency on 28.04.2025 and potential provision of reserve power by grid-forming inverters



# Driftprozess – Messdaten eines Blackouts in Griechenland 2004

## Störungsbeginn: 7:28 Uhr

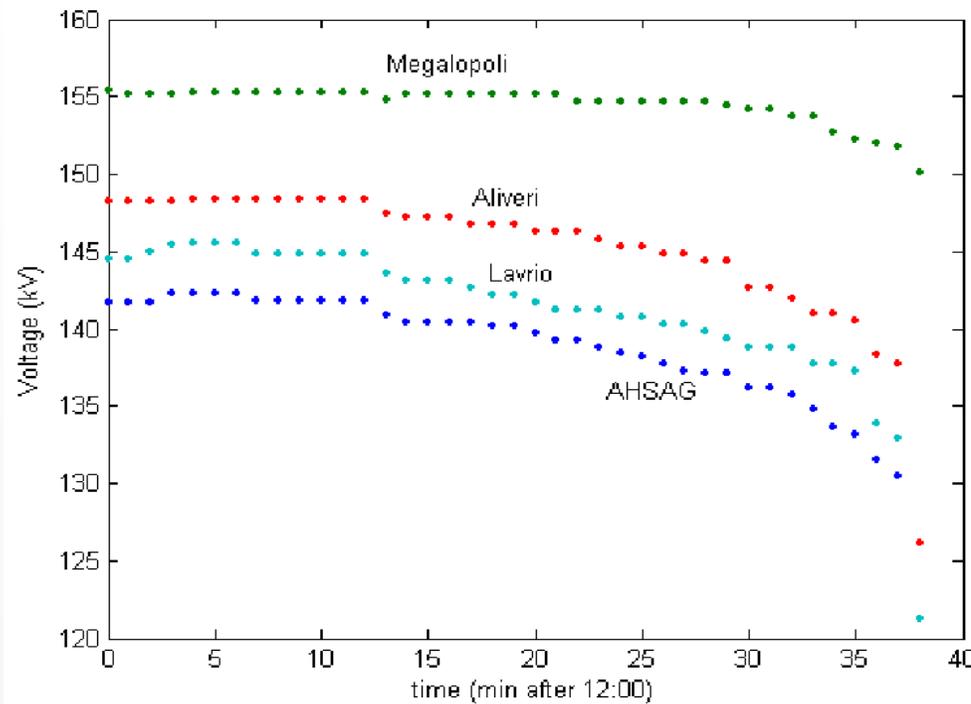
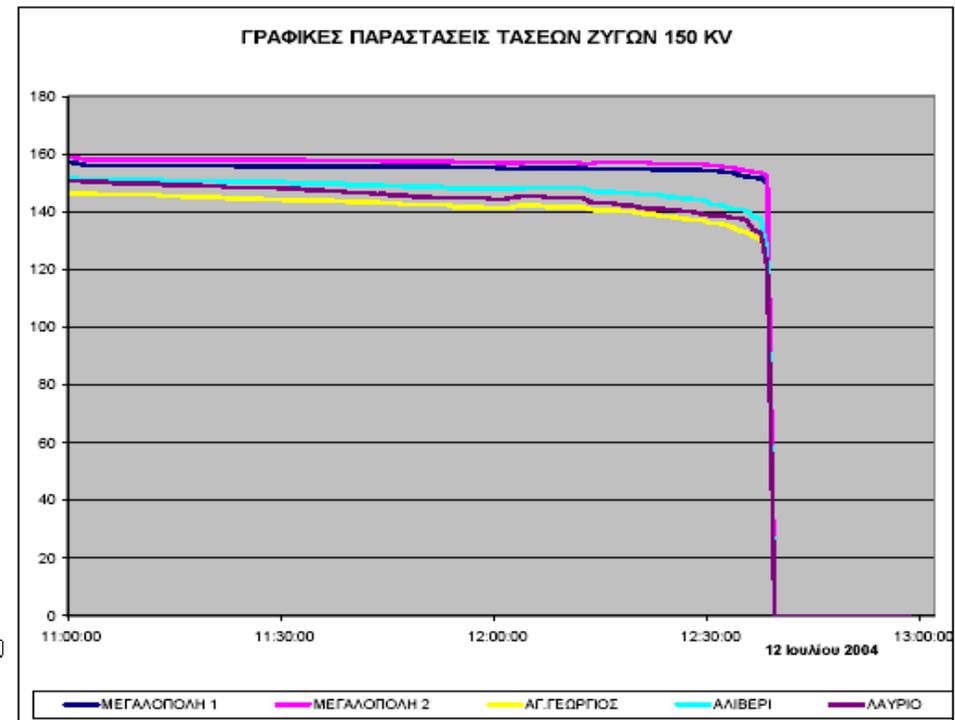


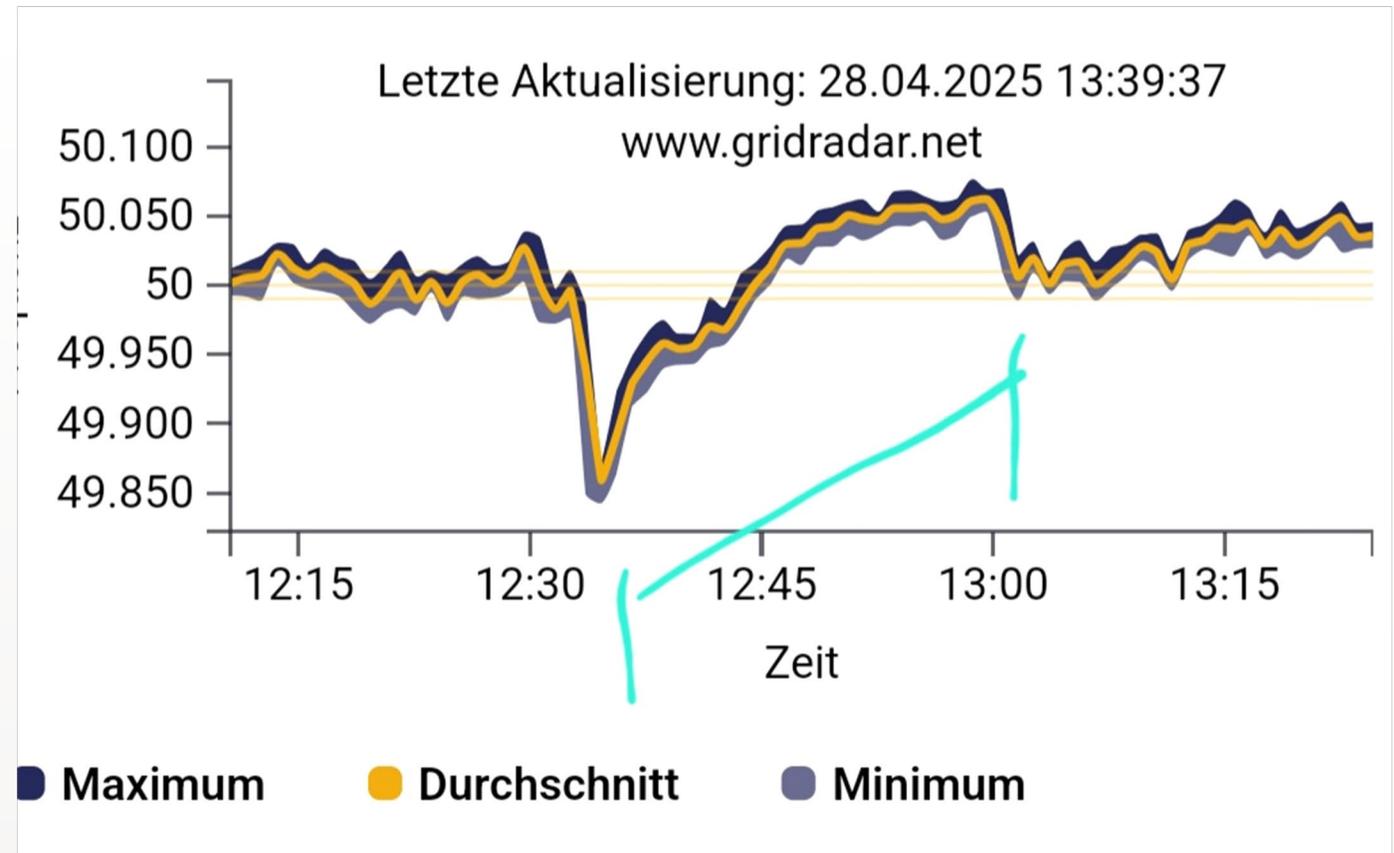
Fig. 1 Measured Voltage at Power Station HV buses



Quelle: TECHNICAL SUMMARY ON THE ATHENS AND SOUTHERN GREECE BLACKOUT OF JULY 12, 2004

## Driftprozess Spanien

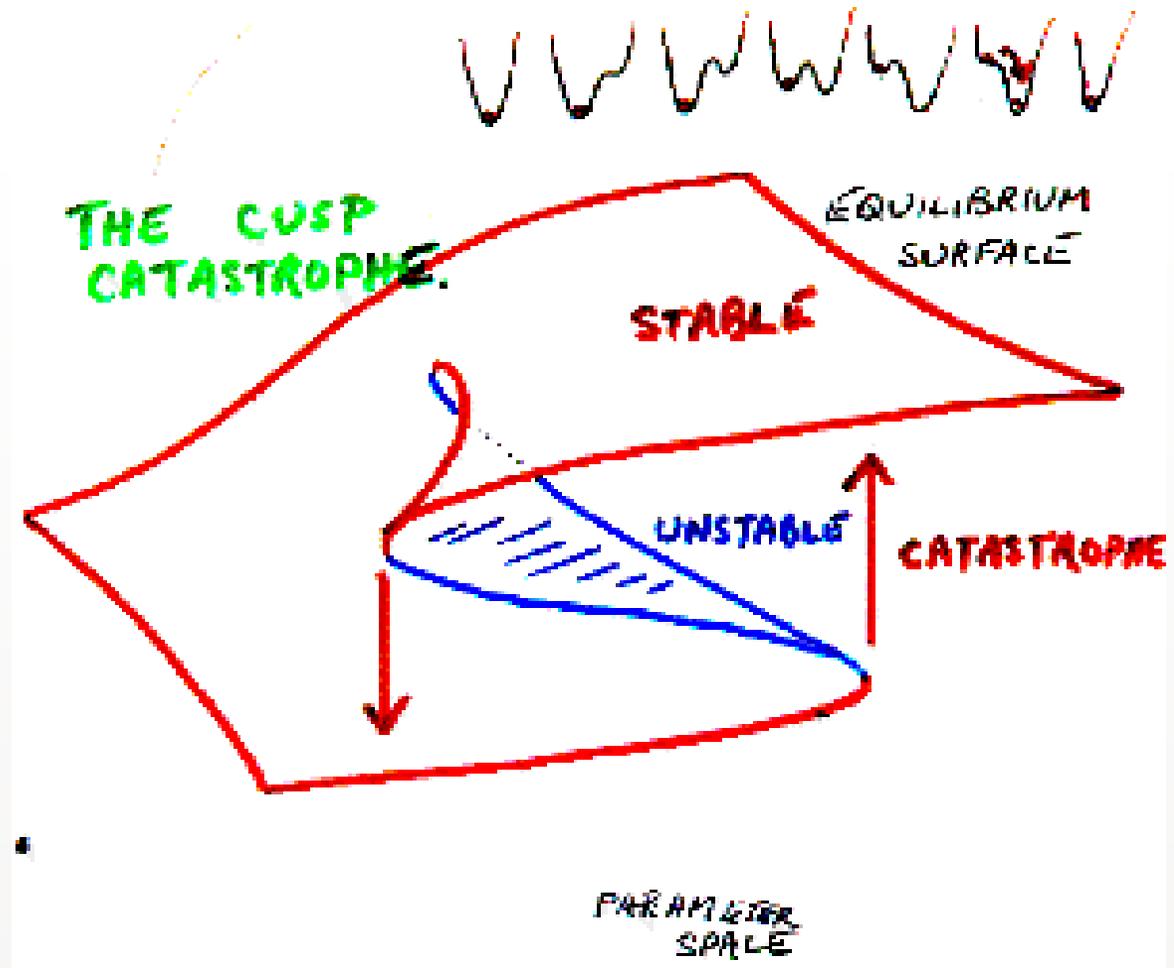
- Bild von Daniel Bleich und gridradar.



## Theoretische Hintergründe – ein Überblick

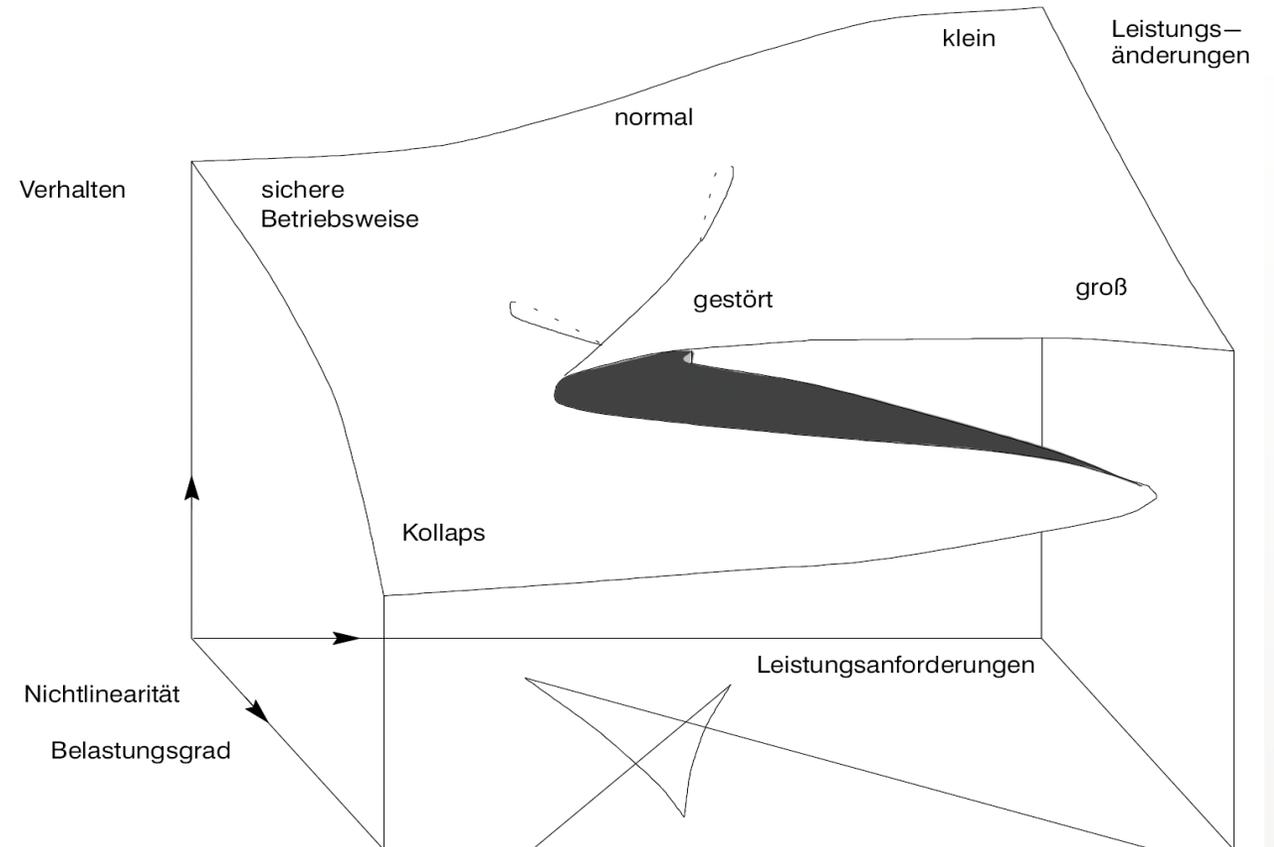
## Rene Thom

Handzeichnung zum Verständnis der  
Katastrophentheorie



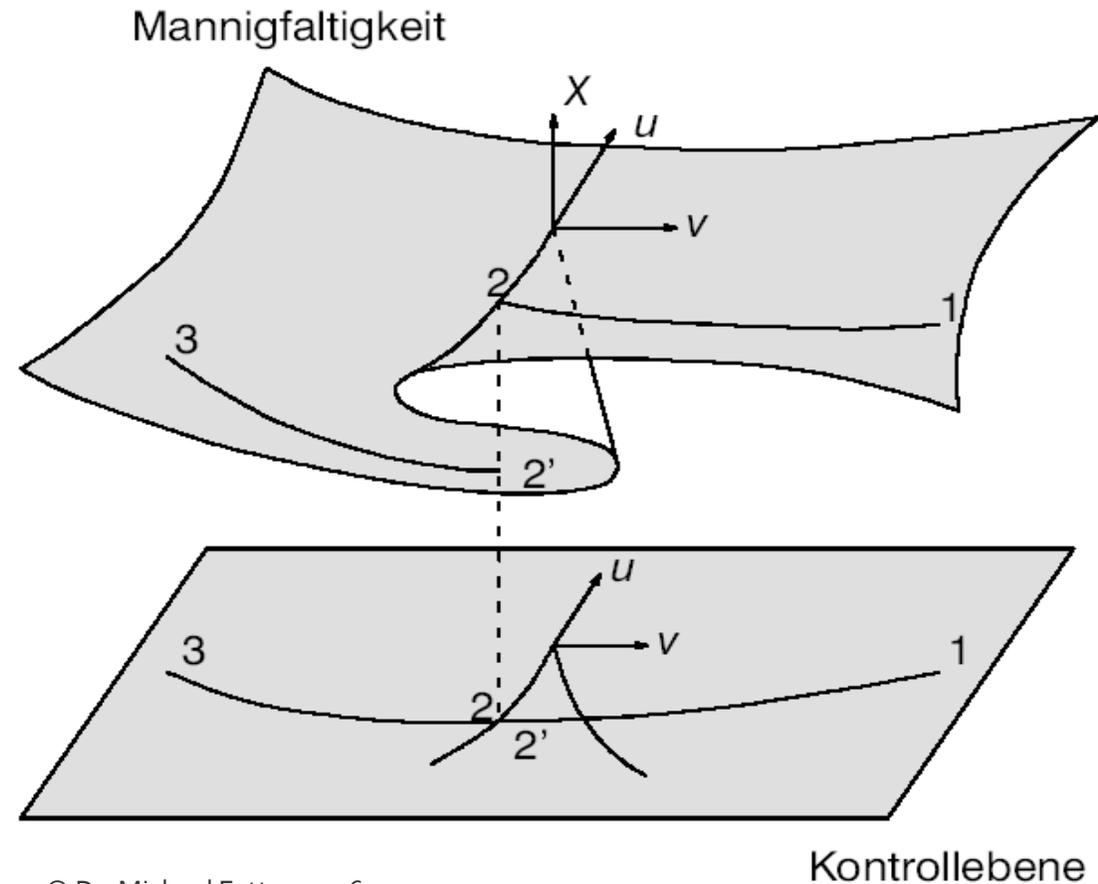
# Verhaltensmannigfaltigkeit von Elektroenergiesystemen

Veränderungsprozesse und deren  
Auswirkungen auf Systemdynamiken



## Schematische Darstellung Mannigfaltigkeit der Strukturdynamik

Abbildung der Mannigfaltigkeit auf  
Kontrollebene

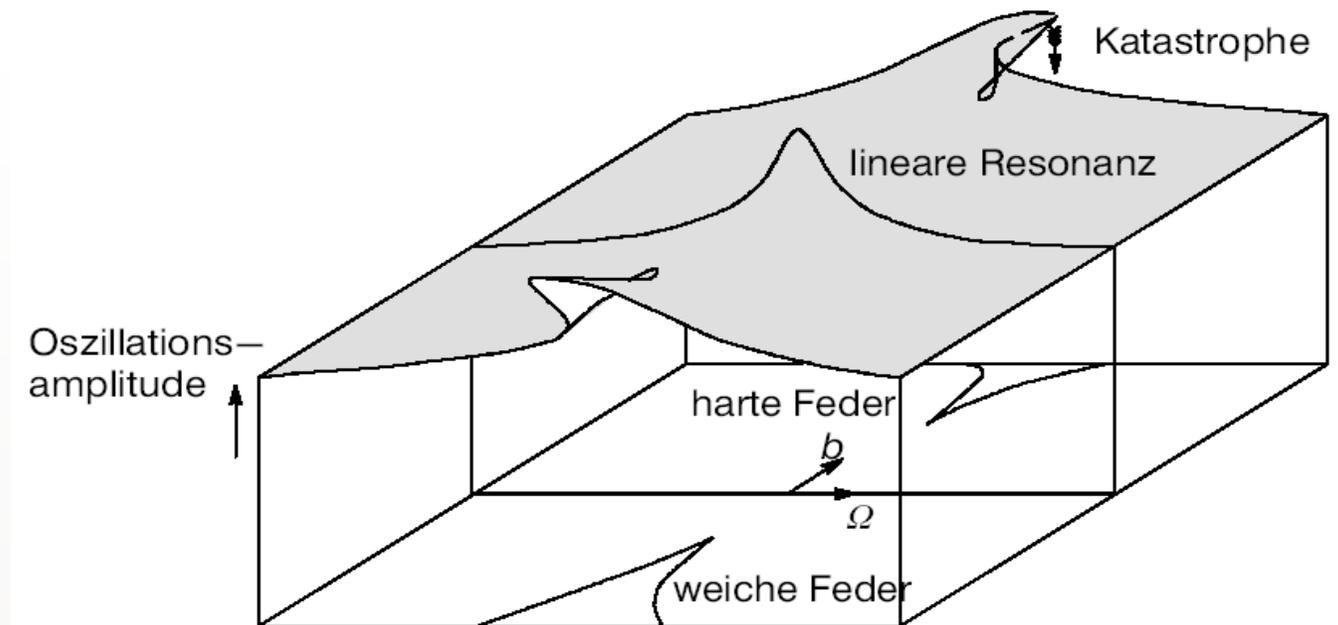


© Dr. Michael Fette - 1996

## Vereinfachtes, aber strukturell korrektes Modell eines Elektroenergiesystems

Mannigfaltigkeit und Kontrollfläche eines  
Duffing-Oszillators

Charakteristisch für alle  
elektromechanischen Energiewandler



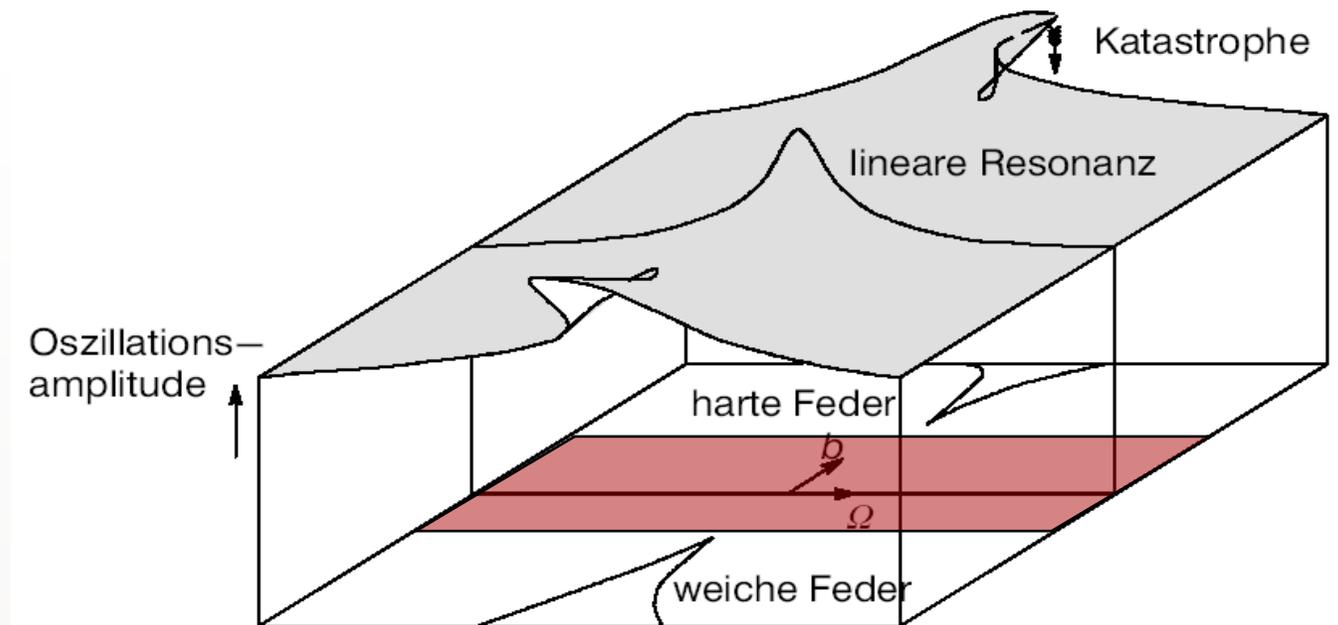
$$M\ddot{\delta} + D\dot{\delta} + \left(\delta - \frac{\delta^3}{3!}\right) \frac{U_B U_G}{X_d} = P_M$$

## Vereinfachtes, aber strukturell korrektes Modell eines Elektroenergiesystems

Mannigfaltigkeit und Kontrollfläche eines  
Duffing-Oszillators

Charakteristisch für alle  
elektromechanischen Energiewandler

**quasi-linearer Bereich**



$$M\ddot{\delta} + D\dot{\delta} + \left(\delta - \frac{\delta^3}{3!}\right) \frac{U_B U_G}{X_d} = P_M$$

© Dr. Michael Fette - 1996

## Spezieller Fall - Kollapsprozesse

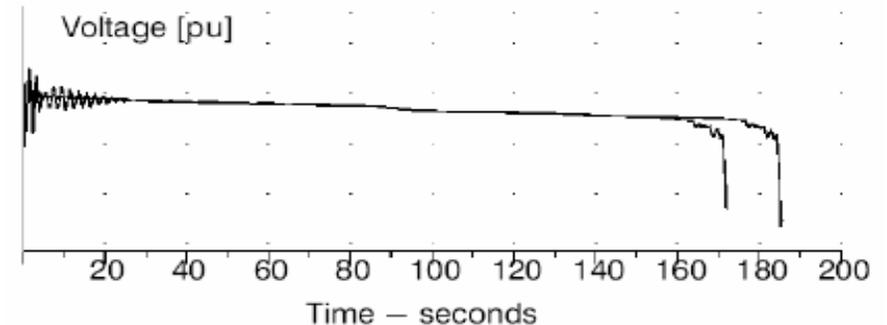
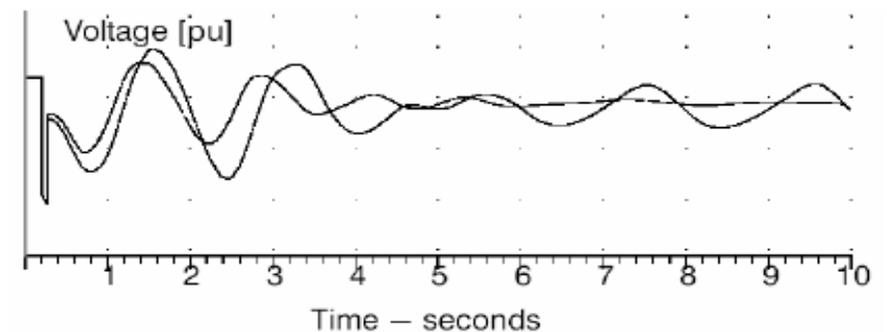
Blackout-Phänomene können in zwei Prozesse zerlegt werden

- ➔ 1. Phase: Oszillationsprozess (schneller Vorgang)
- ➔ 2. Phase: Driftprozess (langsamer Vorgang)

Die beiden Prozesse treten jedoch nicht getrennt voneinander auf.

Die Oszillationen überdecken den langsameren Driftprozess, dieser ist „augenscheinlich“ nicht sichtbar.

Quelle: IEEE Report on Voltage Stability 2001



# Driftprozess – Messdaten eines Blackouts in Griechenland 2004

## Störungsbeginn: 7:28 Uhr

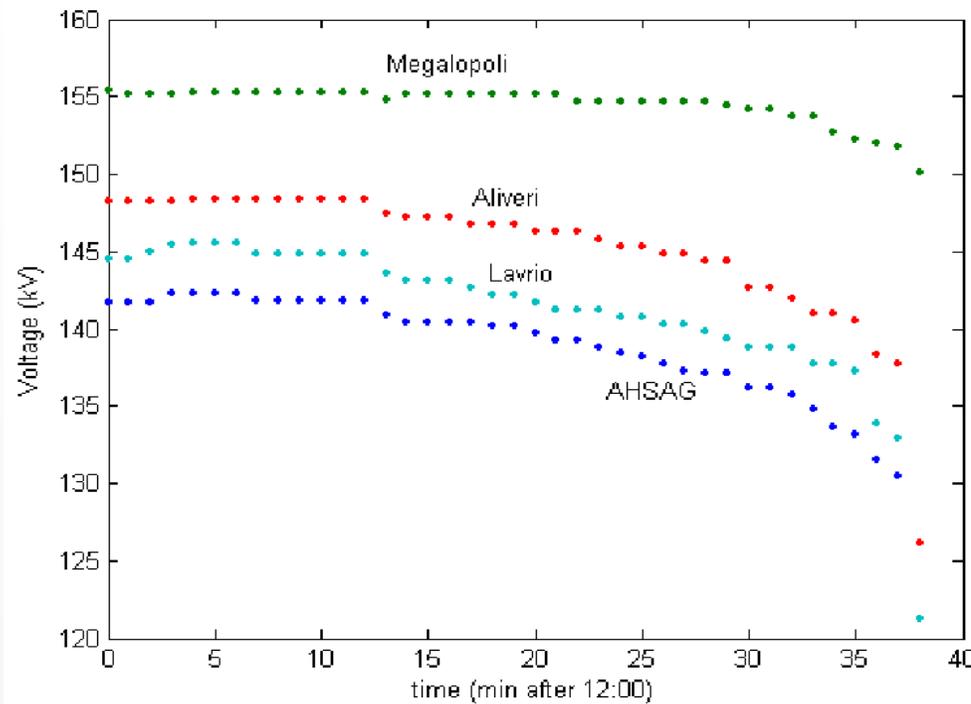
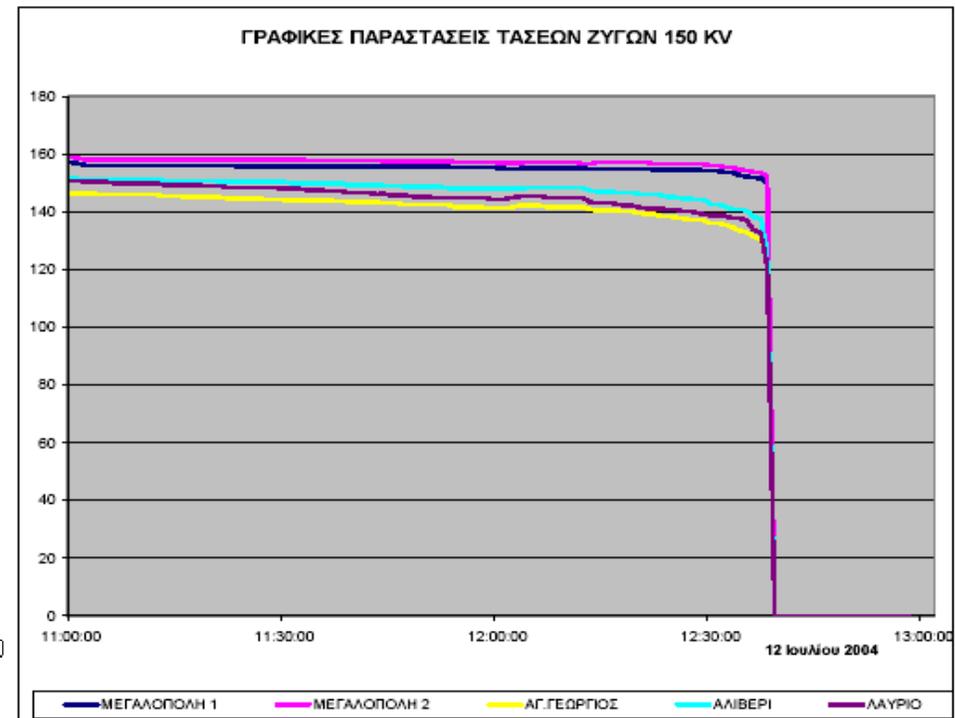


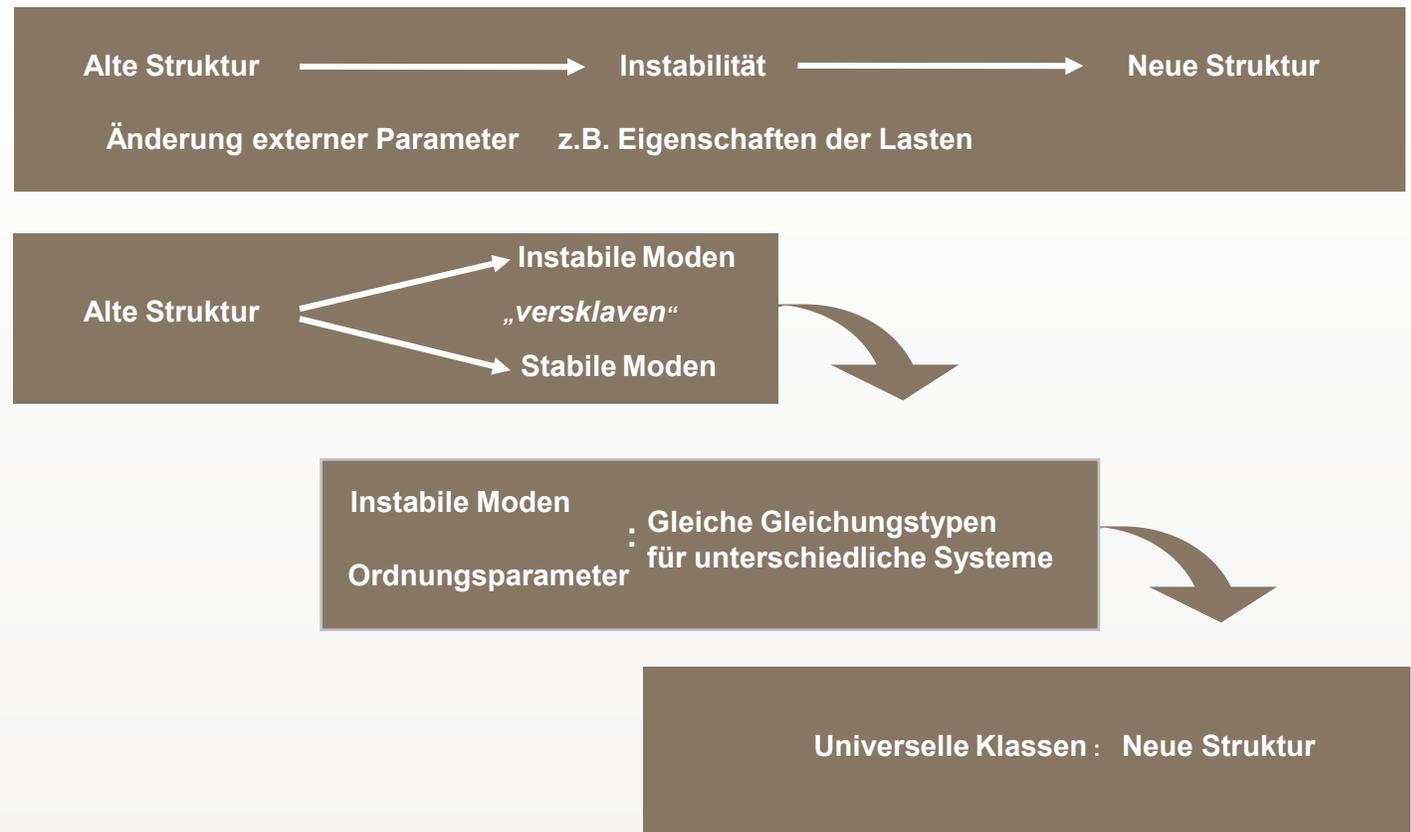
Fig. 1 Measured Voltage at Power Station HV buses



Quelle: TECHNICAL SUMMARY ON THE ATHENS AND SOUTHERN GREECE BLACKOUT OF JULY 12, 2004

## Veränderungen der dynamischen Eigenschaften (Synergetik)

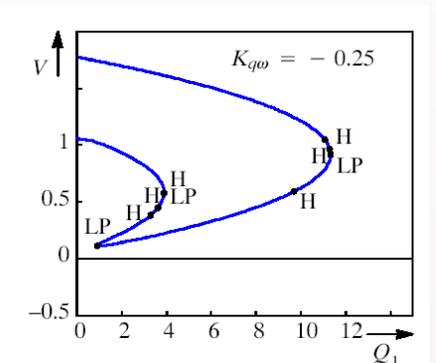
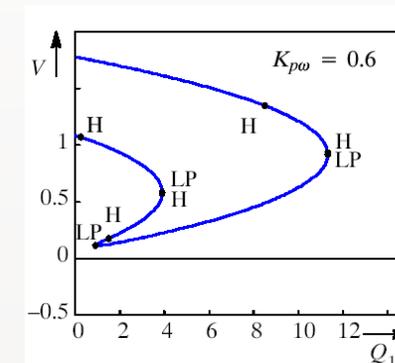
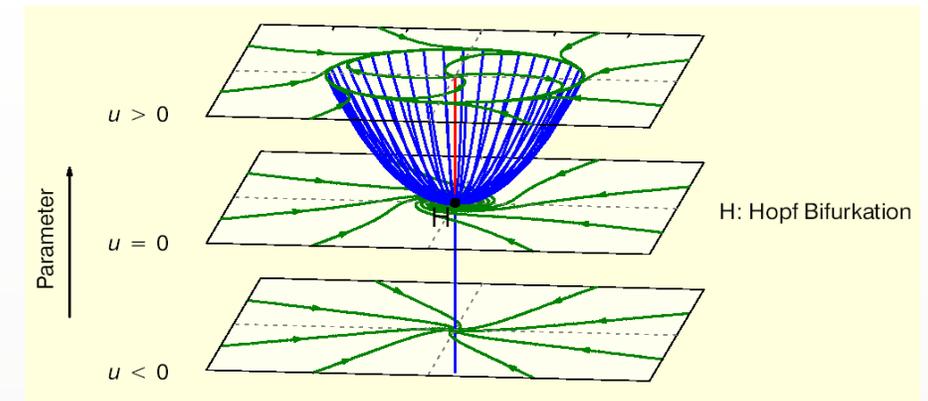
- Modelle müssen für nichtlineare Analysen geeignet sein
- Alle Frequenzbereiche müssen abgebildet sein!
- Die Synergetik nutzt strukturell richtige Ersatzmodelle zur Beschreibung nach Hermann Haken – Bestimmung externer Einflussparameter auf Modelleigenschaften



## Analyse der Bifurkationen

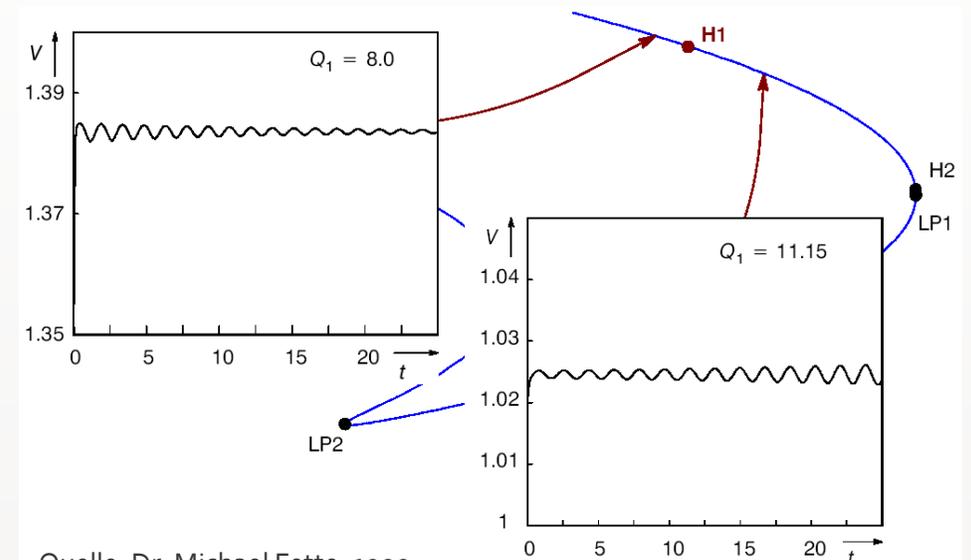
### Hopf-Bifurkation

- Instabilität verursacht durch eine Hopf-Bifurkation
  - Ein Bifurkationspunkt ist ein spezieller Punkt, bei dem ein nichtlineares System seine Charakteristiken ändern kann. An einer Hopf-Bifurkation treten zusätzliche Schwingungen auf, die bei Elektroenergiesystemen in der Regel instabil sind.
- Im Bifurkationsdiagramm kann man beobachten:
  - Die Lage des Hopf-Punktes hängt stark von den Lasteigenschaften ab
  - Im Bild rechts sind unterschiedliche Lastcharakteristiken angenommen



## Zeitreihen vor und nach einer Hopf-Bifurkation

- ➔ Testfunktionen in der Nähe der Hopf-Punkte
  - ▶ Niedrige Frequenzen können berechnet werden
    - Frequenzen hängen von der Leistungsfähigkeit des Netzes ab
    - Die Lage der Hopf-Punkte (und damit die Frequenz) hängt von den Lastdynamiken ab
    - Charakteristische Frequenzintervalle können berechnet werden
  - ▶ Abhängigkeiten aller Lastparameter mit Fortsetzungsmethoden berechnet



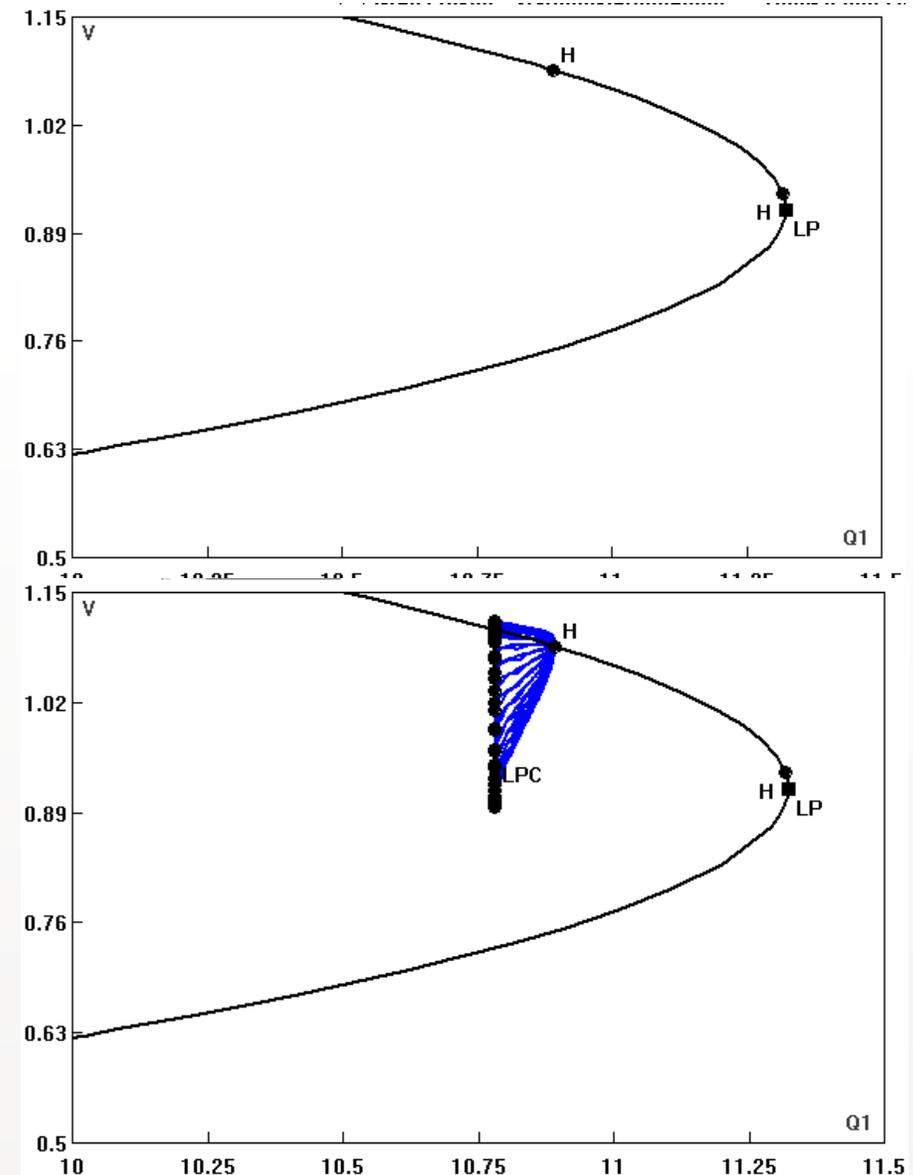
## Fortsetzung der Hopf-Bifurkation

- Typischerweise existieren mehrere Lösungen
- Alle Lösungsäste haben verschiedene Zeitcharakteristiken, die Frequenzen sind aber alle nahezu gleich.
- Welcher Lösungszweig erreicht werden kann, hängt von Anfangsbedingungen ab.

1. Schritt  
Berechnung der  
Ruhelagenkurven

2. Schritt  
Berechnung der  
Hopf-Kurven

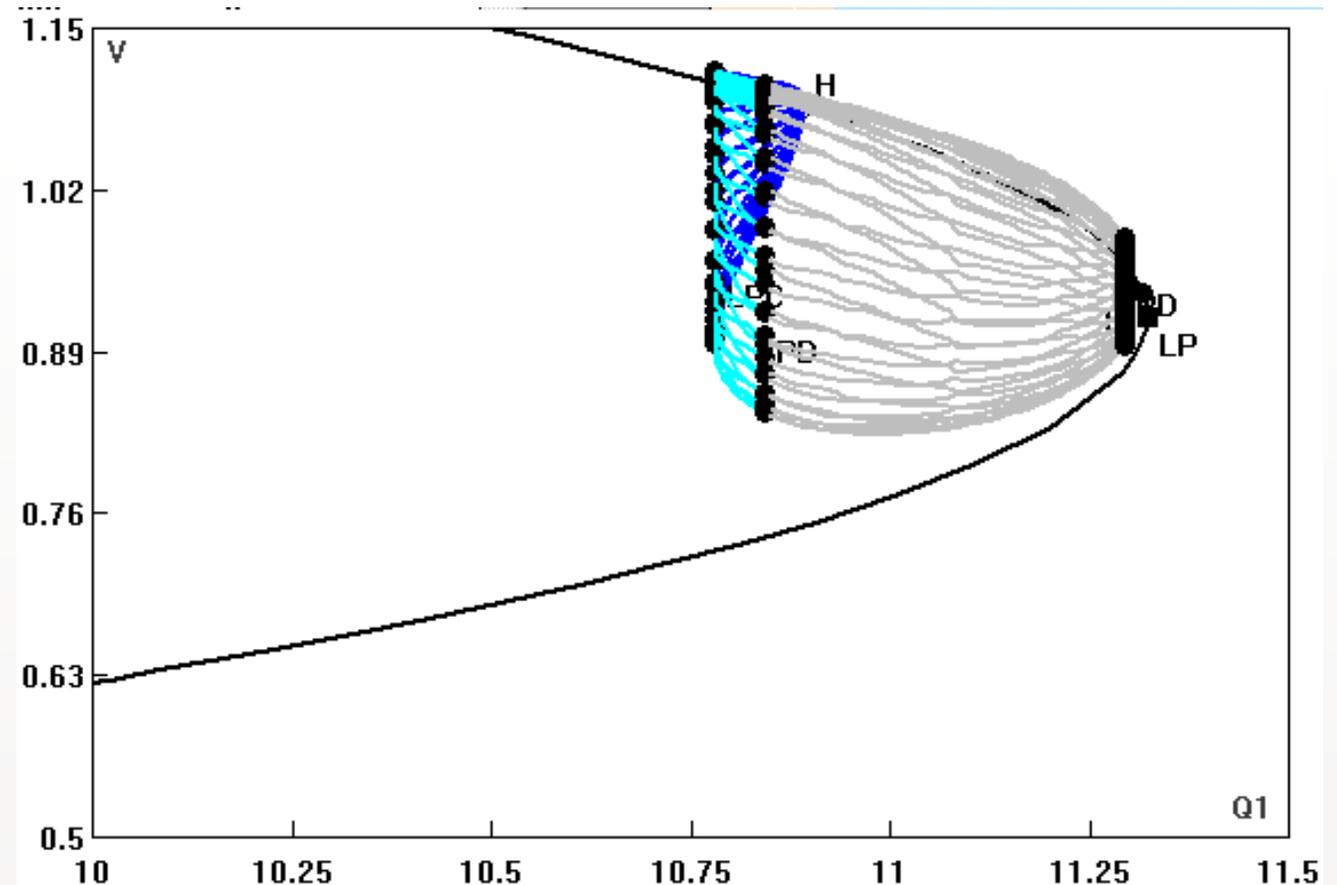
Quelle: Dr. Michael Fette, 1999



## Fortsetzung der Hopf-Bifurkation

- Es existieren viele Lösungen
- Alle Lösungen haben eigene Frequenzcharakteristiken
- Das System verändert sein Dämpfungsverhalten
- Durch Verkleinern der Dämpfung kommt es zu Periodenverdopplungen und Chaos
- Das System kollabiert

2. Schritt  
Berechnung der Hopf-Kurven



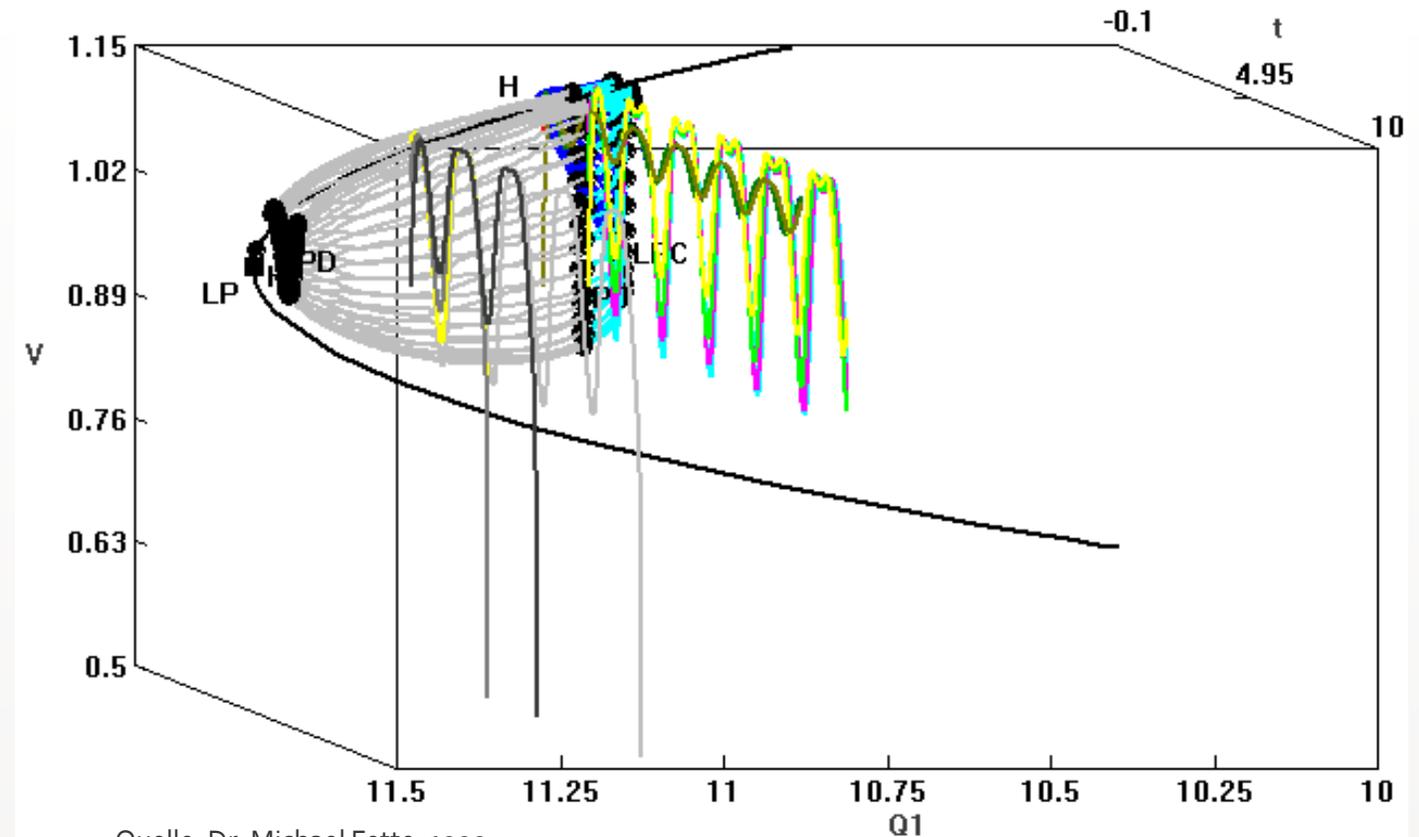
Quelle: Dr. Michael Fette, 1999

## Fortsetzung der Hopf-Bifurkation

### 3. Schritt

Berechnung der zugehörigen Zeitreihen für unterschiedliche Startpunkte

(eigentlich überflüssig, da das Lösungsverhalten bereits prinzipiell bekannt ist)



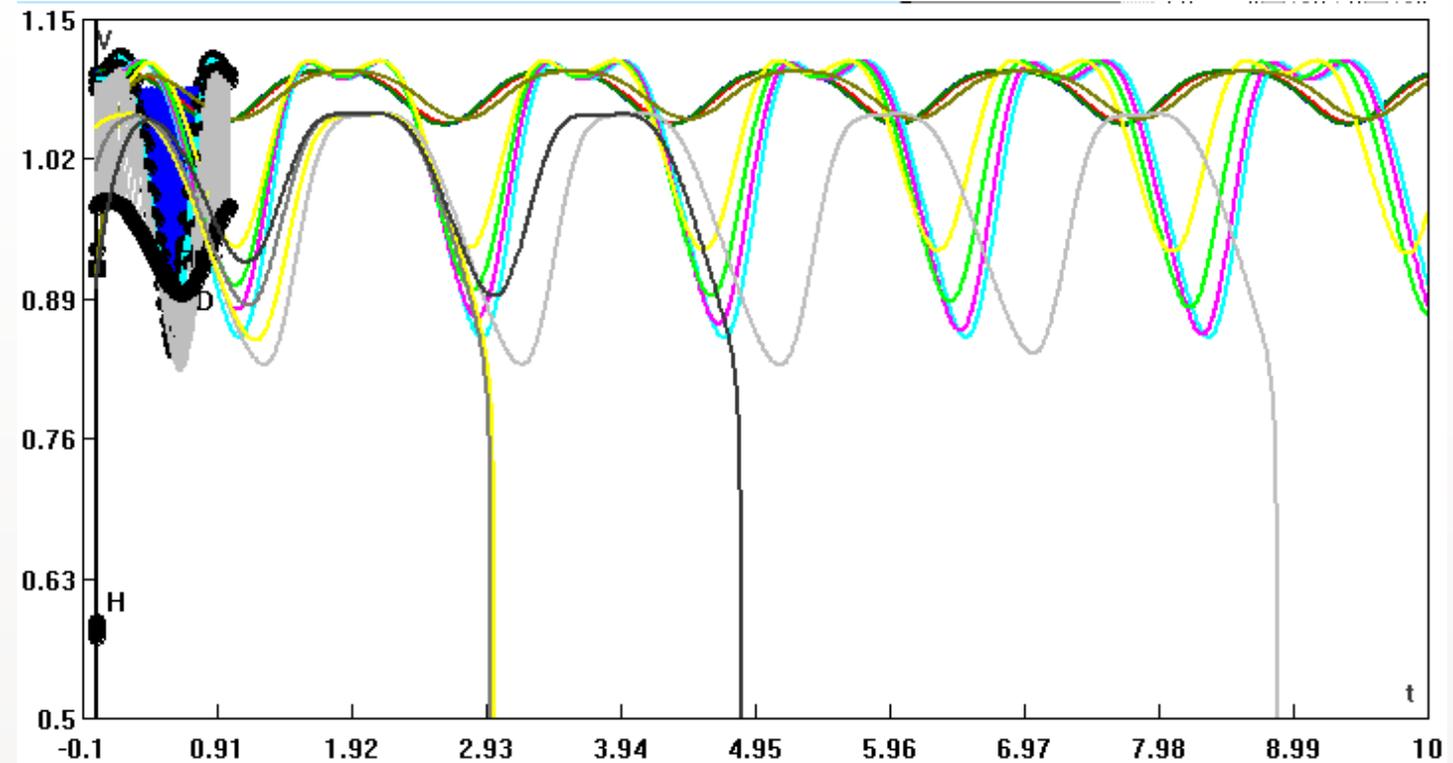
Quelle: Dr. Michael Fette, 1999

## Fortsetzung der Hopf-Bifurkation

### 3. Schritt

Berechnung der zugehörigen Zeitreihen für unterschiedliche Startpunkte

(eigentlich überflüssig, da das Lösungsverhalten bereits prinzipiell bekannt ist)

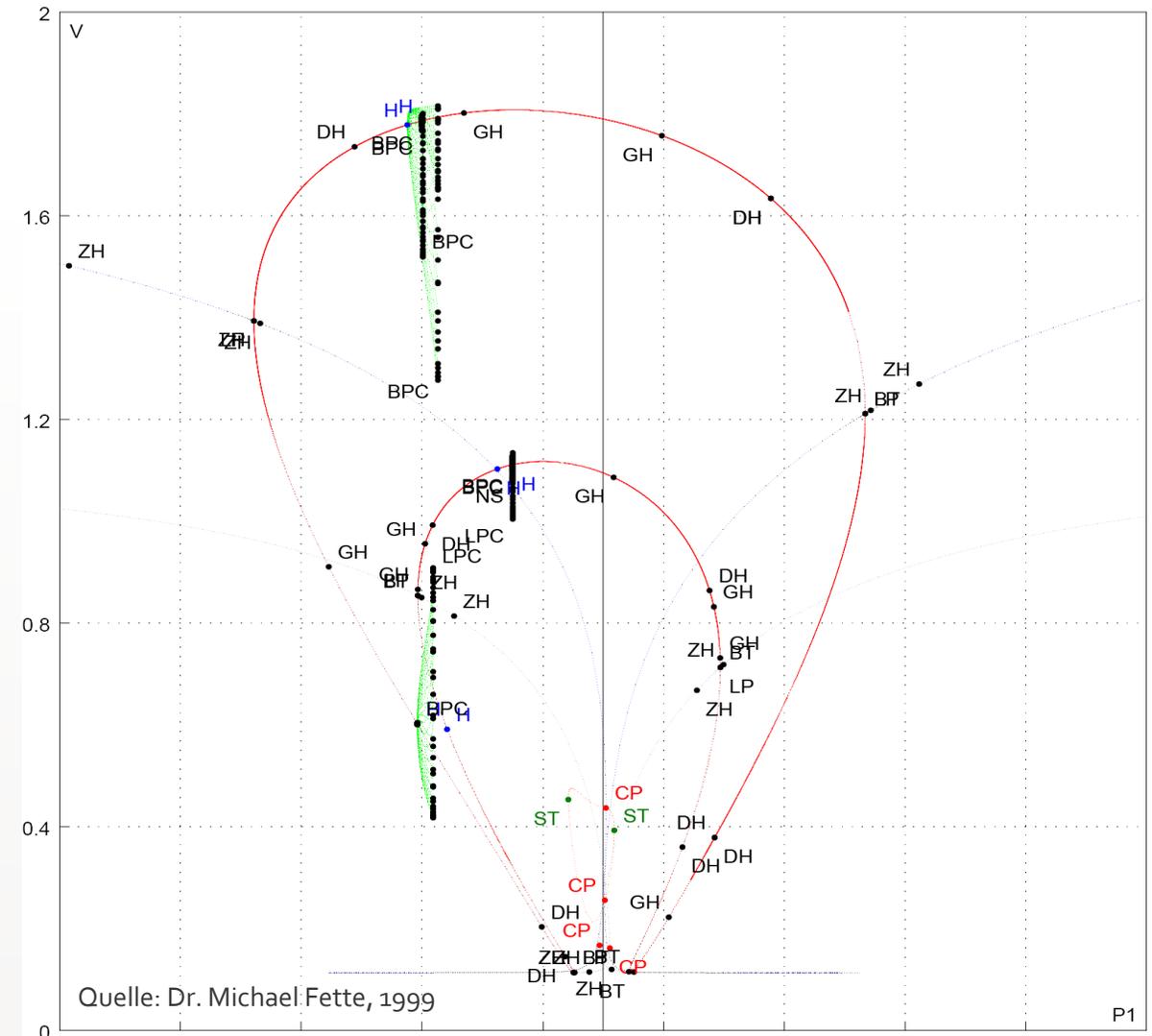


Quelle: Dr. Michael Fette, 1999

## Generator - Lastmodell

- Bifurkationspunkte eines Generators verbunden mit einem klassischen EVU-Last-Szenarios
- Hier sind keine Wechselrichter als Lasten angenommen!
- „sehr vereinfachtes Modell“ – jedoch mit komplexer Dynamik

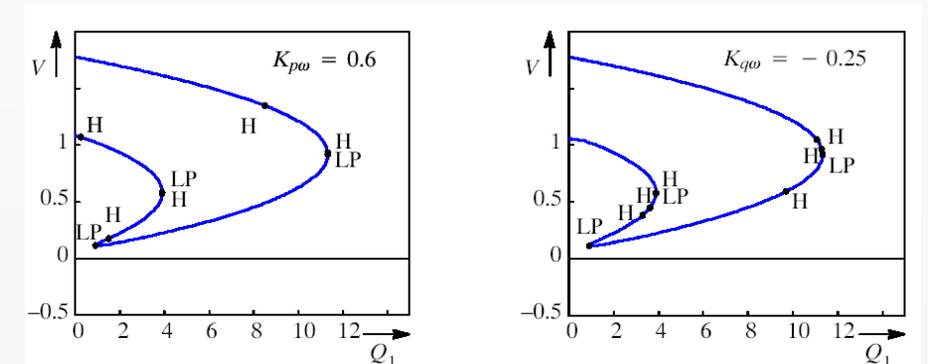
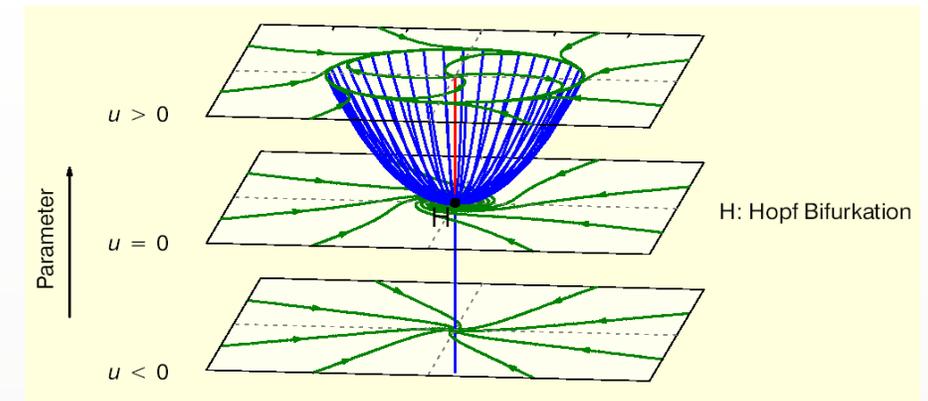
In der Praxis sind weitere Lösungen vorhanden!



## Analyse der Bifurkationen

### Hopf-Bifurkation

- Instabilität verursacht durch eine Hopf-Bifurkation
  - Ein Bifurkationspunkt ist ein spezieller Punkt, bei dem ein nichtlineares System seine Charakteristiken ändern kann. An einer Hopf-Bifurkation treten zusätzliche Schwingungen auf, die bei Elektroenergiesystemen in der Regel instabil sind.
- Im Bifurkationsdiagramm kann man beobachten:
  - Die Lage des Hopf-Punktes hängt stark von den Lasteigenschaften ab
  - Im Bild rechts sind unterschiedliche Lastcharakteristiken angenommen



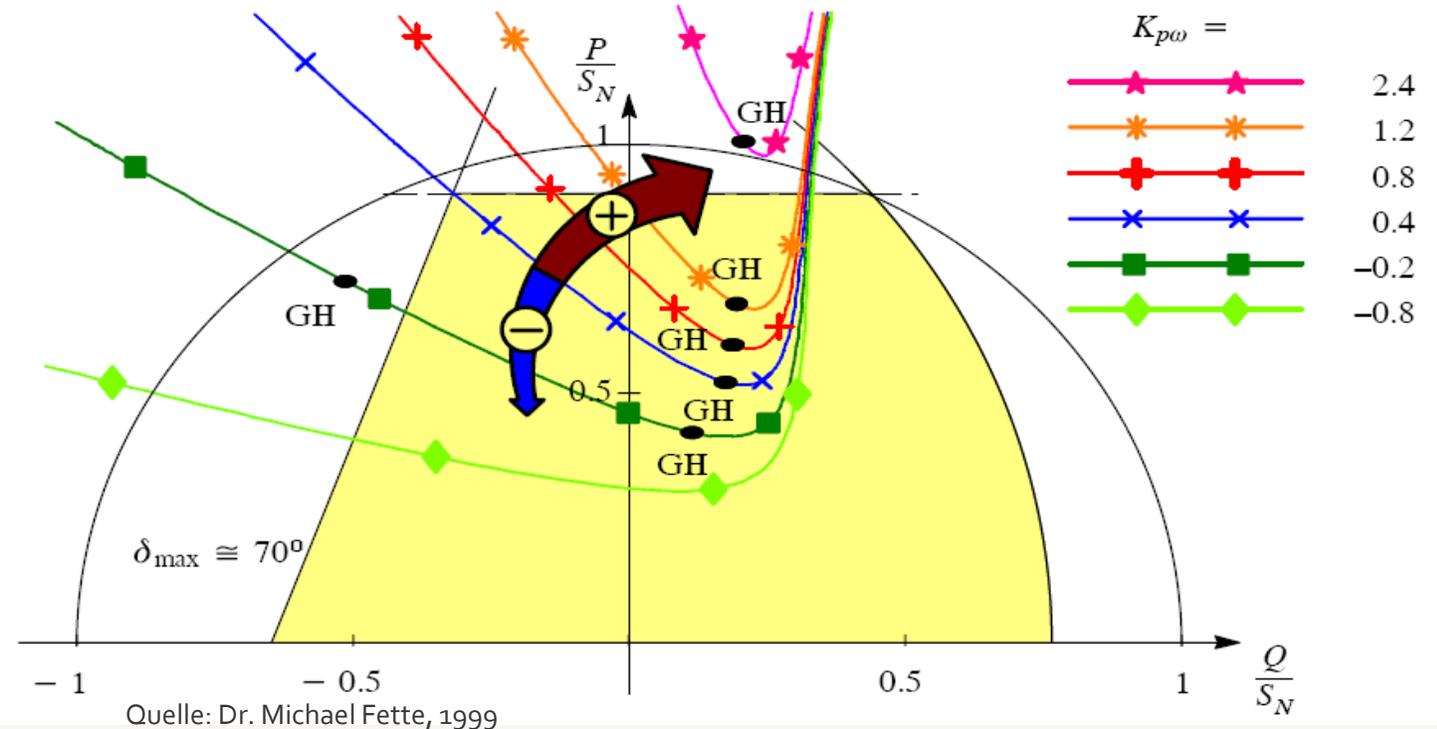
Quelle: Dr. Michael Fette, 1999

## Beispiel: Generatorregelung

- Limitierende Bifurkationslinien im Arbeitsbereich in Abhängigkeit von Lastparameter.

D.h., je nach Eigenschaft der Lastcharakteristik sind auch im normalen Arbeitsbereich eines Generators (Fähigkeit der Maschine und des Erregersystems) bestimmte Betriebszustände instabil.

Siehe auch: Liwschitz (1942)



## Intelligent Nonlinear Systems are our Profession

*Preserving the tried and tested – shaping the new!*



**KRI**<sup>®</sup> die Anwendungen und Algorithmen, die das System benötigt, um das nichtlineare Systemverhalten zu erkennen und zu bewerten, Prozesse anzupassen und Entscheidungen zu treffen, damit das System jetzt und in Zukunft stabil und sicher betrieben werden kann - lokal und global. **KRI**<sup>®</sup> kodieren mit einer intelligenten Vorverarbeitung die Messdaten so, dass die auszutauschenden Datenmengen auf ein Minimum reduziert und die Relevanz der Information erkannt werden kann. - Komplementär zu bekannten Prozess-KPI.

**DMP-EMCP**<sup>®</sup> die EDGE-basierte Hardwareplattform, die die Messgrößen im gesamten Frequenz- und Zeitbereich in Zeit und Frequenz hochaufgelöst erfasst, Indikatoren für Einzelwerte oder komplexe Werte oder für komplexe Netzdynamiken auf Basis nichtlinearer Systeme ermittelt, kann direkt innerhalb von Steuerungs- und Schutzalgorithmen lokal oder in hierarchisch strukturierten Steuerungs- und Schutzkonzepten eingesetzt werden. CyberSecurity-Aspekte können traditionell implementiert werden, oder es können neue duale CyberSecurity-Lösungen durch intelligente Kodierung der Mess- und Auswertegrößen genutzt werden, um eine zukünftig nutzbare "low cost"-Kommunikation sicher und zukunftssicher zu machen.

Basiert auf **XAI** - EXplainable Artificial Intelligence – powered by Synergetics!

Pooling-Algorithmen und Marktplätze können direkt angedockt werden, intelligente Lösungen, bei denen z.B. E-Fahrzeuge auch als Speicher im Verteilnetz mit Dienstleistungen für das Übertragungsnetz eingesetzt werden, können realisiert und betrieben werden.

Der Betreiber von **ORCA**<sup>®</sup> erhält direkte Unterstützung im Rahmen von Unternehmenswerten mit den Perspektiven: Finanzen, Technik, Sicherheit, Qualität, Recht, Image, Umwelt, Organisation und Effizienz. Die **KRI**<sup>®</sup> identifizieren Probleme, zeigen Lösungen auf und begründen die Herausforderungen - immer im Sinne aller Unternehmenswerte, ... mit Nachweisen, so dass Klarheit für alle Beteiligten geschaffen wird!

... ein komplettes, streng modulares, hoch automatisiertes Systemmanagement - für

**DNPS**<sup>®</sup> Digital Nonlinear Power Systems

## **Intelligent Nonlinear Systems are our Profession**

**Preserving the tried and tested – shaping the new!**



**Fette - Competence in Energy GmbH** develops solutions for system management and system operation of energy systems that meet future requirements with predominantly decentralized and converter-based plants.

- 35 years of experience in research and development of nonlinear systems
- Over 800 man-years of development power in IT systems, hardware and software solutions, algorithms, and analysis and evaluation methods - self-funded without third party rights or dependencies
- Over 350 projects in more than 30 countries in industrial, distribution and transmission networks (AC and DC), to determine and assess system dynamics - usually when there have been disturbances or destruction of equipment and networks, identifying causes and proposing solutions – evaluating theory and practice
- For more than 15 years permanent observation of the dynamics and change processes in the systems
- Over 100 projects for the development of customer-specific solutions
- Over 500 consulting projects

Publisher:  
Fette – Competence in Energy GmbH  
Hohenzollernring 30  
22763 Hamburg  
Germany  
+49 155 588 49 807

## **Intelligent Nonlinear Systems are our Profession**

*Preserving the tried and tested – shaping the new!*

**Fette**  
Competence in Energy



Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil.

**Michael Fette**

former Professor for  
„Renewable Energy Systems and Automatic Control“  
venia legendi in „System theory / System dynamics“

michael.fette@fette-competence-in-energy.com

## Hinweis auf Urheberrechte

- Hiermit weisen wir darauf hin, dass die Unterlagen ein technisch/inhaltliches und auch unternehmerisch/organisatorisches Konzept beinhalten, das urheberrechtlich und unter juristischen Aspekten in jeder Hinsicht geschützt ist.
- Eine Weitergabe an „Dritte“ ist ausgeschlossen und kann nur mit unserer verbindlich schriftlichen Zustimmung weitergegeben werden.
- Falls Beteiligungsgesellschaften existieren, die rechtlich eigenständige juristische Personen sind, bitten wir Sorge zu tragen, dass die Gesellschaften Ihnen und uns die Nichtweitergabe der Unterlagen schriftlich bestätigen. Das gilt auch in dem Fall, wenn Sie Unterlagen weiter geben würden.

Vielen Dank!