



#016189524 **ORCA**<sup>®</sup>  
#018265372 **DMP**<sup>®</sup> EMCP  
#018265380 **KRI**<sup>®</sup>  
#018417183 **DNPS**<sup>®</sup>



Reg.No. 5,899,472 **ORCA**<sup>®</sup>  
Reg.No. 7,532,392 **DNPS**<sup>®</sup>

**Fette**  
*Competence in Energy*

# Digital Nonlinear Power Systems

## Blackout Spanien/Portugal

Hamburg, Juni 2025

Michael Fette

# **Fette**

*Competence in Energy*

Vom Netz zum System

© Fette – Competence in Energy GmbH – Alle Inhalte urheberrechtlich geschützt

## Pressemitteilung der spanischen Regierung 17.06.2025 – 1/2

- Der Stromausfall auf der Iberischen Halbinsel Ende April ist laut der spanischen Regierung durch Überspannung im Netz ausgelöst worden. Dies habe zu einer "unkontrollierbaren Kettenreaktion" geführt, heißt es in einem entsprechenden Bericht. Die spanische Ministerin für den ökologischen Wandel, Sara Aagesen, sprach von mehreren Ursachen für den Blackout.
- Am Tag des Stromausfalls hatte es laut Aagesen an "ausreichender Kapazität zur Spannungsregelung" gefehlt, was zum Teil an einem Programmierfehler gelegen habe. Theoretisch sei das spanische Stromnetz stabil genug, um mit einer solchen Situation umzugehen.
- Die Überspannung habe zu Abschaltungen mehrerer Anlagen zur Stromerzeugung geführt, was wiederum "neue Abschaltungen verursachte", teilte die Ministerin mit. Einige Energieunternehmen hätten ihre Kraftwerke auf "unangemessene" Art und Weise vom Netz getrennt, "um ihre Anlagen zu schützen".

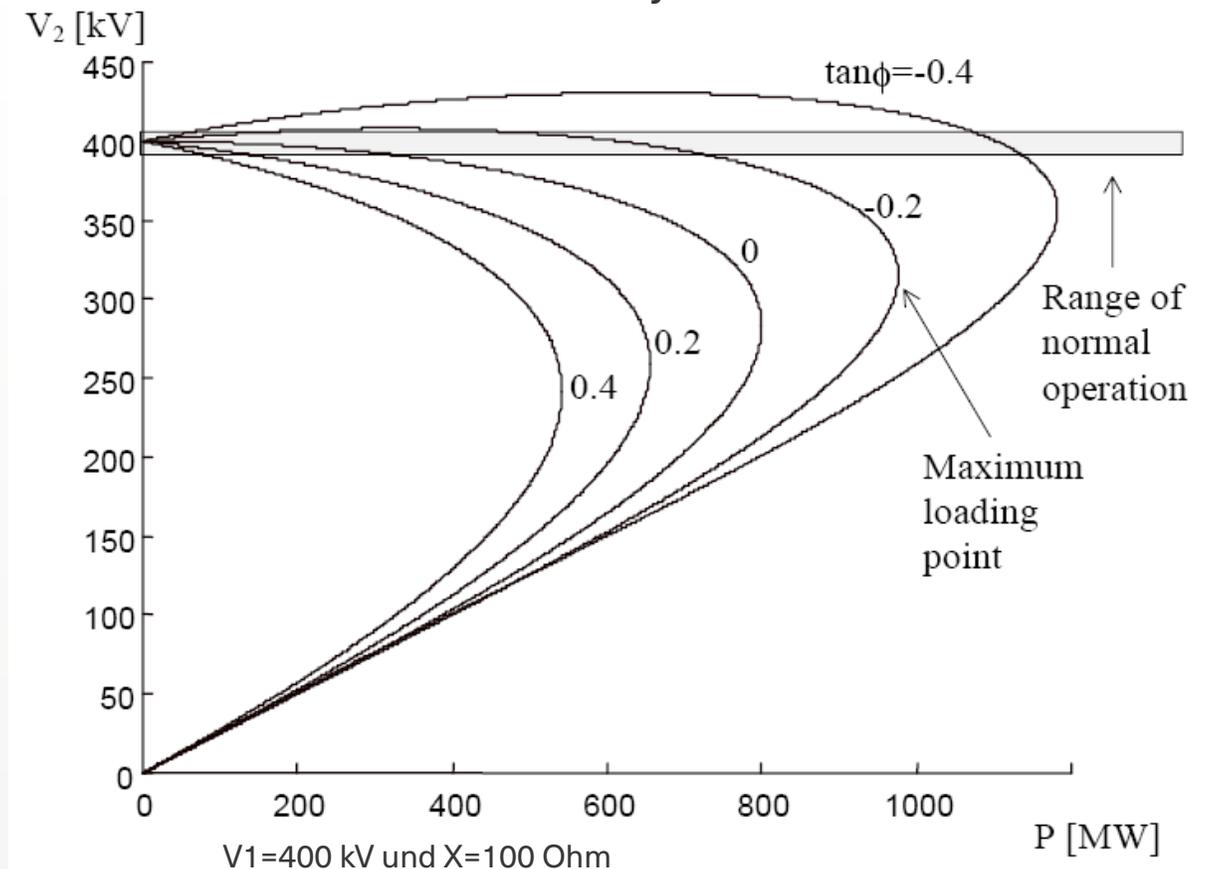
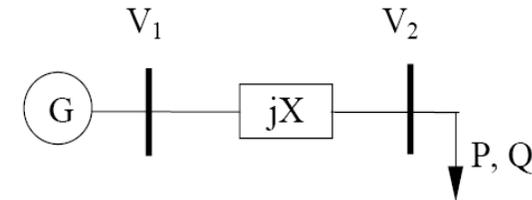
## Pressemitteilung der spanischen Regierung 17.06.2025 – 2/2

- Auch der Netzbetreiber REE habe hier eine Rolle gespielt. Den Angaben nach hatte er sich verrechnet und nicht genügend Wärmekraftwerke zum Zeitpunkt der Überspannung in Betrieb. Die Untersuchung habe keine Hinweise auf einen Cyberangriff gegeben, sagte Aagesen.
- Ist die elektrische Spannung in einem Netz zu hoch, spricht man von Überspannung. Schutzsysteme schalten dann Teile des Netzes ab, was zu großflächigen Stromausfällen führen kann.
- Landesweit war in Spanien und Portugal am 28. April der Strom ausgefallen, was starke Verkehrsprobleme und den Ausfall von Telekommunikationssystemen mit sich zog. Auch Südwestfrankreich und Marokko waren kurzzeitig betroffen. Es handelte sich um einen der bisher größten Stromausfälle in Europa.

## Spannungsstabilität bei großen Störungen

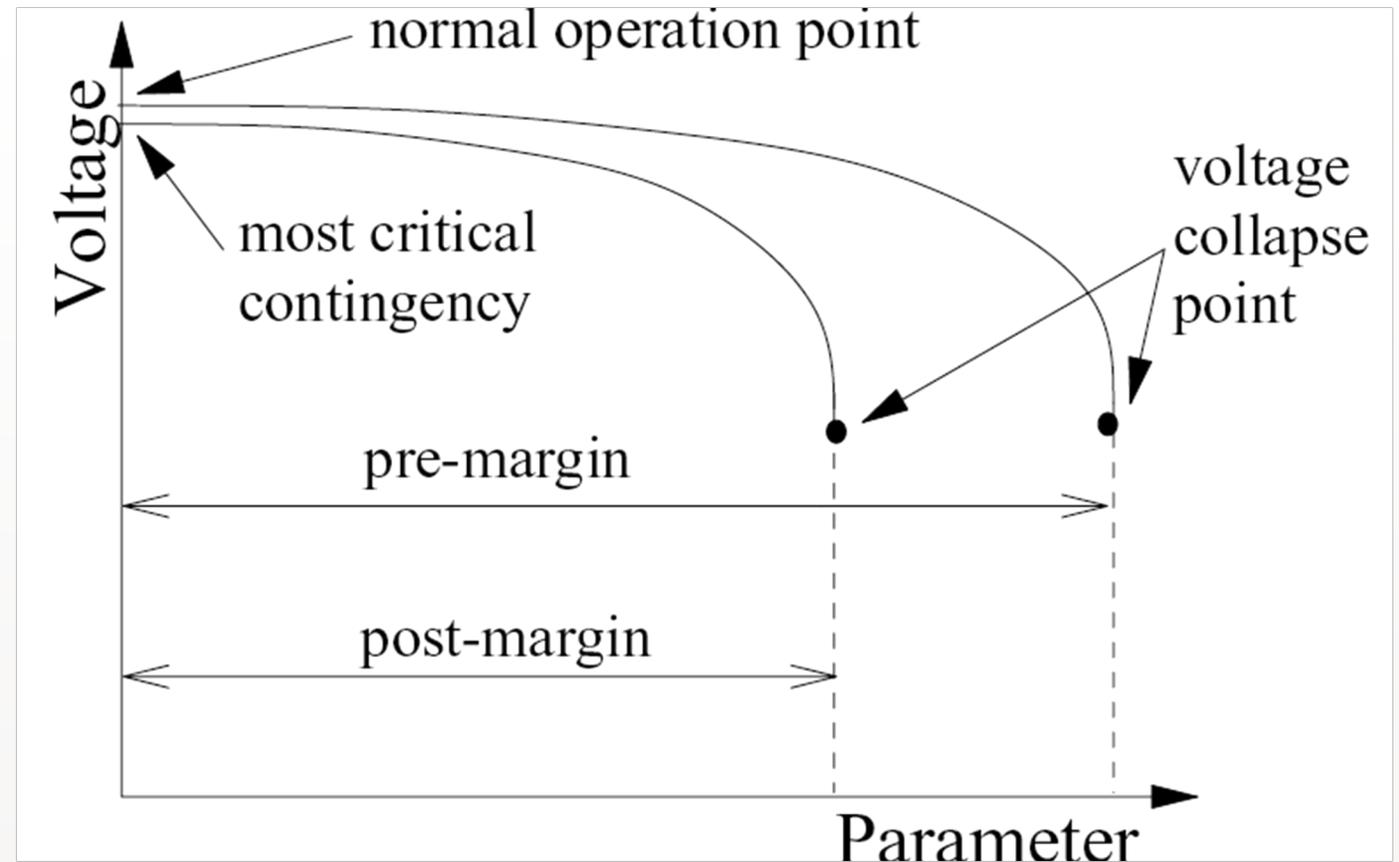
- Hier geht es um die Aufrechterhaltung einer stabilen Busspannung nach einer großen Störung, wie z. B. einem Systemfehler, einem Lastwechsel oder -ausfall oder einem Erzeugungsausfall.
- **Diese Fähigkeit wird durch die System- und Lastcharakteristiken und die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Spannungssteuerungsgeräten im System bestimmt.**

### PV-Kurve



## Bemerkungen zur PV-Kurve

- Die Spannungsabhängigkeit der Lasten beeinflusst den Punkt des Spannungseinbruchs. Am Punkt des Spannungseinbruchs wird das Stromnetz spannungsinstabil. Die Spannungen sinken schnell, da unendlich viel Blindleistung benötigt wird.
- Der untere Teil der PV-Kurve (links vom Spannungseinbruchspunkt) ist statisch stabil, aber dynamisch instabil.



## Bemerkungen

- Spannungsstabilität kann auch als "Laststabilität" bezeichnet werden. Ein Stromversorgungssystem ist nicht in der Lage, eine unendliche Menge an elektrischer Leistung an die Verbraucher zu übertragen.
- Das Problem der Spannungsstabilität betrifft das gesamte Stromversorgungssystem, obwohl es in der Regel in einem kritischen (lokalen) Bereich des Stromversorgungssystems eine große Rolle spielt.
- Die Spannungsstabilität ist ein Problem in Stromnetzen, die stark belastet oder gestört sind oder in denen ein Mangel an Blindleistung herrscht. Die Art der Spannungsstabilität kann durch Untersuchung der Erzeugung, Übertragung und des Verbrauchs von Blindleistung analysiert werden.
- Weitere Faktoren, die zur Spannungsstabilität beitragen, sind die Blindleistungsgrenzen des Generators, die Lastcharakteristiken, die Eigenschaften der Blindleistungskompensationsanlagen und die Wirkung der Spannungsregelungsanlagen.

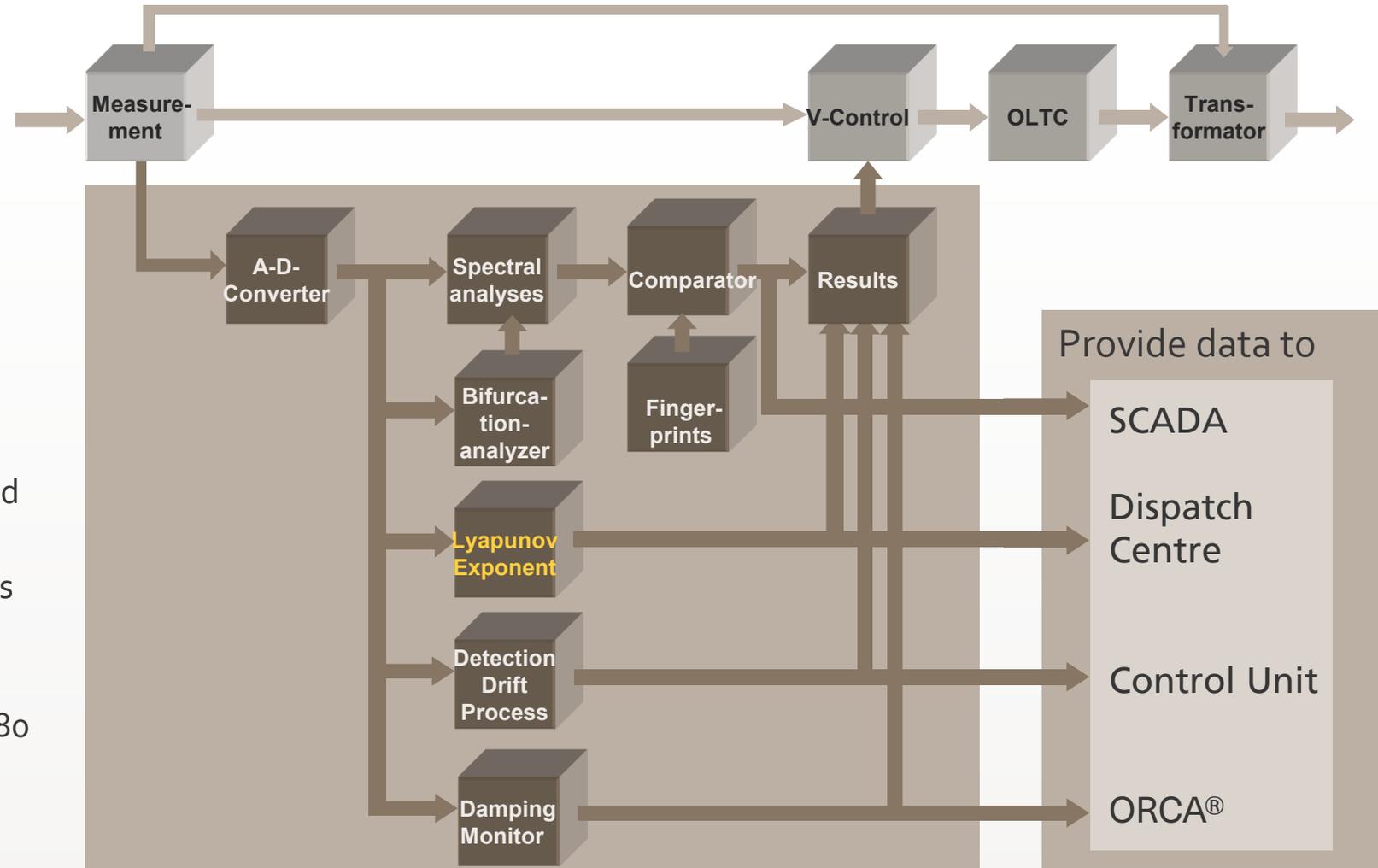
## Faktoren, die die Spannungsstabilität beeinflussen

- Die reaktiven Eigenschaften von Wechselstromübertragungsleitungen, Transformatoren und Lasten begrenzen das Maximum der Stromübertragung.
- Das Stromnetz ist nicht in der Lage, Strom über große Entfernungen oder durch einen hohen Blindwiderstand zu übertragen, da bei einem bestimmten kritischen Leistungs- oder Entfernungswert eine große Menge an Blindleistung erforderlich ist.
- Die Übertragung von Blindleistung ist aufgrund der extrem hohen Blindleistungsverluste schwierig, weshalb die für die Spannungsregelung erforderliche Blindleistung in der Regelzone erzeugt und verbraucht wird.

Starting in 1987 with Nonlinear Analysis of Power Systems

2002 – CPR-D Collapse Prediction Relay (Manufacturer: A.Eberle GmbH & Co. KG; Nuremberg)

## CPR-D – Analysis Blocks



Vom Netz zum System

- 35 years of scientific research in the field of nonlinear power systems
- Development of measurement devices – based on nonlinear systems theory – with industrial partners
- More than 350 projects, in more than 180 companies, 30 countries - all voltage levels

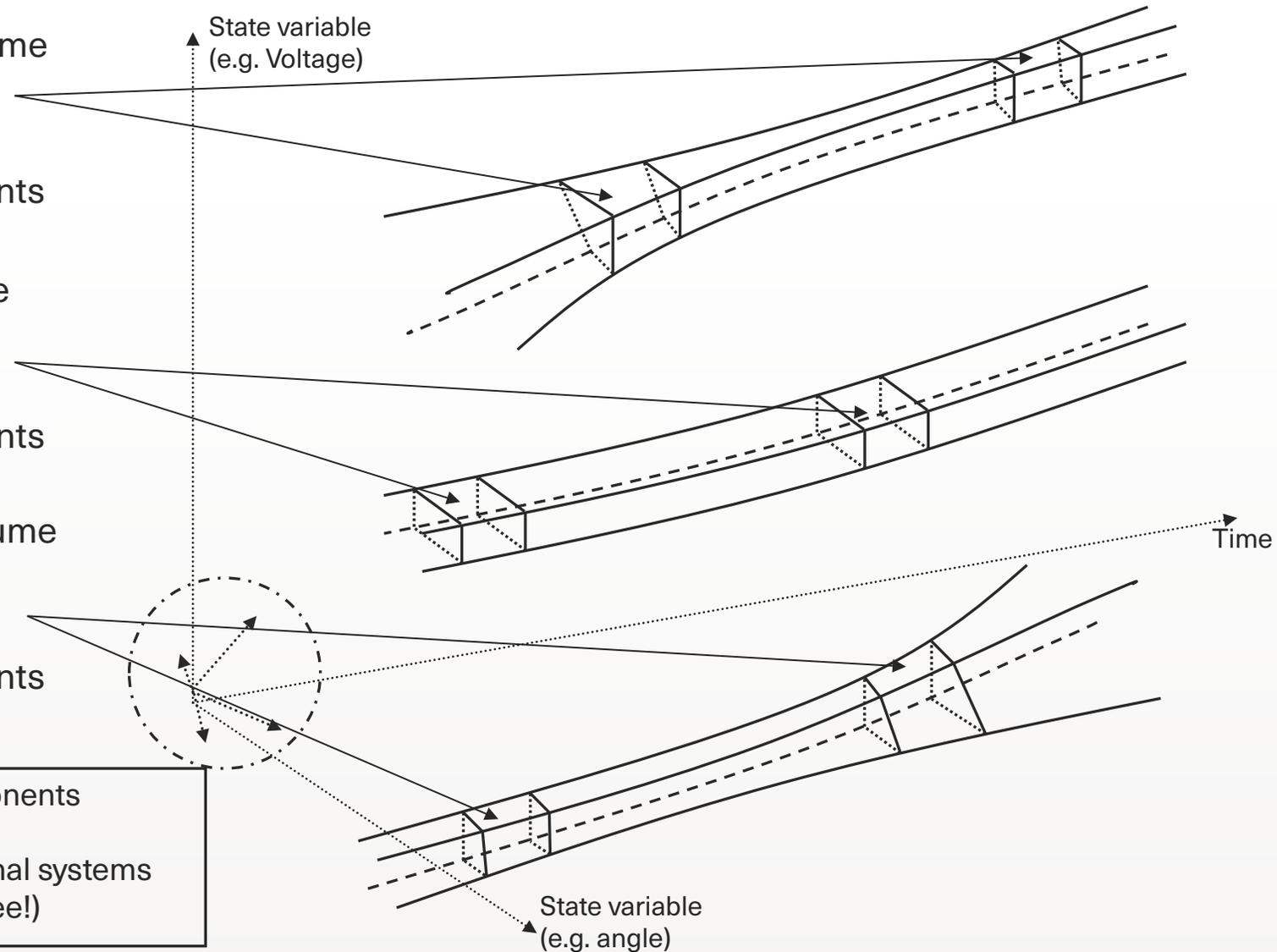
# Interpretation of Lyapunov Exponents

A decreasing volume corresponds to **negative** Lyapunov-exponents

A constant volume corresponds to **zero** Lyapunov-exponents

An increasing volume corresponds to **positive** Lyapunov-exponents

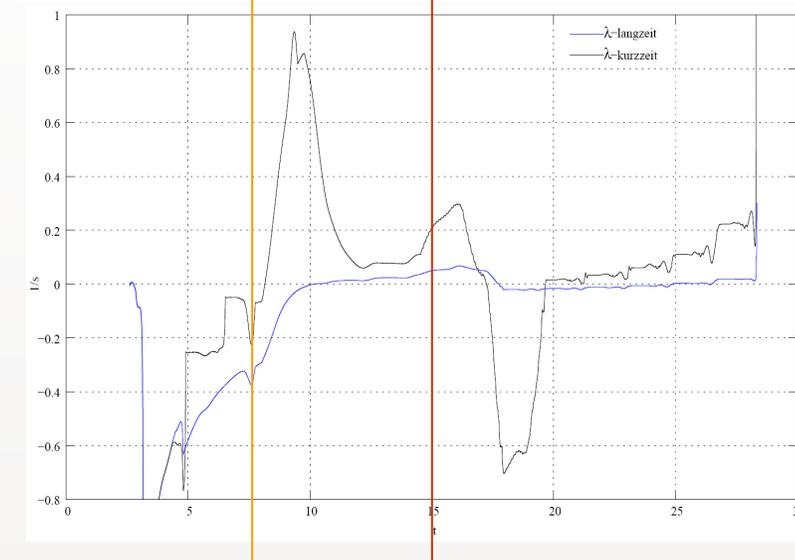
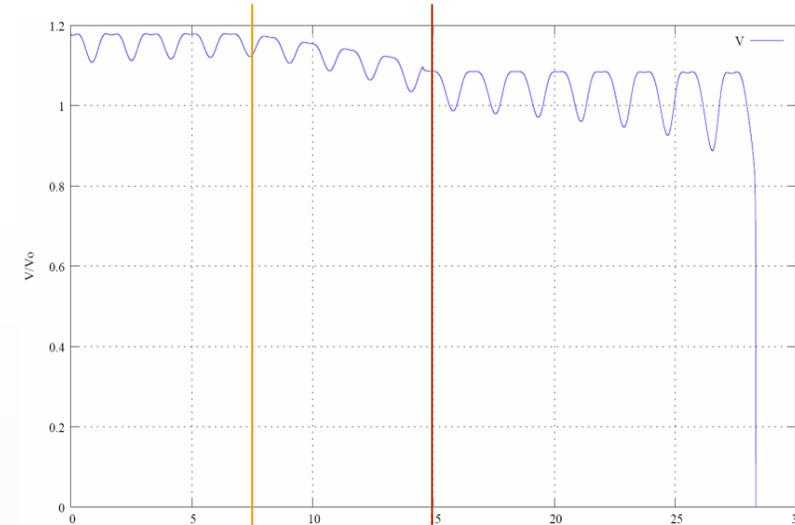
Lyapunov-Exponents are defined for multidimensional systems (more than three!)





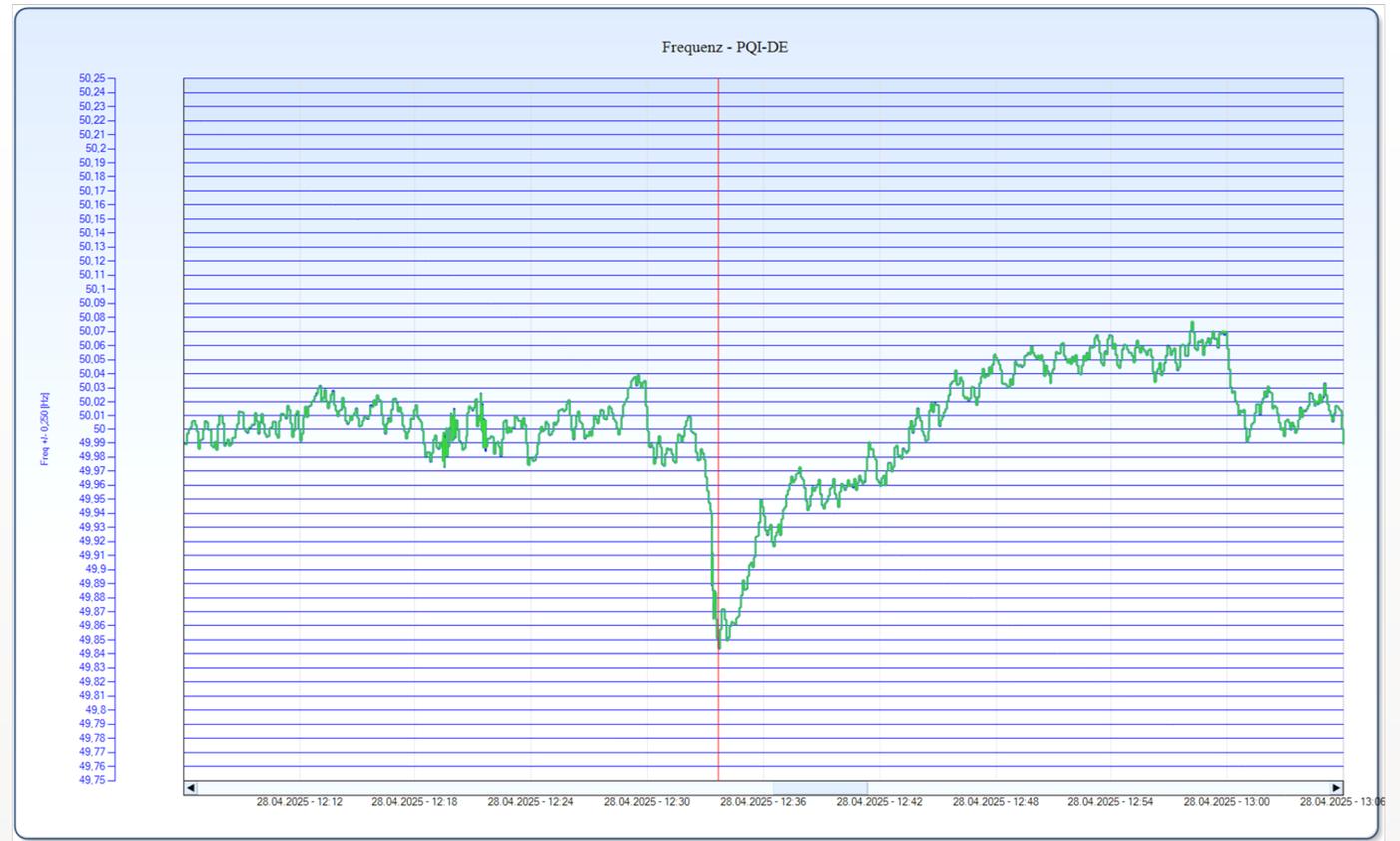
# Stability-Monitor

- Online-Monitoring of the highest Lyapunov-Exponent
- New algorithm developed especially for power systems
- Two different smoothing processes are realized
- $t < 7.5s$  disturbance immediately before a Hopf-Point
- $7.5s \leq t < 15s$  increase of reactive power
- $15s \leq t < 30s$  no external actions



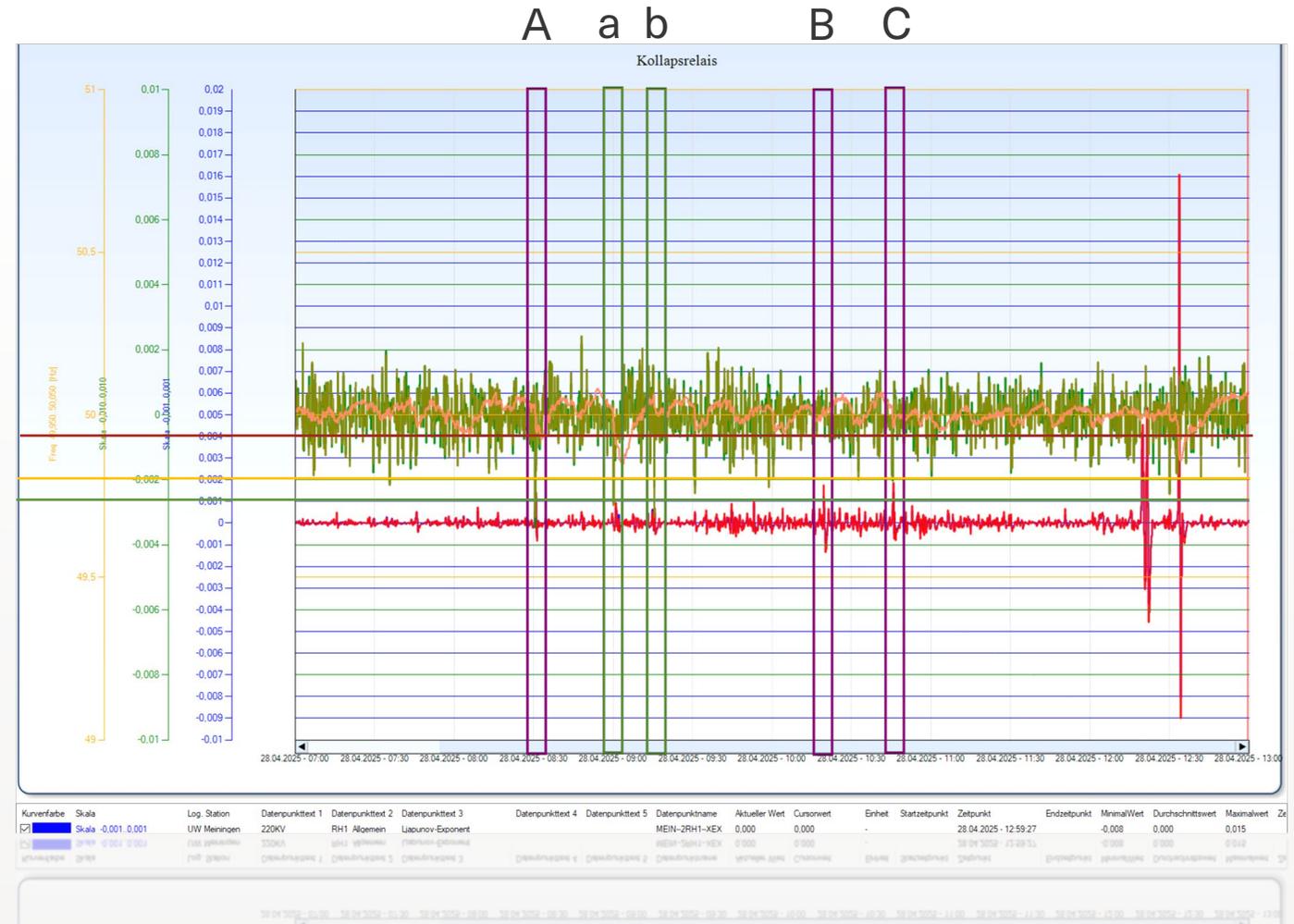
## Messungen – CPR-D 220-kV-Netz

- Frequenzmessungen an den Standorten der CPR-D-Messgeräte



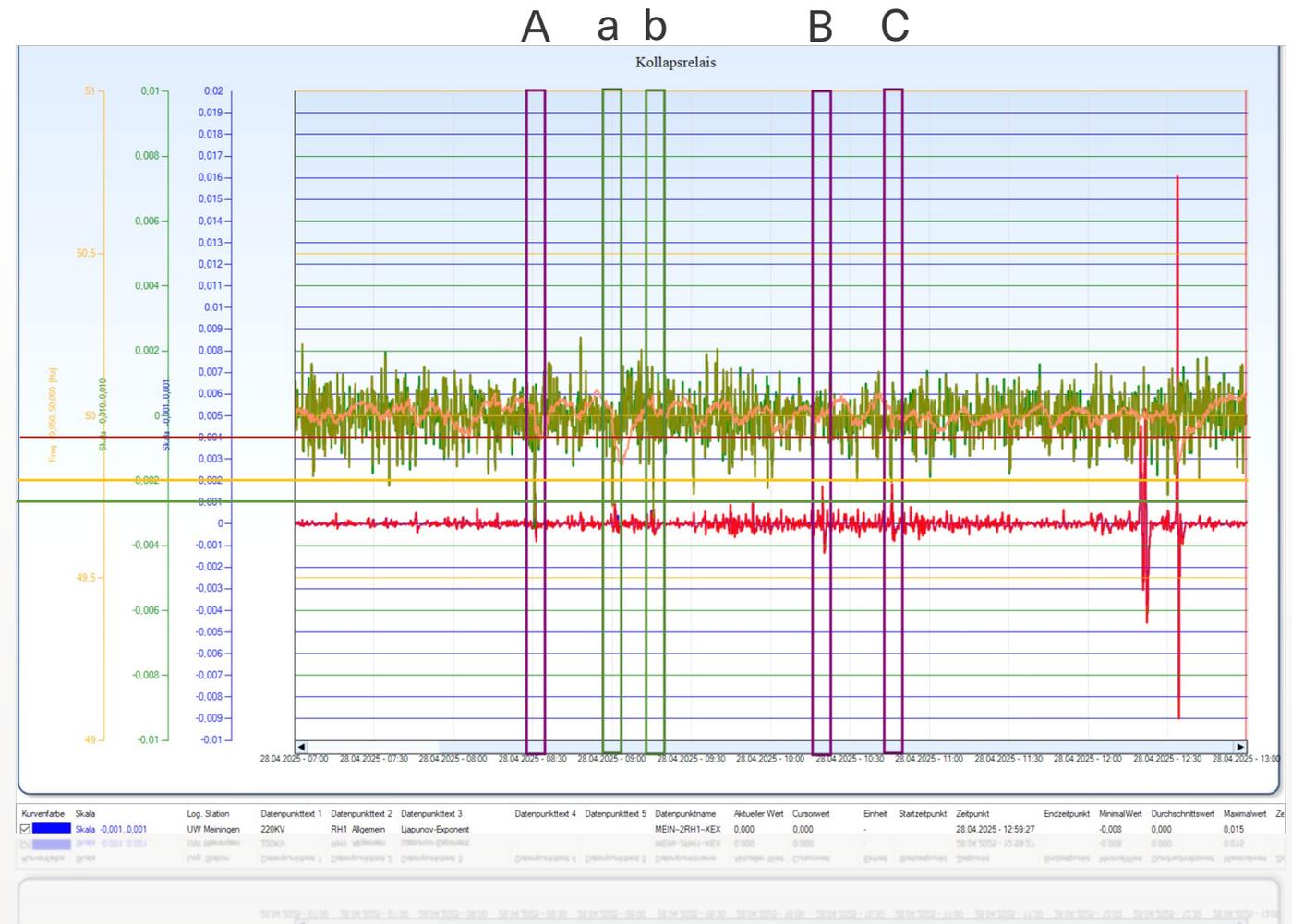
## Messungen – CPR-D 220-kV-Netz

- A: 8:30 Uhr
  - Alarmlevel 1
  - **größter Wert** des Frequenzgradienten
- B: 10:22 Uhr
  - Alarmlevel 1
  - aufklingendes Dynamikniveau
- C: 10:46 Uhr
  - Alarmlevel 2



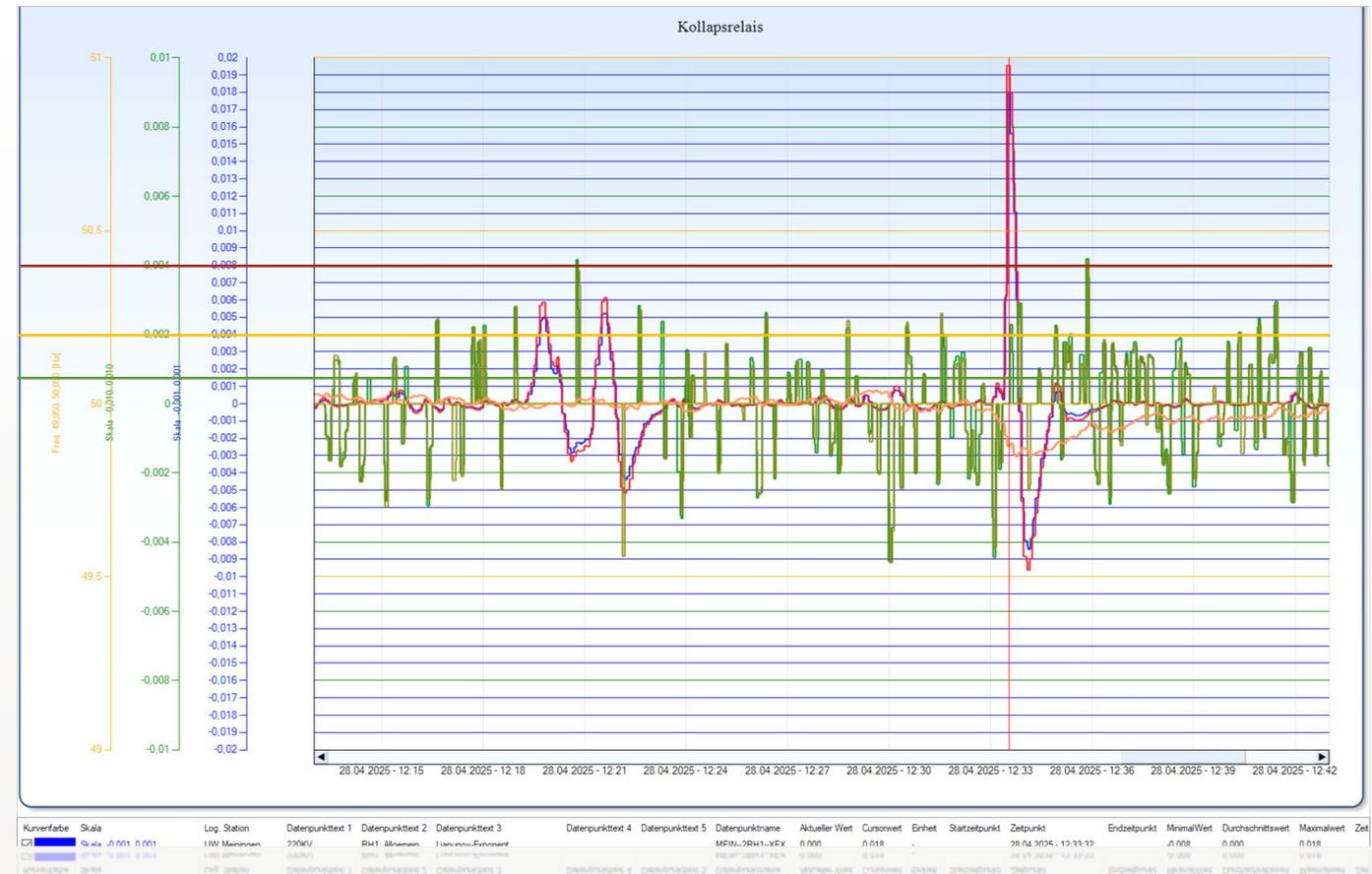
## Messungen – CPR-D 220-kV-Netz

- A: 8:30 Uhr
  - Alarmlevel 1
  - **größter Wert** des Frequenzgradienten
- B: 10:22 Uhr
  - Alarmlevel 1
  - aufklingendes Dynamikniveau
- C: 10:46 Uhr
  - Alarmlevel 2
- a: 9:15 Uhr
  - Frequenzgradienten
- b: 9:30 Uhr
  - Frequenzgradienten



## Messungen – CPR-D 220-kV-Netz

- Die letzten 15 Minuten!



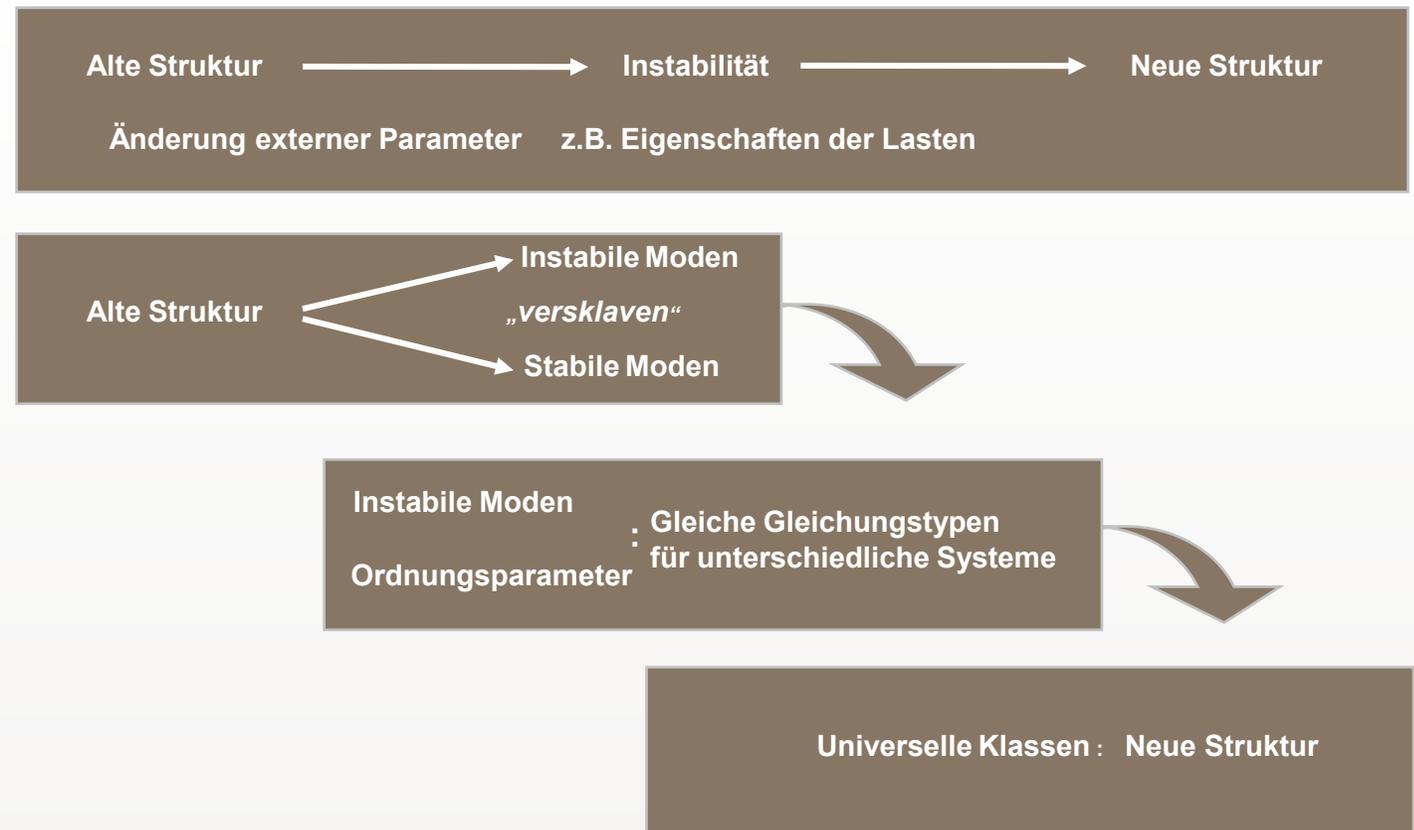
## Unser damaliges Motto

***Get time to react!***

***Aber wie?***

## 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



Analysen der Bifurkationskurven geben Aufschluss über das Systemverhalten – Zeitreihenanalysen leider nicht!

## Notwendige Analysen für Oszillationsprozesse

- Starten mit:
  - ➔ Punkt:
    - ▶ Orbit klassische Analysen
    - ▶ Ruhelage (Equilibrium)

---

- ➔ Ruhelage:
  - ▶ Verzweigungspunkt (Branching Point) Singularitäten entlang einer Ruhelagenkurve
  - ▶ Grenzpunkt (Limit Point)
  - ▶ Hopf-Punkt (Hopf Point)
- ➔ Grenzpunkt Singularitäten entlang einer Grenzpunktkurve
  - ▶ Zyklischer Verzweigungspunkt (Cycle Branching Point)
  - ▶ Zyklischer Grenzpunkt (Cycle Limit Point)
  - ▶ Periodenverdopplung (Period Doubling)
  - ▶ Neimark-Sacker-Bifurkation
- ➔ ...

## Und der Unsinn wird immer wieder fortgesetzt ...

- ➔ Klassische Zeitreihensimulationen sind kein geeignetes Mittel, nichtlineare Systeme dynamisch zu analysieren!
  - ▶ Es existieren in der Regel unendlich viele Lösungen in Abhängigkeit der Anfangsbedingungen
  - ▶ Es müssen zudem systematische Parameterstudien durchgeführt werden
  
- ➔ Maffezzoni, P.; Codecasa, L.; D'Amore, D.:  
Time-Domain Simulation of Nonlinear Circuits Through Implicit Runge-Kutta Methods  
IEEE Transactions on Circuits and Systems – I: Regular Papers, Vol 54, No. 2, February 2007  
  
*"In this paper, we have shown that the time-domain simulation of important classes of circuits, such as oscillators, filters or strongly nonlinear switched circuits, through conventional multistep integration methods **can be rather inaccurate or even unreliable due to the numerical instability of such techniques.**"*  
  
*The instability of high-order multistep methods that is well known from a theoretical point of view as stated by the Dahlquist barrier concept [8, 1963], can be even more severe in those implementations in which the nature of the problem forces the usage of a varying integration time step."*

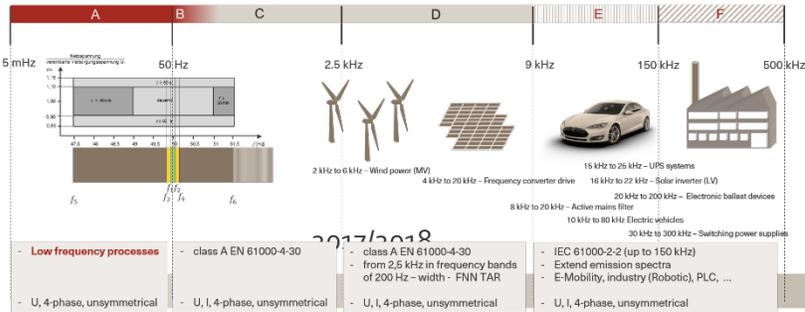
## Wesentliche Eigenschaften nichtlinearer Elektroenergiesysteme

- Ein dynamisches System kann nicht jeden beliebigen Zustand annehmen
- Ein dynamisches System durchläuft auf dem Weg von einem Zustand zu einem Nächsten nur dynamisch „erreichbare“ Zustände
- Welche Zustände überhaupt eingenommen werden können, hängt von den Eigenschaften des Systems ab – von der Struktur der beteiligten Nichtlinearitäten
- Der Übergang von einem Zustand zu einem Anderen, wobei das System qualitativ seine Eigenschaften ändert, hängt von nur sehr wenigen Parametern (Ordnungsparameter) ab (Synergetik).
- Eigenschaften stochastischer Prozesse können auf äquivalente Nichtlinearitäten umgerechnet werden!
- **Die Eigenschaften können in einer praktischen Umsetzung direkt ausgewertet werden!**
- **KRI's werten die Eigenschaften aus und „übersetzen“ den dynamischen Zustand des Systems!**

## Forderungen aus der Theorie nichtlinearer Systeme

- ➔ Modellunabhängige Methoden und Verfahren
  - ▶ Kein Modell der Welt entspricht der tatsächlichen Netzsituation
  - ▶ On-line-Identifikation von Modellparametern sehr schwierig (oder unmöglich)
  - ▶ Lasteigenschaften unbekannt und nicht online identifizierbar
- ➔ Ausschließlich Analysen der Dynamiken
  - ▶ dezentral
  - ▶ lokale Intelligenz
  - ▶ unabhängig von koordinierender Stelle
- ➔ Ausschließlich Methoden basierend auf der Theorie nichtlinearer und stochastischer Systeme
  - ▶ Unabhängigkeit von Formparametern der Systemgrößen (z.B. sinusförmig)
- ➔ ABER: Lokale Repräsentanz der Gesamtdynamik notwendig

Frequency Range of VDE/FNN TAR / EC-Grid-Codes *plus Extended Range*



Synergetic submodels **SMo** for the detection of special effects – related to bifurcation analysis – especially resonance processes

- KRI 1: Islanding Detection
- KRI 2: FRT-Monitoring
- KRI 3: Protection Schemes – Coordination
- KRI 4: Protection Schemes – Reliability Status
- KRI 5: Nonlinear S
- KRI 6: Nonlinear S
- KRI 7: Nonlinear S
- KRI 8: ANSI C57.1
- KRI 9: Low Freque
- KRI 10: Low Freque
- KRI 11: Modelling
- KRI 12: Modelling
- KRI 13: Modelling
- KRI 14: Modelling
- KRI 15: Modelling
- KRI 16: PQ-Analysis
- KRI 17: Unsymmetri
- **KRI 18: Compliance**
- KRI 19: Synchroniz
- KRI 20: Resilience
- KRI 21: FRT-Monitoring
- KRI 22: RoCoF
- KRI 23: Frequency-Authorizing

For every **KRI®**, there exist an inverse **SMo**, with which it is possible to „play“ the dynamics

Like an „MP3-Player“

Part of our **Synergetic Digital Twin**

**New Requirements**

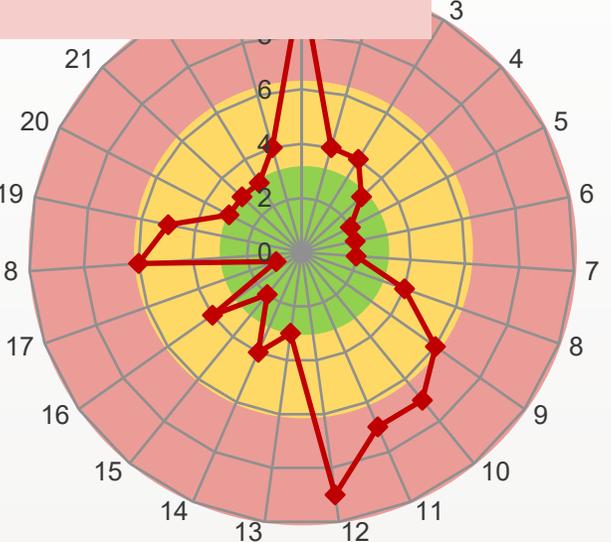
- Islanding, FRT-U
- Protection Scheme
- Stress Factors
- Stability
- Models
- Aging
- PQ extended
- Compliance
- Frequency

Incorporation of further **KRI®** as „test functions“ for reliability status

**Synergetic Digital Twin**

**At the moment: > 120 KRI®**

- Special models for
- E-Mobility applications
  - Cable (stress factors)
  - Aging models
  - ...



Vom Netz zum System

The EC-Grid-Code regulations make the monitoring of operating conditions, including complex interrelationships, mandatory!

The KRI – Key Reliability Indicator – can measure and evaluate all required interrelationships!

## Provision, assurance and quality assurance of new system services

Hamburg, Juni 2025

22

Michael Fette

Digital Nonlinear Power Systems

### Selection of available KRI

## KRI® - Key Reliability Indicator

KRI #	Key Reliability Indicator	KRI #	Key Reliability Indicator	KRI #	Key Reliability Indicator
1	Islanding Detection	25	VPE Cable - Reliability Status	200	Control Schemes
2	FRT-Monitoring	26	Paper isolated Cable - Reliability Status	201	V-Control
3	Protection Schemes – Coordination	27	HVDC Cable - Reliability Status	202	Q-Control
4	Protection Schemes – Reliability Status	28	Flexibility Condition - Reliability Status	203	Damping Monitoring – Control
5	Nonlinear Stress – Ferroresonance	29	CIM-BIM-TGA Condition - Reliability Status	204	Inertia Monitoring
6	Nonlinear Stress – VT's / CT's-Reliability	30	E-Mobility Control	205	EV Load Control - Wallboxes etc.
7	Nonlinear Stress – Converter Reliability	31	Bifurcational Control – Hopf	206	BHKW – Control
8	ANSI C57.110 k-Factor-Rating	32	Stability Monitoring – Subsystem	207	FACTS – Control
9	Low Frequency Bands – Stability	33	Nonlinear Distortion Factor ABCEDF	208	Bifurcation Control II - Bogdanov Takens
10	Low Frequency Bands – Dynamics	34	Dynamically Efficient Short Circuit Power	209	Damping Control – Coordination
11	Modelling – State observation	35	Damping Monitoring	210	SSR-Control Subsynchronous Resonances
12	Modelling – Controller settings – Reliability	36	Stability Coefficient – Lyapunov	211	Gas Turbine Control
13	Modelling – Aging Process – Reliability	37	Relaxation-Time Constant (Stab-Exp)	212	Co-Generation Plant Gas Engine
14	Modelling – Aging Process – Health Index	38	SSR - Subsynchronous Resonances	213	Co-Generation Plant Diesel Engine
15	Modelling – ITIC Characteristic Industrial Load	39	Interarea Modes	214	CHP Power Station (GuD)
16	PQ-Analysis – Extended Standard – E-Mobility	40	Local Dynamical Mode	215	Bumpless- controller – general properties
17	Unsymmetry Management – NS-Netze	41	Torsional Mode #1	216	Mastercontroller for Intelligent Substations
18	Compliance-Monitoring	42	Torsional Mode #2	217	PV-Inverter Control (current source type)
19	Synchronization	43	Torsional Mode #3	218	PV-Inverter Control (voltage source type)
20	Resilience-Status	44	Supersynchronous Mode		
21	FRT-Monitoring – Frequency	45	Cusp	106	New Load Flow Calculation 2.0 – dyn. Aspects
22	RoCoF	46	Tower Effect > 1 MW	107	New Short Circuit Calculation 2.0 – dyn. Aspects
23	Frequency-Authorizing	47	Tower Effect < 1 MW	108	Damping Calculation – Frequency Domain
24	Motor Drives - Reliability Status	48	Wind Turbine – DFIG	109	Damping Calculation – Time Domain

Rot: *obligatorisch nach EU-Grid-Code-Verordnungen*  
 Schwarz: *ergänzende Aspekte, notwendig zur Systembewertung*

## Frequenz- und Zeitbereichs-Analysen zur Messung und Bewertung von Systemeigenschaften

**Synergetic Modelle** zur Ermittlung von speziellen physikalischen Effekten – Nutzung von nichtlinearen Analysen, insbesondere Bifurkations-Analysen sowie Resonanzprozesse

Bewertungen und Gewichtungen der SMO bezogen auf deren Wirkungen im System sind mit **KRI**<sup>®</sup> – Key Reliability Indicators - abgebildet

- Nutzung von Zeit- und Frequenz-Bereich des Systems

- A: Subharmonische Oszillationen
- B: Nennfrequenzbereich - TAR
- C: PQ-Bereich nach ISO 61000-4-30
- D: Erweiterter Frequenz-Bereich  
TAR bis 9 kHz in 200 Hz-Intervallen beginnend von 2,5 kHz
- T: Zeitbereich

- Evaluierung von dynamischen Eigenschaften mit spezifischen SMO
- Gewichtete und bewertete SMO sind die Grundlage für **KRI**<sup>®</sup> (Key Reliability Indicator)

KRI	Description	Frequency domain				Time
		A	B	C	D	T
KRI 1	Islanding Detection	x	x	x		
KRI 2	FRT-Monitoring	x	x			x
KRI 3	Protection Schemes – Coordination	x	x			x
KRI 4	Protection Schemes – Reliability Status	x	x	x		x
KRI 5	Nonlinear Stress – Ferroresonance	x	x			
KRI 6	Nonlinear Stress – VT's / CT's-Reliability	x	x			
KRI 7	Nonlinear Stress – Converter Reliability	x	x			
KRI 8	ANSI C57.110 k-Factor-Rating	x	x	x	x	
KRI 9	Low Frequency Bands – Stability	x	x			
KRI 10	Low Frequency Bands – Dynamics	x	x			
KRI 11	Modelling – State observation	x	x			x
KRI 12	Modelling – Controller settings – Reliability	x	x			x
KRI 13	Modelling – Aging Process – Reliability	x	x	x	x	
KRI 14	Modelling – Aging Process – Health Index	x	x	x	x	
KRI 15	Modelling – ITIC Characteristic Industrial Load	x		x	x	x
KRI 16	PQ-Analysis – Extended Standard – E-Mobility			x	x	
KRI 17	Unsymmetry Management –LV-Grids	x	x	x		x
KRI 18	Compliance-Monitoring	x	x	x		x
KRI 19	Synchronization	x	x	x		x
KRI 20	Resilience-Status	x	x	x		x
KRI 21	FRT-Monitoring – Frequency	x	x	x		x
KRI 22	RoCoF	x	x	x		x
KRI 23	Frequency-Authorizing	x	x	x		x
KRI 24	Motor-Drives – Reliability Status	x	x	x		x
KRI 25	VPE-Cable – Reliability Status	x	x	x	x	x
KRI 26	Paper isolated Cable – Reliability Status	x	x	x	x	x
KRI 27	HVDC Cable – Reliability Status	x	x	x	x	x
KRI 28	Flexibility Condition – Reliability Status	x	x	x		x
KRI 29	E-Mobility-Control	x	x	x		x
KRI 30	Bifurcational Control	x	x	x		
KRI 31	Stability Monitoring	x	x	x	x	
KRI ...	Efficient Dynamical Short Circuit Power	x	x	x		x

Rot: *obligatorisch nach EU-Grid-Code-Verordnungen*  
 Schwarz: *ergänzende Aspekte, notwendig zur Systembewertung*

## Frequenz- und Zeitbereichs-Analysen zur Messung und Bewertung von Systemeigenschaften

Synergetic Modelle zur Ermittlung von speziellen physikalischen Effekten – Nutzung von nichtlinearen Analysen, insbesondere Bifurkations-Analysen sowie Resonanzprozesse

Bewertungen und Gewichtungen der SMO bezogen auf deren Wirkungen im System sind mit **KRI**<sup>®</sup> – Key Reliability Indicators - abgebildet

- Nutzung von Zeit- und Frequenz-Bereich des Systems

- A: Subharmonische Oszillationen
- B: Nennfrequenzbereich - TAR
- C: PQ-Bereich nach ISO 61000-4-30
- D: Erweiterter Frequenz-Bereich TAR bis 9 kHz in 200 Hz-Intervallen beginnend von 2,5 kHz
- T: Zeitbereich

- Evaluierung von dynamischen Eigenschaften mit spezifischen SMO
- Gewichtete und bewertete SMO sind die Grundlage für **KRI**<sup>®</sup> (Key Reliability Indicator)

KRI	Description	Frequency domain				Time	
		A	B	C	D	T	
KRI 1	<i>Edge-Computing im Feld</i>	x	x	x			
KRI 2		x	x			x	
KRI 3		x	x			x	
KRI 4		x	x	x		x	
KRI 5		- Messen	x	x			
KRI 6		- Bewerten	x	x			
KRI 7		- Steuern	x	x			
KRI 8		- Regeln	x	x	x	x	
KRI 9		- Schützen	x	x			
KRI 10			x	x			
KRI 11			x	x			x
KRI 12			x	x			x
KRI 13			x	x	x	x	
KRI 14		<i>dezentral vor Ort auf der Basis von XAI-Systemen</i>	x	x	x	x	
KRI 15			x		x	x	x
KRI 16					x	x	
KRI 17	<i>Unsymmetry management – LV-Grids</i>	x	x	x		x	
KRI 18	<i>Compliance-Monitoring</i>	x	x	x		x	
KRI 19	Synchronization	x	x	x		x	
KRI 20	Resilience-Status	x	x	x		x	
KRI 21	<i>FRT-Monitoring – Frequency</i>	x	x	x		x	
KRI 22	<i>RoCoF</i>	x	x	x		x	
KRI 23	<i>Frequency-Authorizing</i>	x	x	x		x	
KRI 24	Motor-Drives – Reliability Status	x	x	x		x	
KRI 25	VPE-Cable – Reliability Status	x	x	x	x	x	
KRI 26	Paper isolated Cable – Reliability Status	x	x	x	x	x	
KRI 27	HVDC Cable – Reliability Status	x	x	x	x	x	
KRI 28	Flexibility Condition – Reliability Status	x	x	x		x	
KRI 29	E-Mobility-Control	x	x	x		x	
KRI 30	Bifurcational Control	x	x	x			
KRI 31	Stability Monitoring	x	x	x	x		
KRI ...	Efficient Dynamical Short Circuit Power	x	x	x		x	

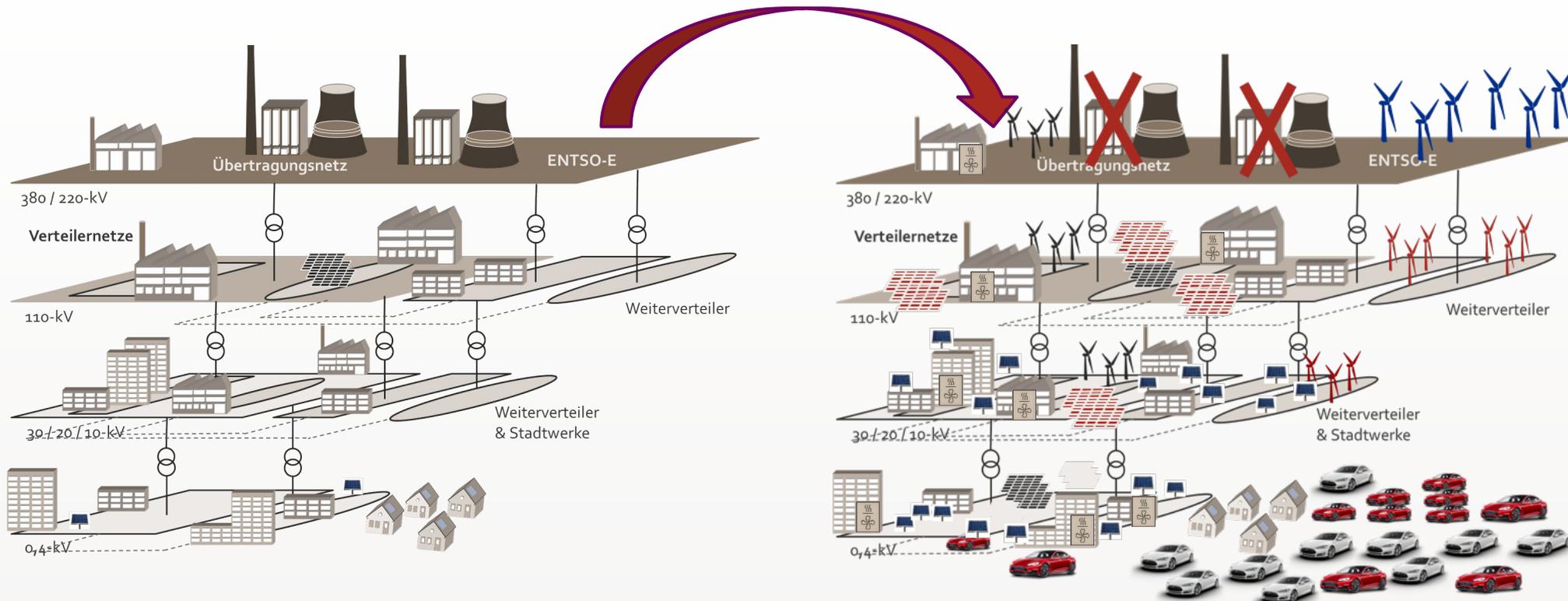
New Grid Codes are demanding for assets and grids – and create new business opportunities

Hamburg, Juni 2025

25

Michael Fette  
Digital Nonlinear Power Systems

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



*To discuss, one have to consider a complex and very sophisticated case in power system dynamics.*

## Why does it work in history?

### Important Paper

- The irrelevance of electric power system dynamics for the loading margin to voltage collapse and its sensitivities  
Ian Dobson, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. 2, No. 3, pp. 263 – 280, 2011

„We analytically justify the use of static models to compute loading margins and their sensitivities and explain how the results apply to underlying dynamic models.

...

This result enables commercial software used by the power industry to monitor and avoid voltage collapse blackouts.“

### Remarkable Result

- „The paper shows that the load power margin is independent of dynamics and we suspect that this useful property is also shared by the energy function index.

...

Therefore these indices require for a power system model either a full set of differential equations or differential-algebraic equations **with the assumption or knowledge that the algebraic equations are enforced by underlying dynamics that are both fast and stable.**“

## Zwischenfazit = FAZIT

## *keine Korrektur der bisherigen Aussagen*

- Aktuell vorliegende Messdaten weisen auf einen „prototypischen“ Blackout hin, der alle Merkmale der nichtlinearen Theorie zu Kollaps-Vorgängen (Spannungs-Kollaps) erfüllt.
- Das grundlegende Problem wird im Spannungs-/Blindleistungshaushalt des Netzes liegen.
- **Abstimmung der diversen Reglereinstellungen / Schutzeinrichtungen müssen verbessert / koordiniert werden. Dämpfungsverhältnisse müssen verbessert werden!**

**Das ist zukünftig ein permanenter Prozess – und nicht nur einmalig im Netzanschlussverfahren!**

- **Der Störfall ist reproduzierbar!**

## Transition der niederfrequenten Dynamiken durch die Integration überwiegend leistungselektronischer Einspeiser, Speicher und Lasten

Verbogen, nichtlinear – aber „statisch“



Quelle: Kartoffeln (pixabay)

Verbogen, nichtlinear – aber „instabil“



Foto: House of Food / Bauer Food Experts KG

## 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!