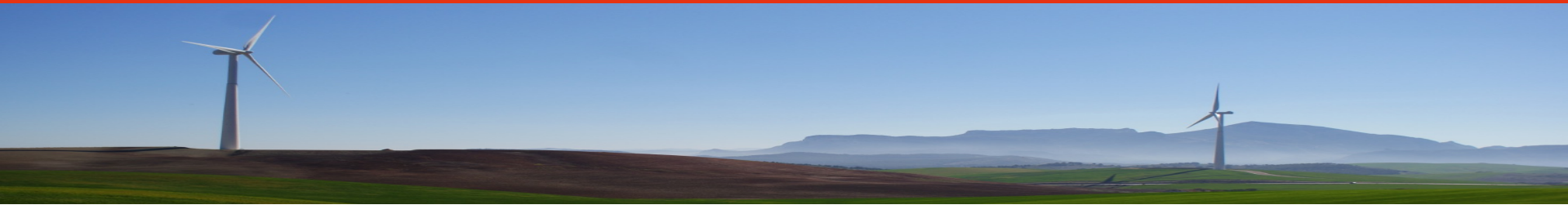


# Intelligente Verteilnetze

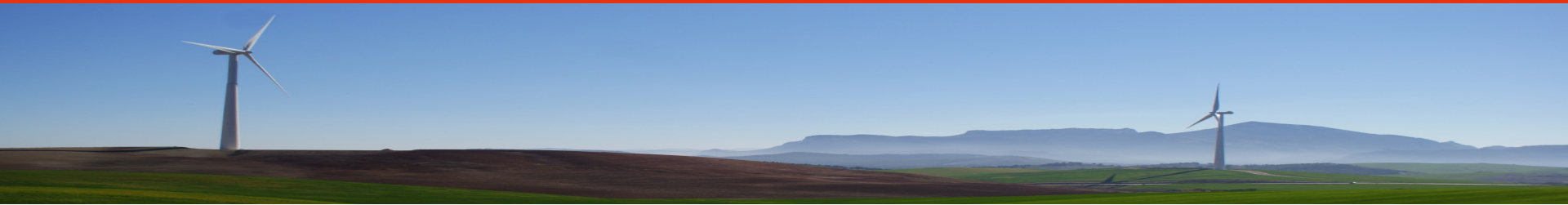
## Eine Alternative zum Netzausbau?



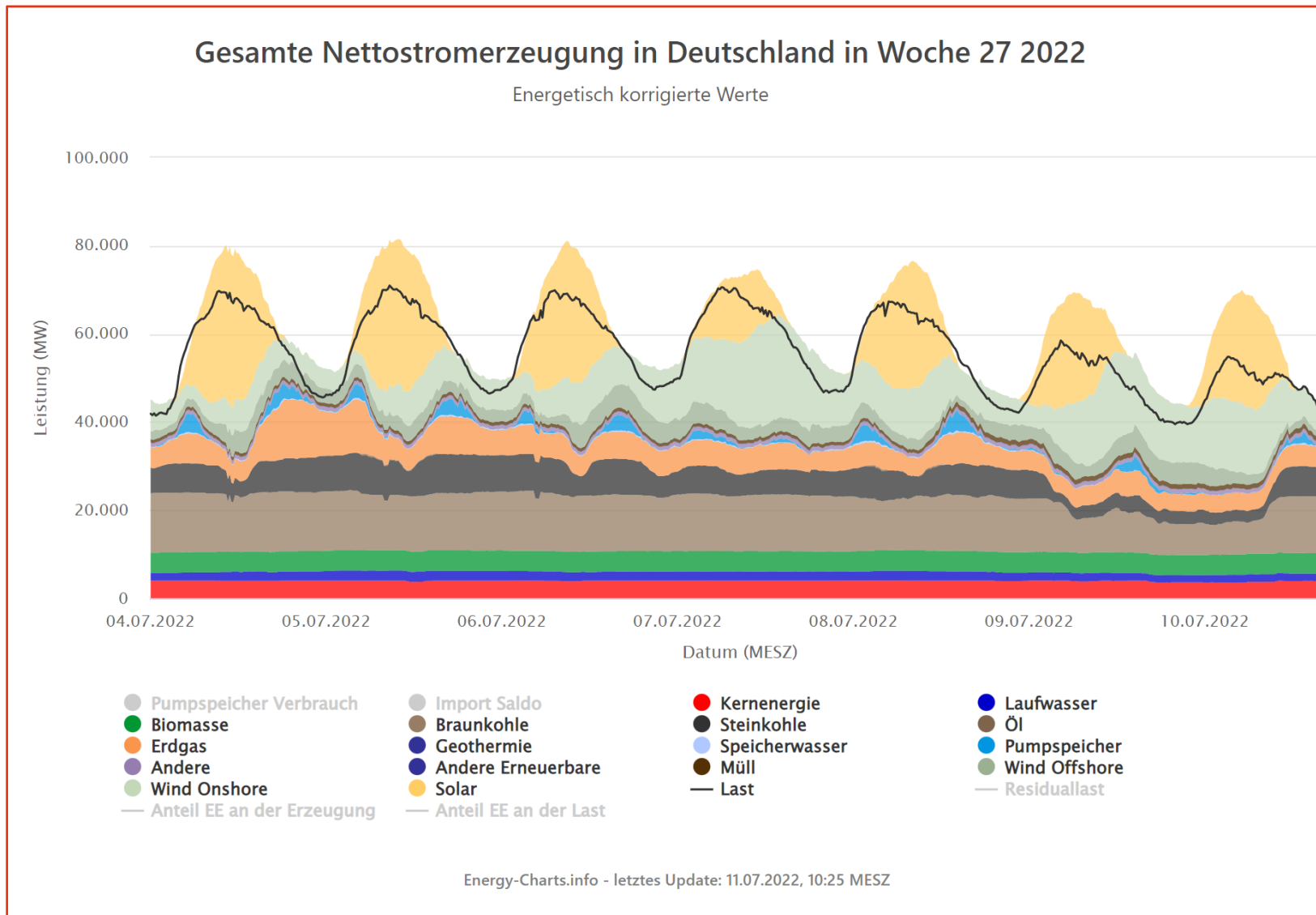
## Arbeitskreistreffen – Speicher und Netzdienstleistungen

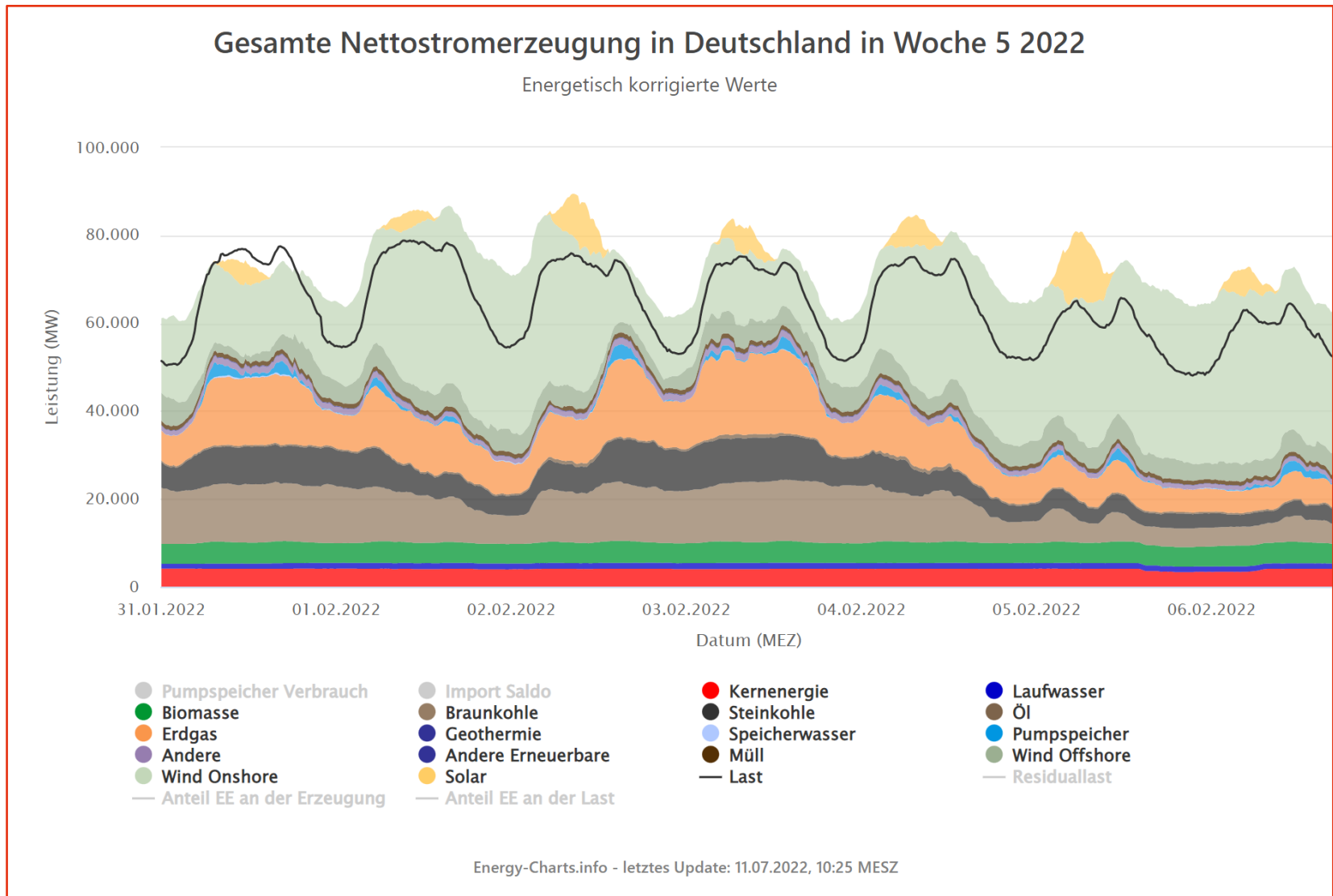


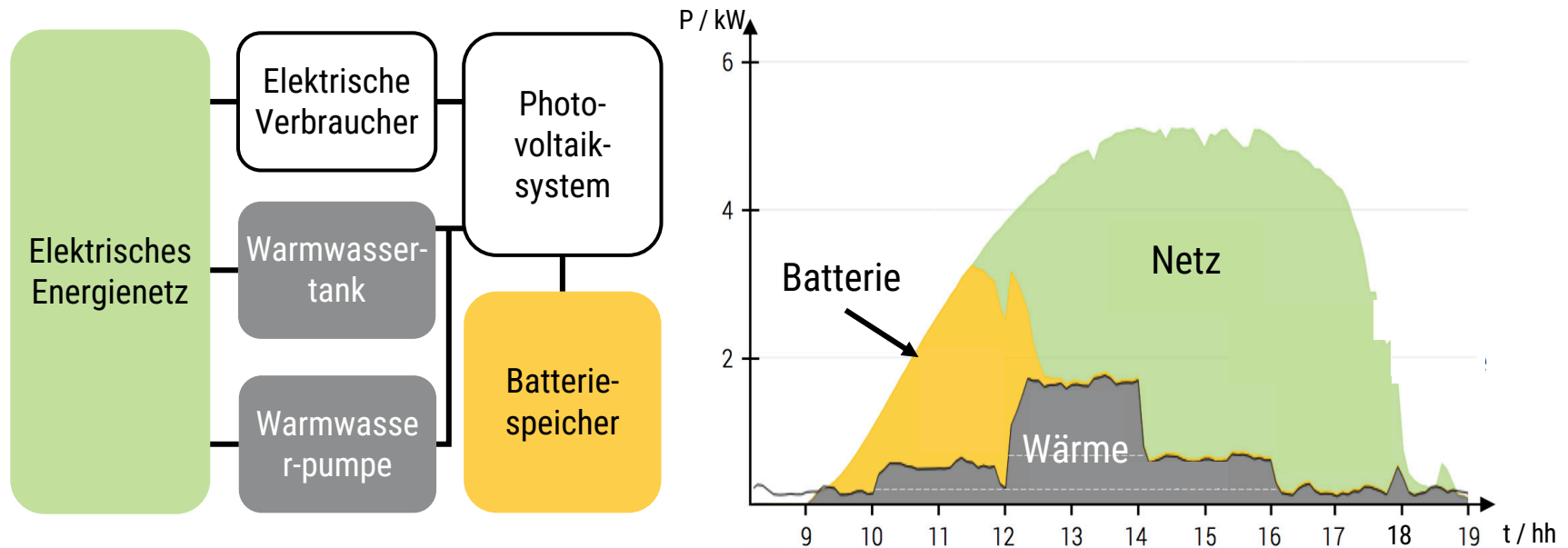
- Hintergrund
- Intelligente Verteilnetze
- Ansätze für Betriebsstrategien
- Digitaler Zwilling als Testfeld
- Zukünftige Herausforderungen



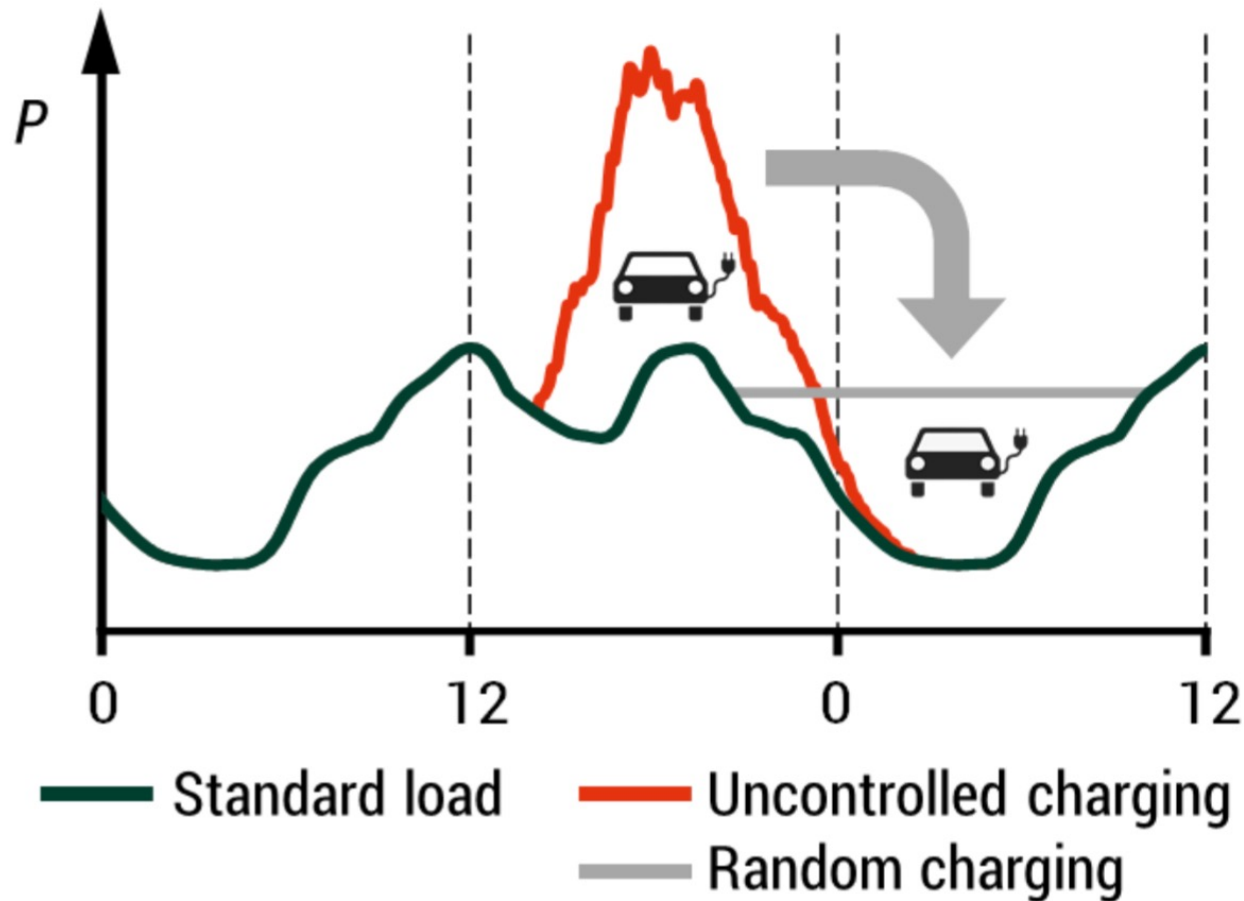
- **Hintergrund**
- Intelligente Verteilnetze
- Ansätze für Betriebsstrategien
- Digitaler Zwilling als Testfeld
- Zukünftige Herausforderungen



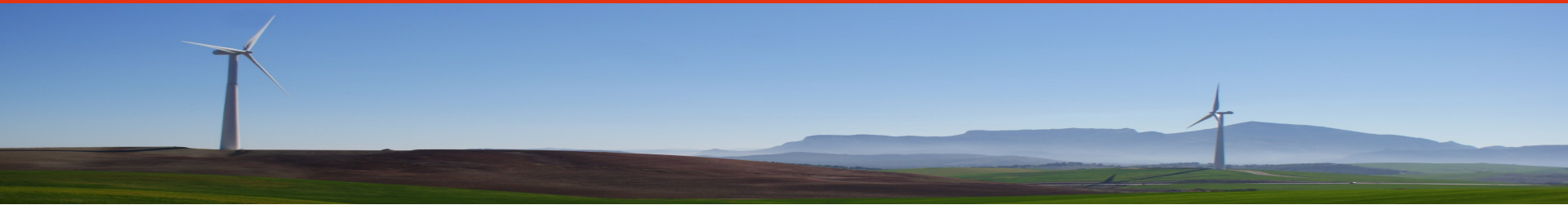




- Flexibilitätspotenziale von dezentraler Energieerzeugung am Beispiel einer Einfamilienhaus-Anlage

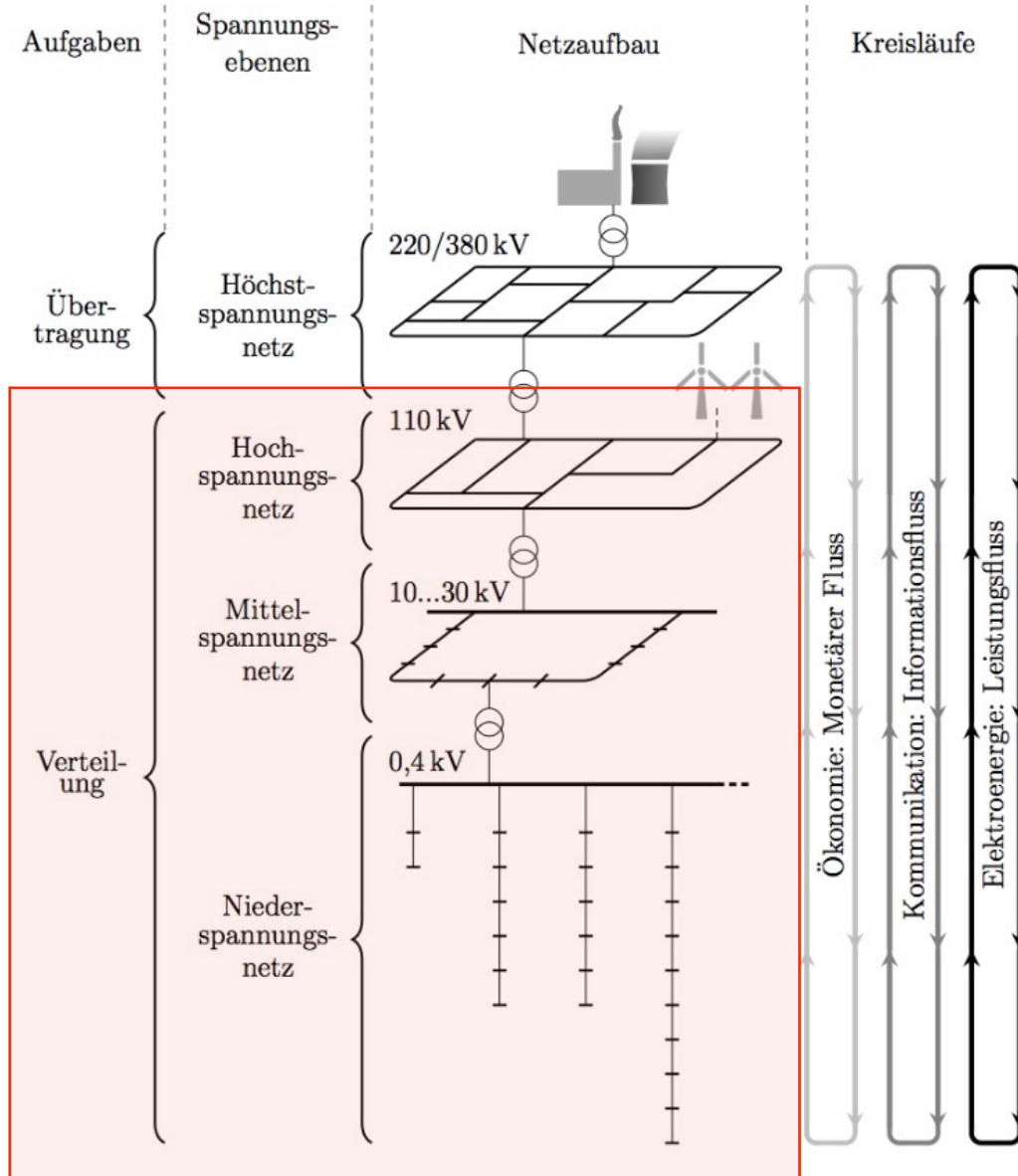


- Gesteuertes zufälliges Laden von Elektrofahrzeugen
- Verschiebung der Ladevorgänge in Schwachlastzeiten



- Hintergrund
- **Intelligente Verteilnetze**
- Ansätze für Betriebsstrategien
- Digitale Zwilling als Testfeld
- Zukünftige Herausforderungen

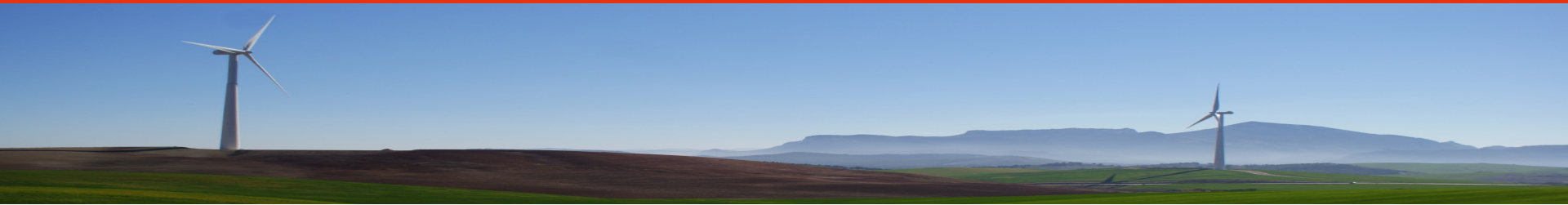




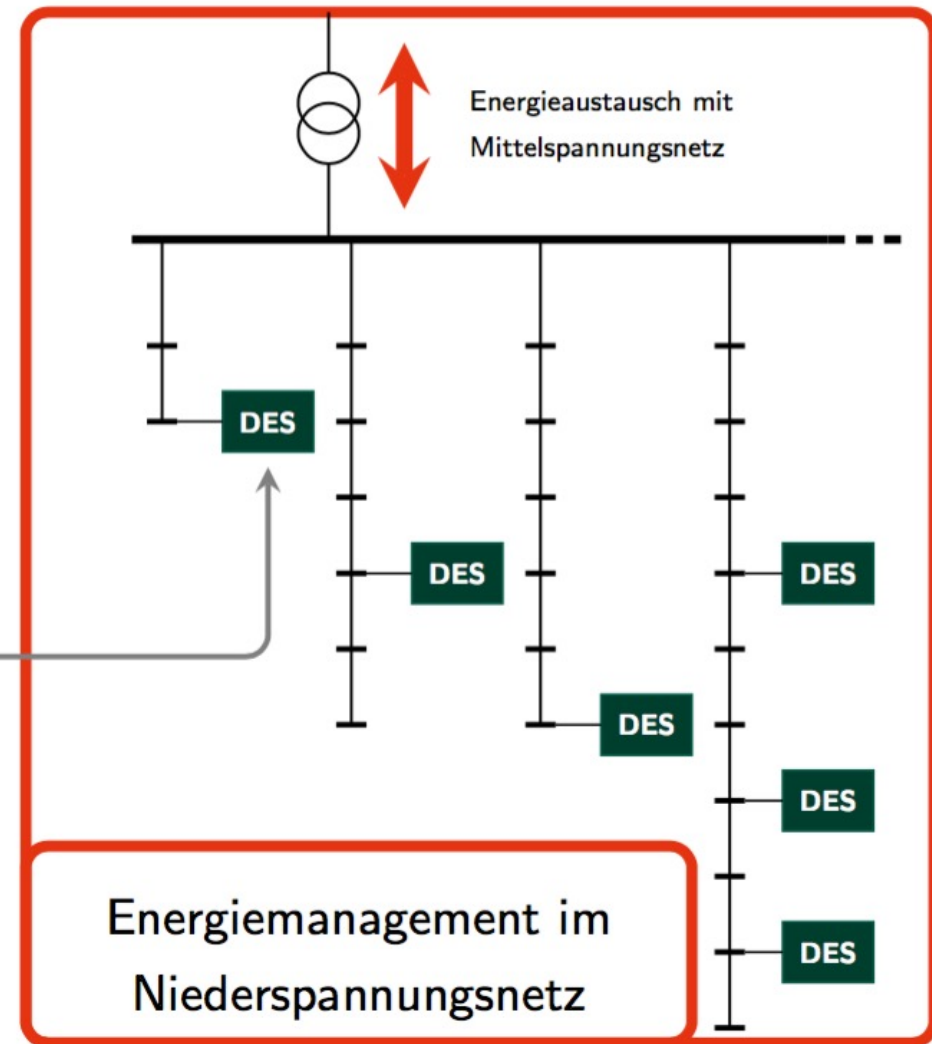
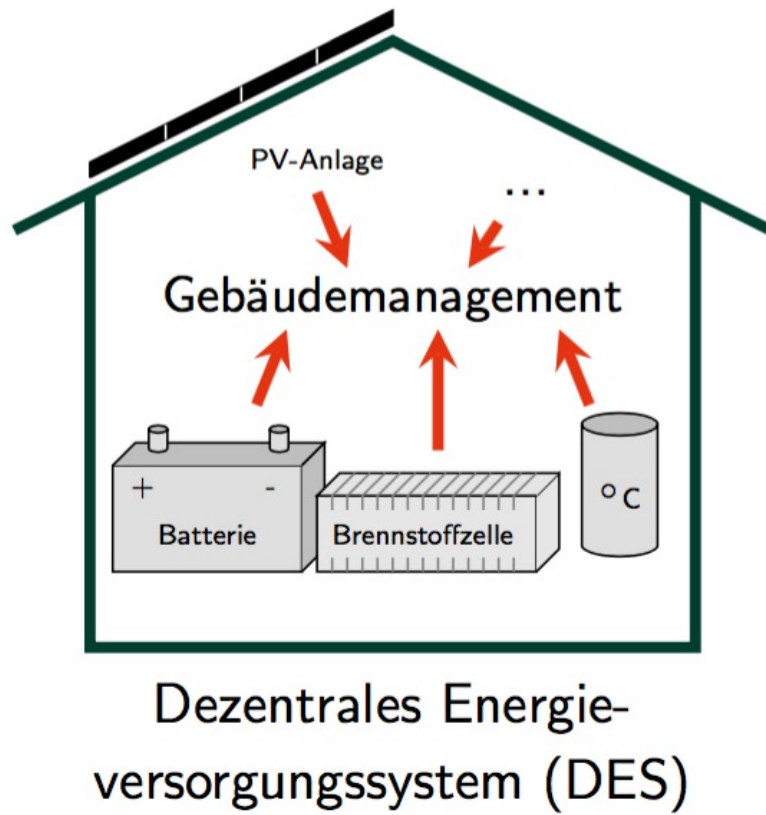
- Verteilnetzebene dient des lokalen Elektroenergie transports
- Anschluss von dezentralen erneuerbaren Energien zumeist in der Verteilnetzebene
- Versorgung von einer Vielzahl flexibler Anlagen zur Sektorkopplung
  - Elektrofahrzeuge
  - Wärmepumpen
  - Batteriespeichersysteme

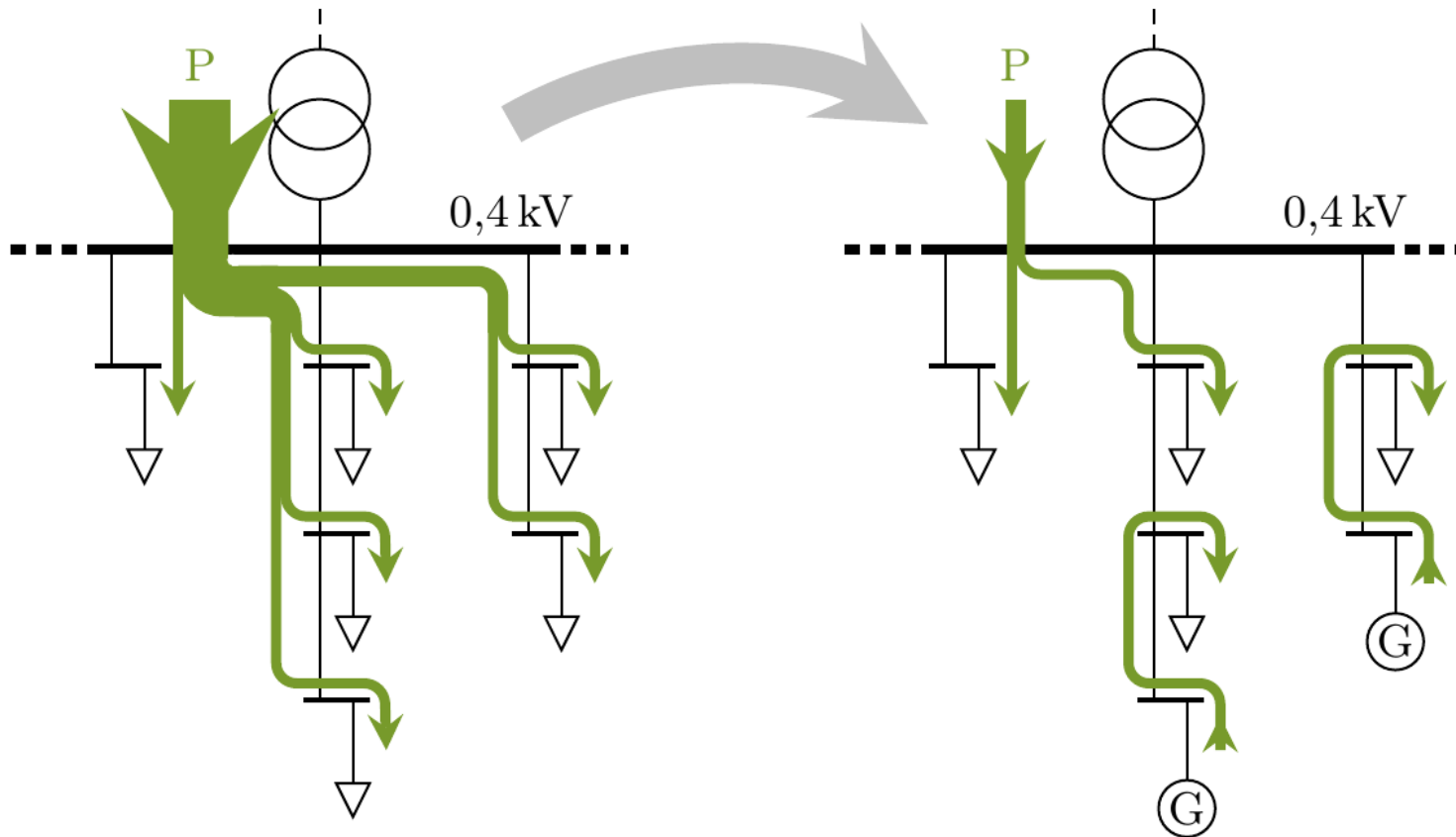
- Intelligentes Verteilnetz - Smart Grid?
- Interpretation nach VDE:

*Der Begriff Smart Grid (Intelligentes Energieversorgungssystem) umfasst die Vernetzung und Steuerung von intelligenten Erzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und verteilungsnetzen mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).*



- Hintergrund
- Intelligente Verteilnetze
- **Ansätze für Betriebsstrategien**
- Digitale Zwilling als Testfeld
- Zukünftige Herausforderungen





- Ansätze zur Beeinflussung des Leistungsfluss bei dezentraler Einspeisung
- Auswirkungen auf Netzverluste, Auslastung und Spannungsband

## Verlustbasierter Managementansatz → Bezugsgröße Leitverluste

$$f_{opt}(P_x, Q_x) = \min \left( \sum P_{LV} \right)$$

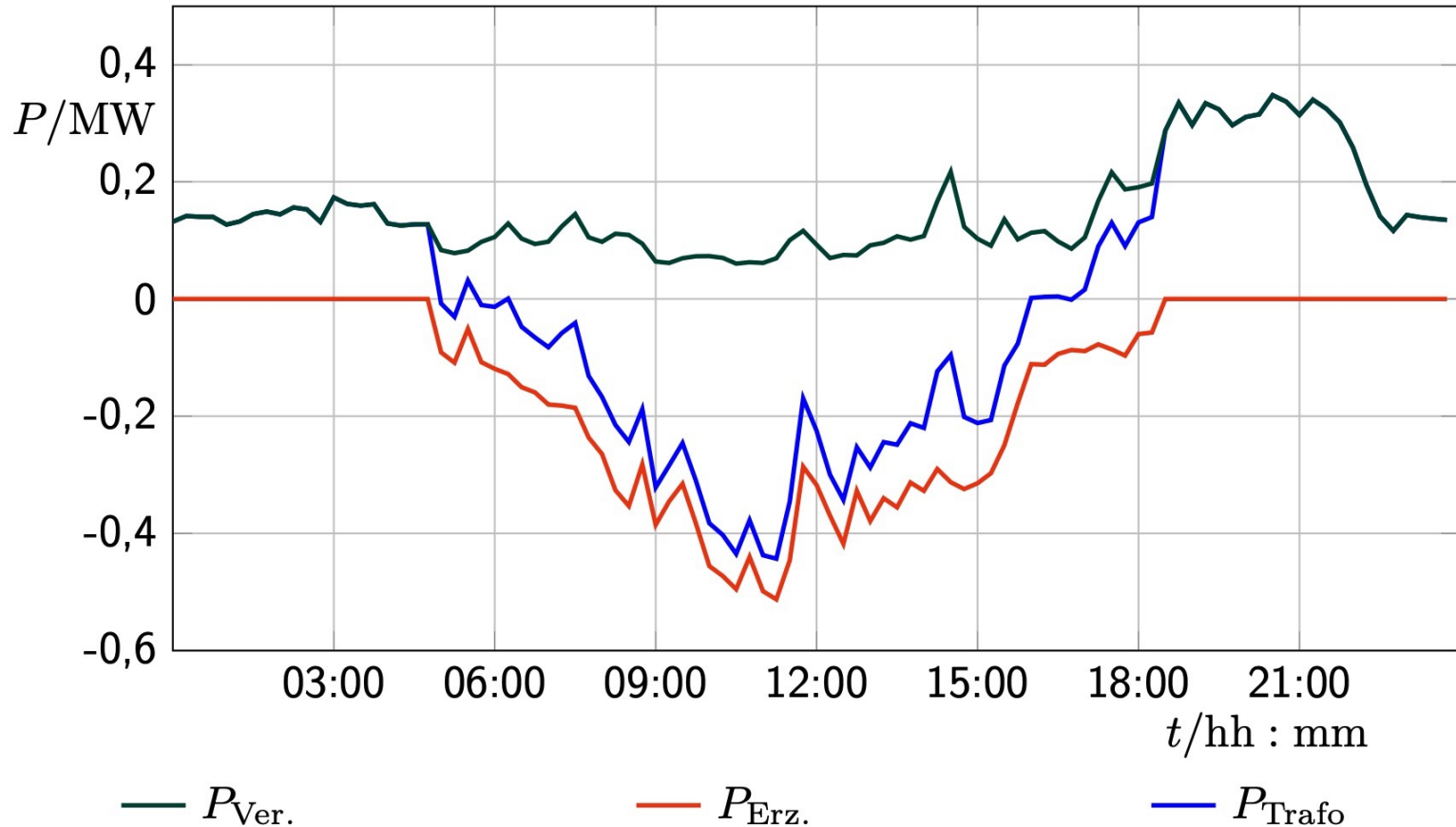
$P_x$	...	Wirkleistungen im Netz
$Q_x$	...	Blindleistungen im Netz
$P_{LV}$	...	Leitverlustleistung

## Clusterbasierter Managementansatz → Bezugsgröße Leitungsresistenzen

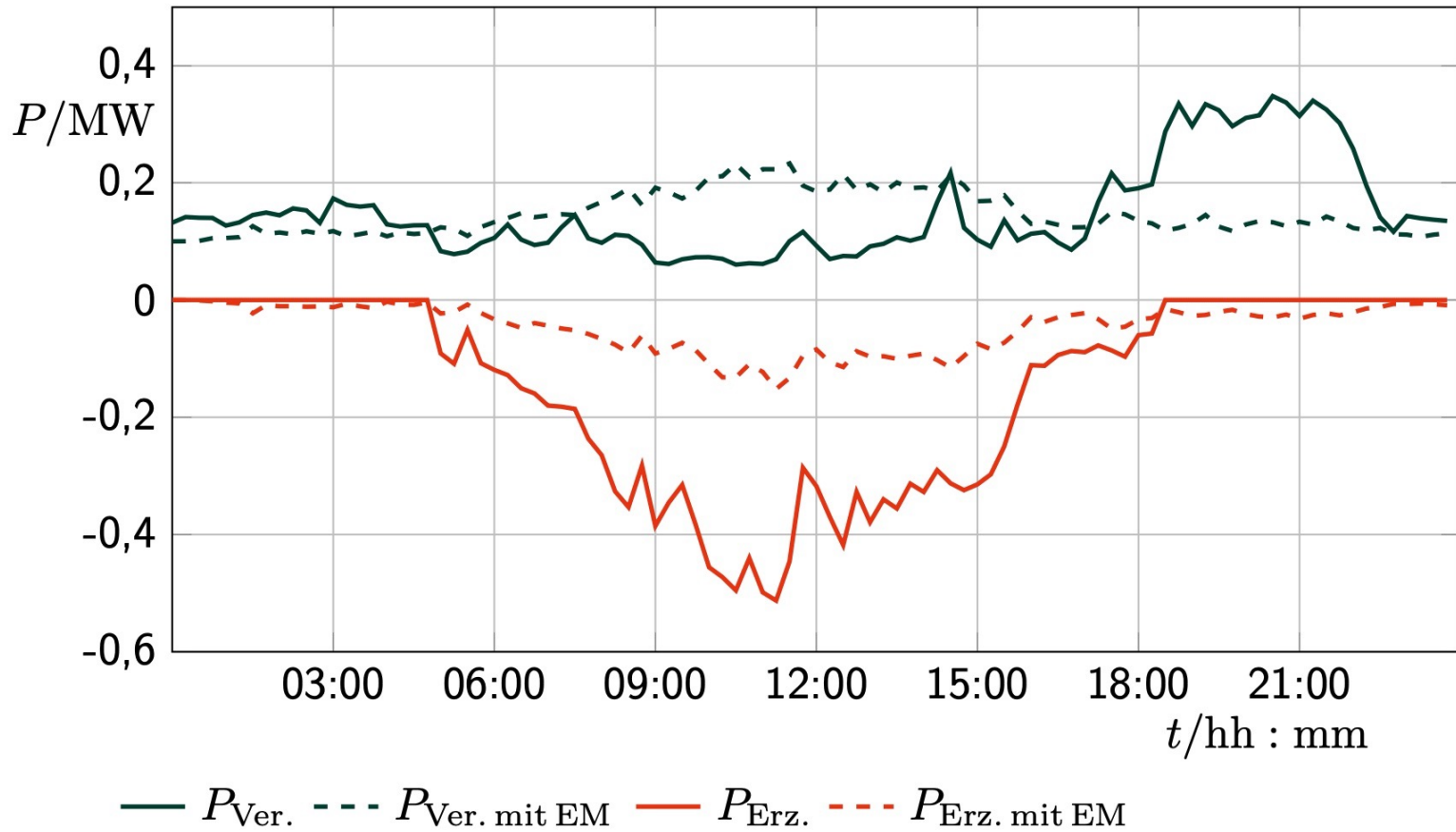
$$f_{opt}(P_x, Q_x) = \min (R_x)$$

$P_x$	...	Wirkleistungen im Netz
$Q_x$	...	Blindleistungen im Netz
$R_x$	...	Leitungsresistenz zwischen Erzeugung und Verbrauch

Szenario: Städtisches Netz mit 50%-Dachflächennutzung durch PV-Anlagen und 10 kWh Speichervermögen pro Knoten + 100 kW MS-Einspeisung

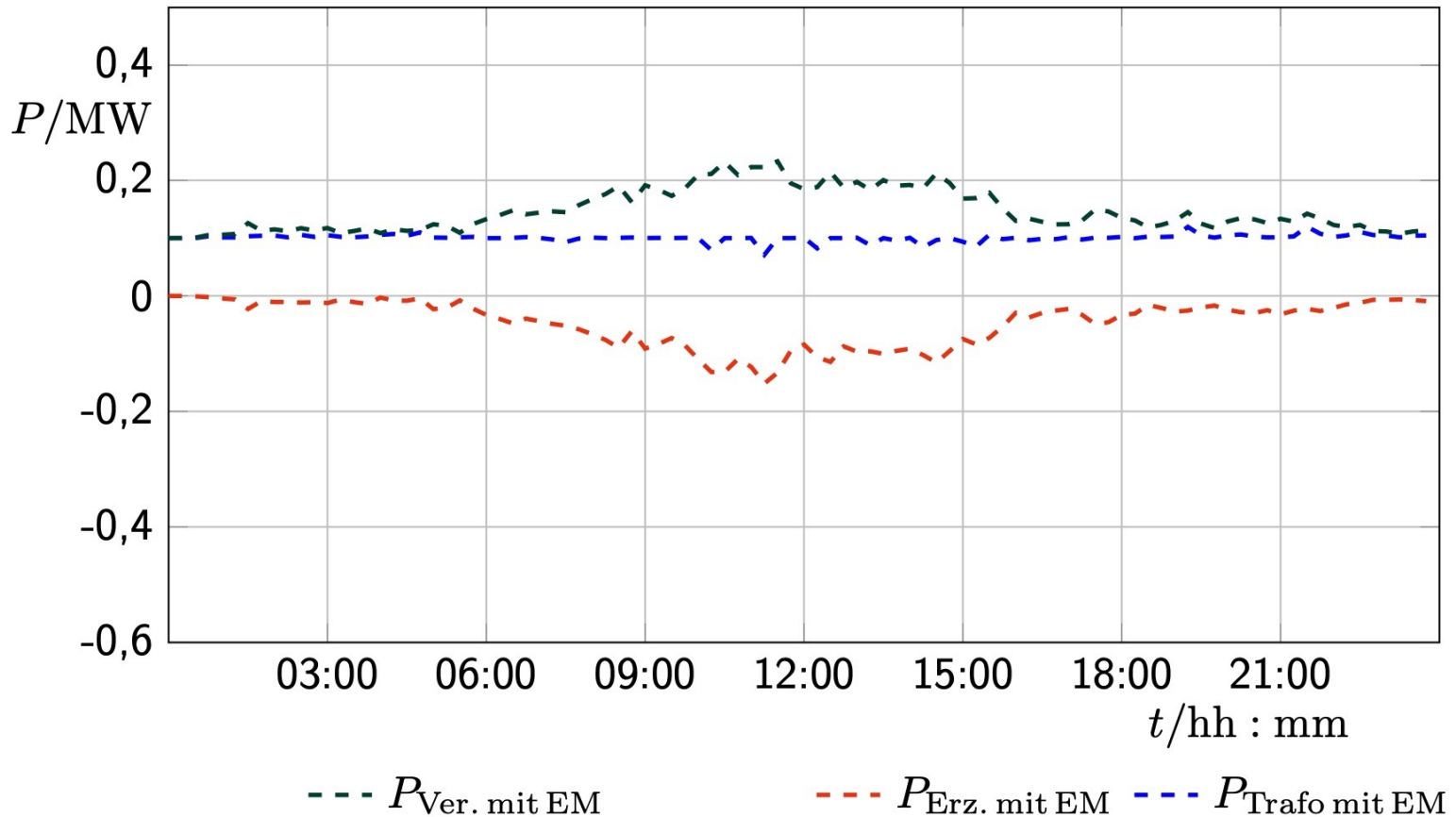


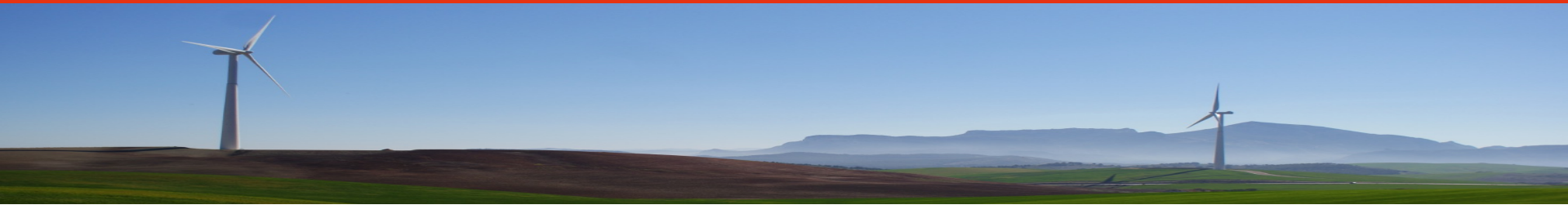
Szenario: Städtisches Netz mit 50-%-Dachflächennutzung durch PV-Anlagen und 10 kWh Speichervermögen pro Knoten + 100 kW MS-Einspeisung





Szenario: Städtisches Netz mit 50-%-Dachflächennutzung durch PV-Anlagen und 10 kWh Speichervermögen pro Knoten + 100 kW MS-Einspeisung





- Hintergrund
- Intelligente Verteilnetze
- Ansätze für Betriebsstrategien
- **Digitale Zwilling als Testfeld**
- Zukünftige Herausforderungen

## AC Grid Simulators:

6-phase 4-Quadrant linear power amplifier as Programmable AC/DC source or sink up to six-phase or two times three-phase system as grid simulator/emulator with SFP and analog interface for connection to real-time simulator to perform Power-Hardware-in-the-Loop methods

Large signal Bandwidth as sources/sinks: DC – 30 kHz / DC-450 Hz

Small signal Bandwidth as sources and sinks: 50 kHz

Source/sink power per phase:  $P_{\text{long-term}} = +52.5 \text{ kW}/-40 \text{ kW}$

$P_{\text{short-term}} = +82.5 \text{ kW}/-50 \text{ kW}$  (1-2 min.)

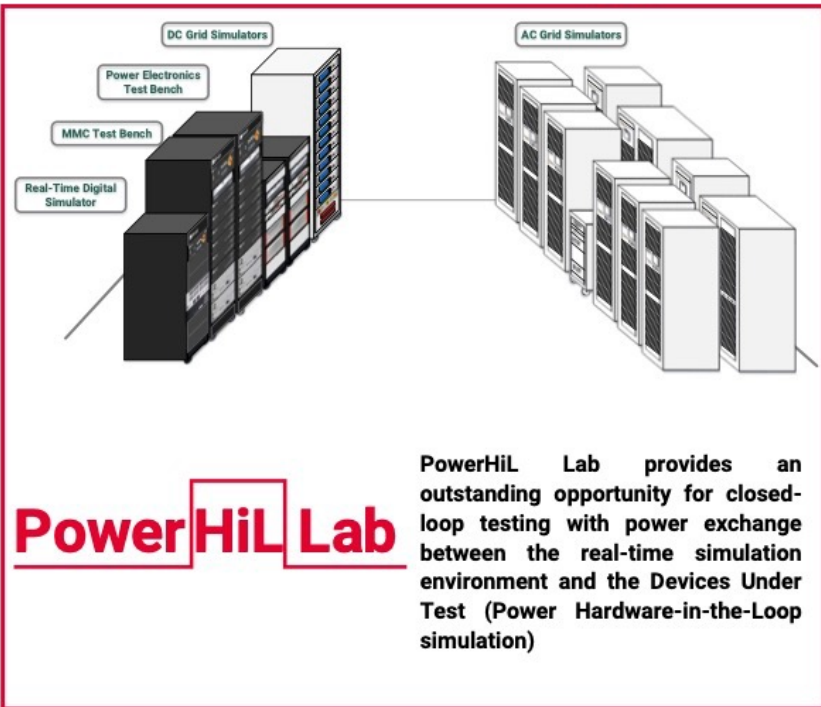
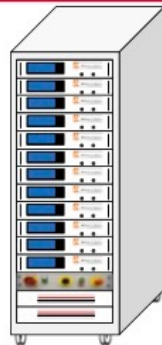


## DC Grid Simulators:

Modular and bidirectional DC programmable power supply with analog interface for connection to real-time simulator

Power: 180 kW modular DC source or sink (1x180 kW, 2x90 kW, 3x60 kW or 6x30 kW)

Voltage: up to 1500 V<sub>DC</sub>



## PowerHiL Lab

PowerHiL Lab provides an outstanding opportunity for closed-loop testing with power exchange between the real-time simulation environment and the Devices Under Test (Power Hardware-in-the-Loop simulation)



Europa fördert Sachsen.

**EFRE**

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

## Flexible lithium-ion storage system:

75 kWh storage + 75 kW converter  
Operating modes: self-consumption optimization, Peak shaving, grid management services (frequency stabilization, control power PRL/SRL, remote control of active and reactive power)



## Transient recorder:

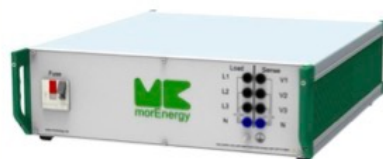
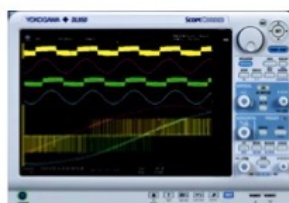
Over 100 measurement channels

- Sampling rate: 10 MHz per channel
- Resolution: 18 bit per channel
- Bandwidth: DC to 5 MHz

## ScopeCorder:

16 isolated measurement channels

- Sampling rate: 200 MHz
- Resolution: 14 bit
- Bandwidth: DC up to 40 MHz
- RAM: 8 GPoints



## Grid Impedance Spectrometer:

- Voltage range:  $\pm 70$  to 700 Vpeak
- Nominal grid frequency: 50 Hz
- Maximum current 6,6 A
- Frequency range: DC to 50 kHz

## Power Electronics Test Bench:

Designed for rapid prototyping applications:

- A 3-phase voltage source inverter with a DC/DC buck-boost stage
- A grid-connected variable-speed drive
- Two three-phase power inverters

Each unit consists of 6 half-bridge MOSFET modules (SiC) with 24 A, 800 V<sub>DC</sub>, 200 kHz + LC-type filter



## MMC Test Bench:

2 units Lab-Scale Multi-Level-Converter Test Bench to the verification and prototyping of new control algorithms and for developing future HVDC and FACTS

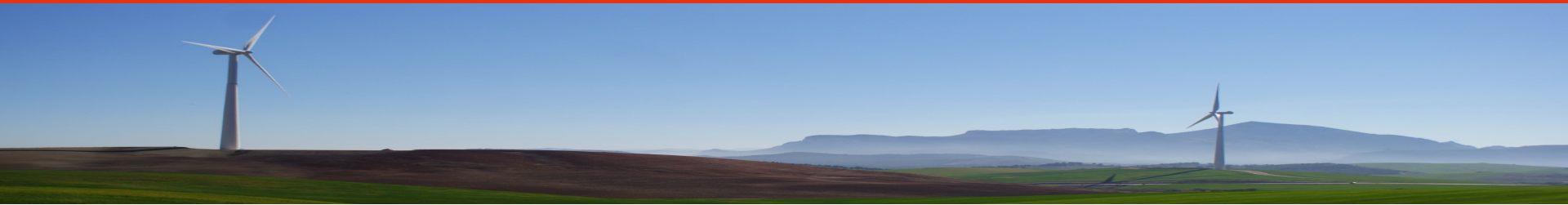
Full-bridge 6 kW, 11-level, 400V three-phase MMC test bench with a total of 60 switching cells

## Real-Time Digital Simulator:

RT-Simulator with eFPGASIM and HYPERSIM software package to perform EMT simulation (step time: 50 $\mu$ s) an FPGA for power electronics applications (step time: 0.25 $\mu$ s)

- Intel® Xeon® Gold Processor 2x 8 cores, 3.3 GHz, Xilinx Virtex®-7 485T FPGA
- 64 digital and 64 analog (2MS/s, 16 bits) inputs/outputs channels





- Hintergrund
- Intelligente Verteilnetze
- Ansätze für Betriebsstrategien
- Digitale Zwilling als Testfeld
- Zukünftige Herausforderungen

## ➤ Technische Herausforderungen

- Dynamische Vorgänge bei der Vielzahl an Schaltvorgängen
- Alterungsverhalten der Betriebsmittel bei veränderter Belastung
- Spannungsqualität durch eine Vielzahl von umrichterbasierter Anlagen
- ...

## ➤ Ökonomische Herausforderungen

- Vorteilhaftigkeit für alle Marktteilnehmer
- ...

## ➤ Regulatorische Herausforderungen

- Wer darf was?
- ...



# Vielen Dank!



Jens Teuscher (Dr.-Ing.)

Technische Universität Chemnitz

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Professur Energie- und Hochspannungstechnik

09107 Chemnitz

E-Mail: [jens.teuscher@etit.tu-chemnitz.de](mailto:jens.teuscher@etit.tu-chemnitz.de)

Telefon: +49 (0) 371 531 - 37752