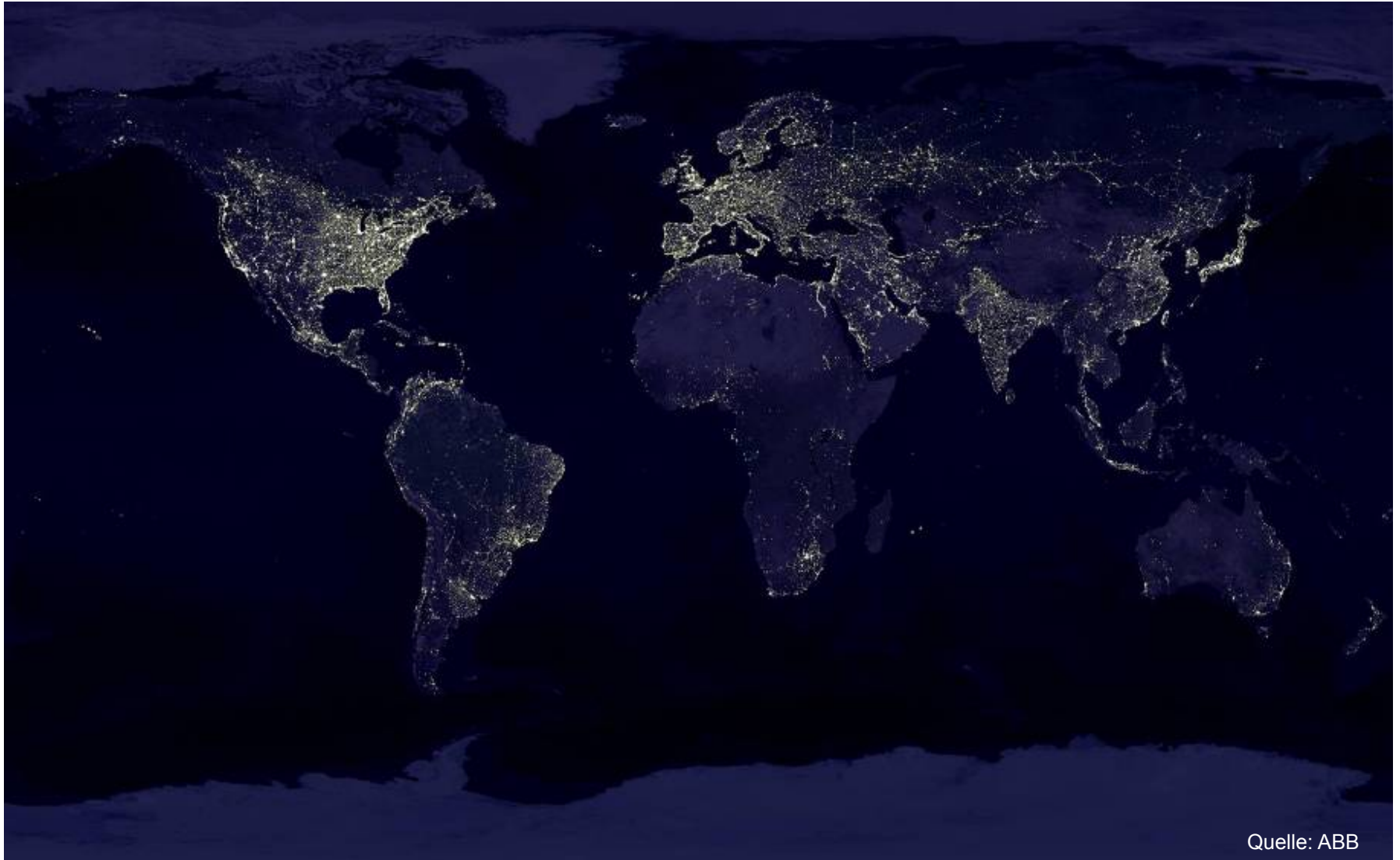




## Agenten im Netz: Wie intelligent können Stromnetze werden?

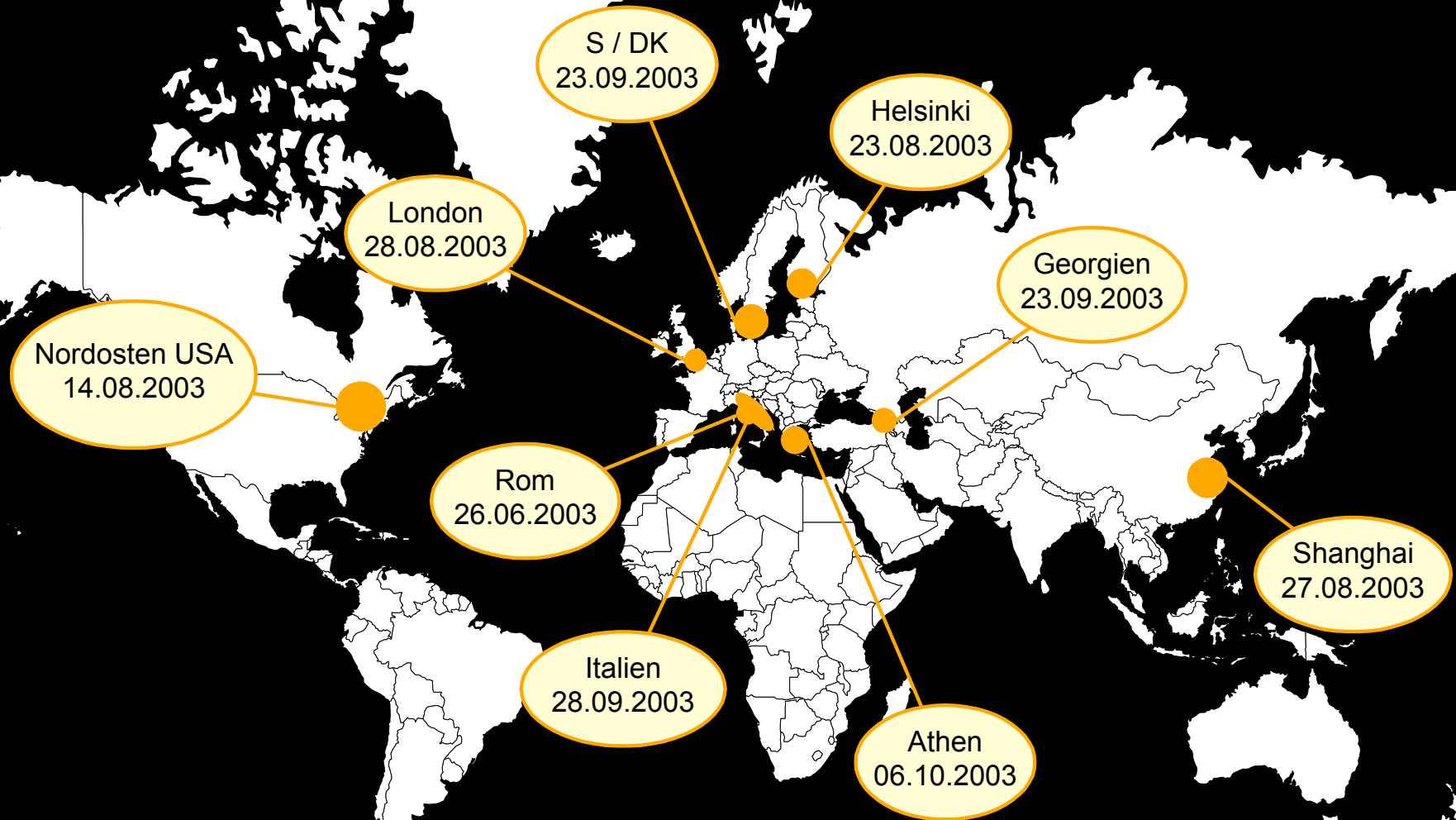
## Inhalt

- ➔ Wie ist das Stromnetz bzw. elektrische Energiesystem aufgebaut ?
  - Warum muss das Energiesystem intelligenter gesteuert werden ?
  - Was sind autonome Agenten ?
  - Wie kann das Energiesystem intelligenter gesteuert werden (Beispiele) ?



Quelle: ABB

# Blackouts 2003





## Blackouts sind kritische Großereignisse für die Gesellschaft und die Wirtschaft

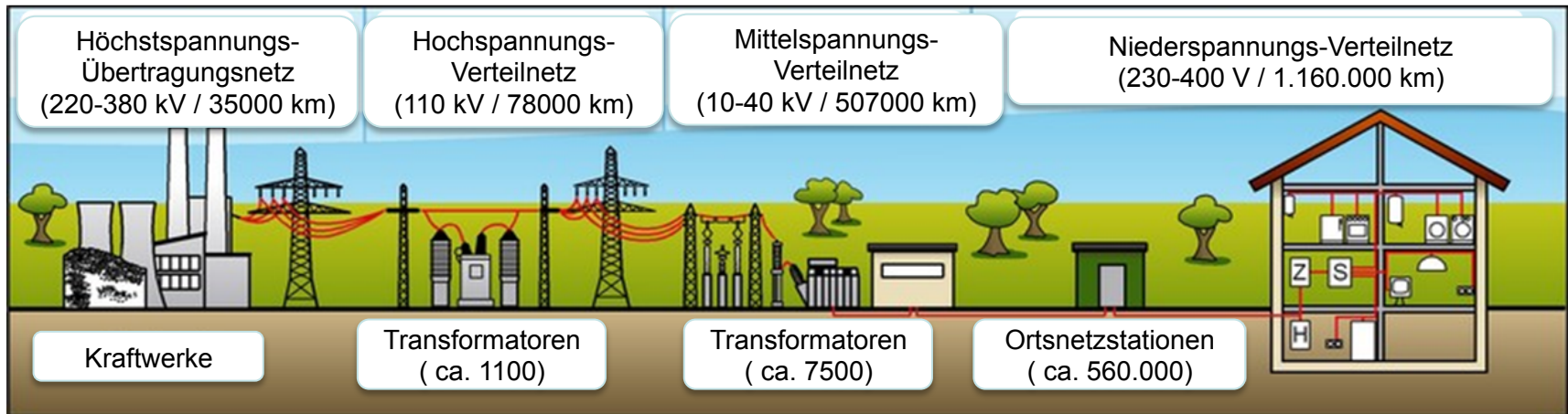
- 1950 BPA (West USA)
- 1959 New York
- 1961 New York
- 1965 US/Canada (30 Mio. Menschen unversorgt)
- 1977 New York (3.766 Menschen inhaftiert)
- 1990 Ägypten (60 Mio. Menschen unversorgt)
- 1996 WSCC (West USA) (59 Mio. Menschen unversorgt)
- 2001 Nord-Indien (200 Mio. Menschen unversorgt)
- ...
- 2003 Italien
- 2003 Skandinavien
- ...
- 2006 E.On

## Marc Elsberg „Blackout“





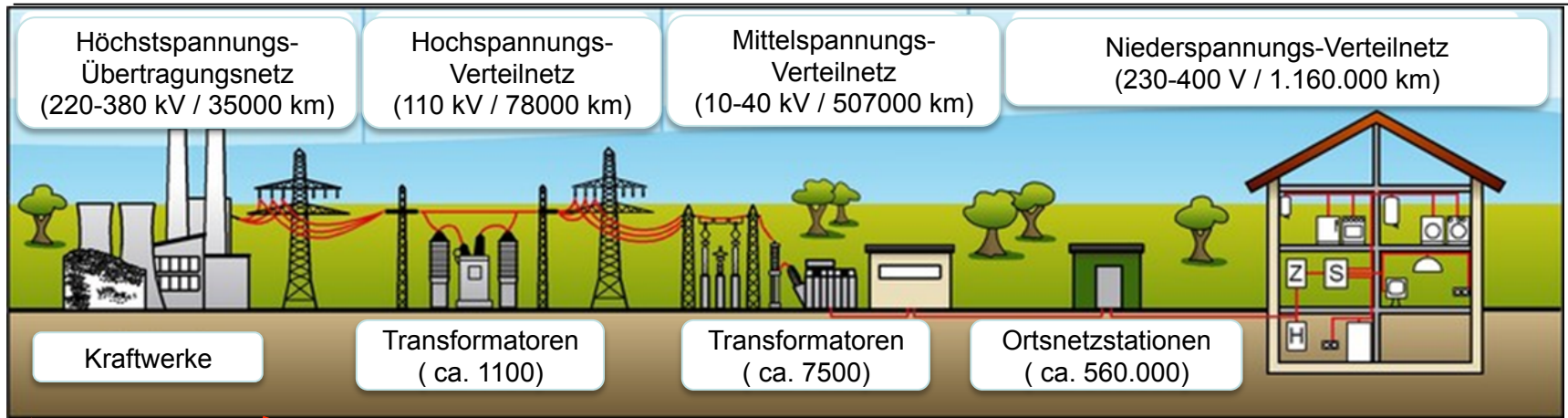
# Übersicht über den Aufbau elektrischer Energienetze



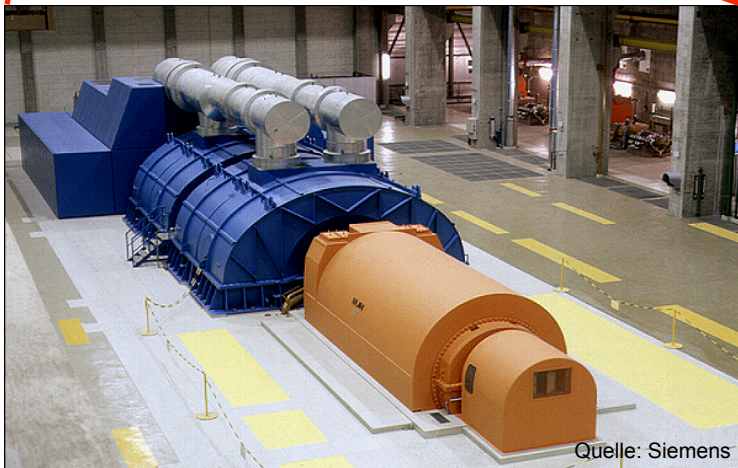
Quelle: EWE Netz GmbH



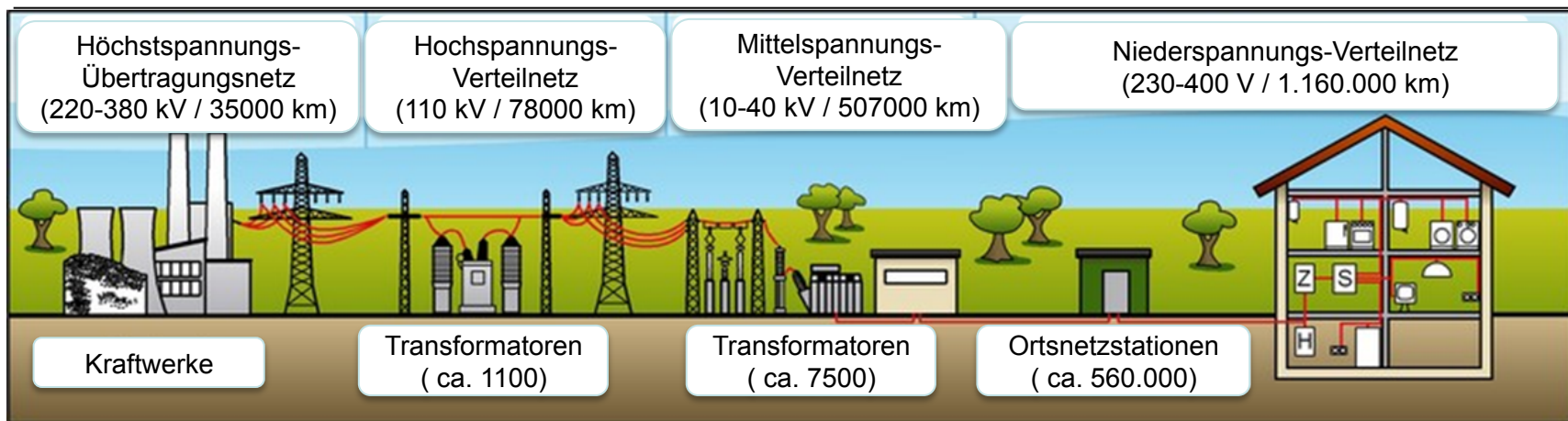




Quelle: EWE Netz GmbH



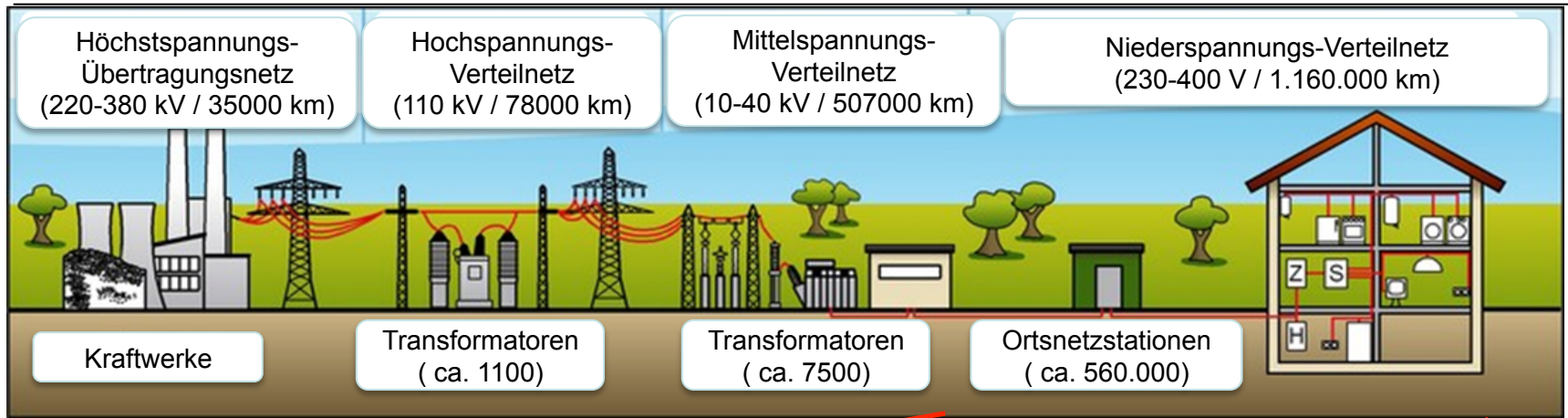
Quelle: Siemens



Quelle: EWE Netz GmbH



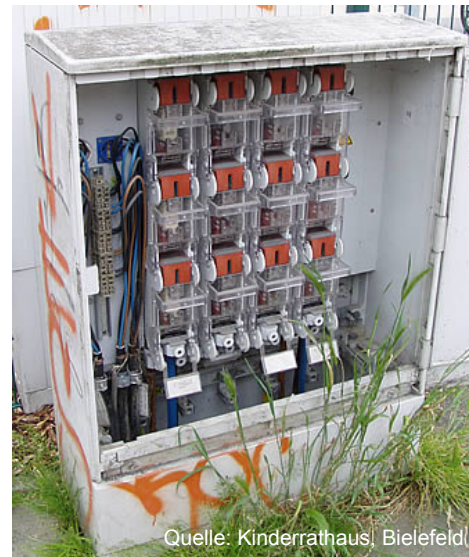




Quelle: EWE Netz GmbH



Quelle: Kinderrathaus, Bielefeld



Quelle: Kinderrathaus, Bielefeld

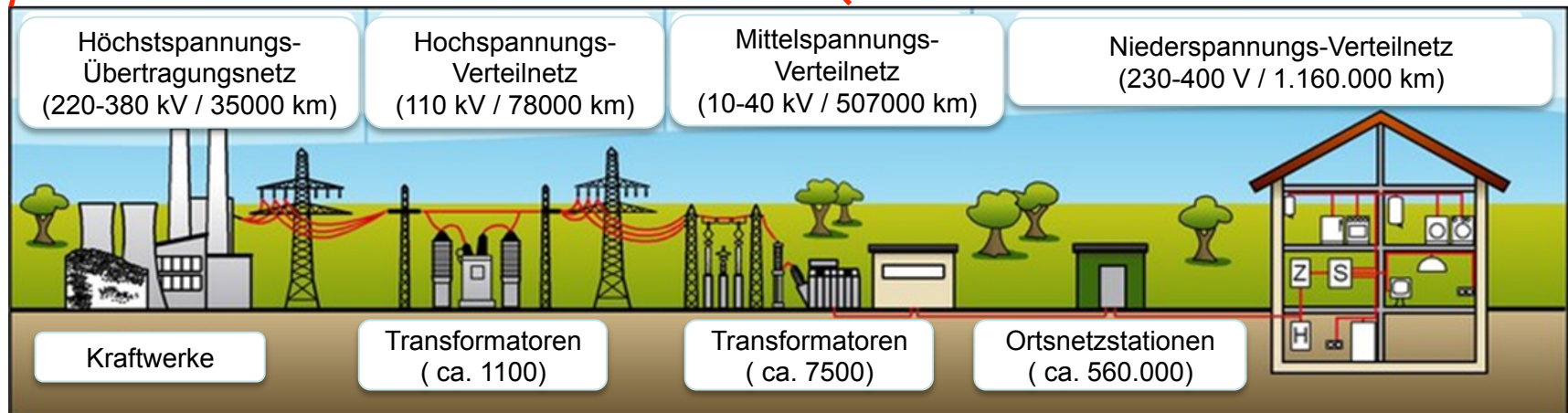


Quelle: TUDO

## Leitwarten zur Überwachung von Regionen in Höchst- und Hochspannungsebene

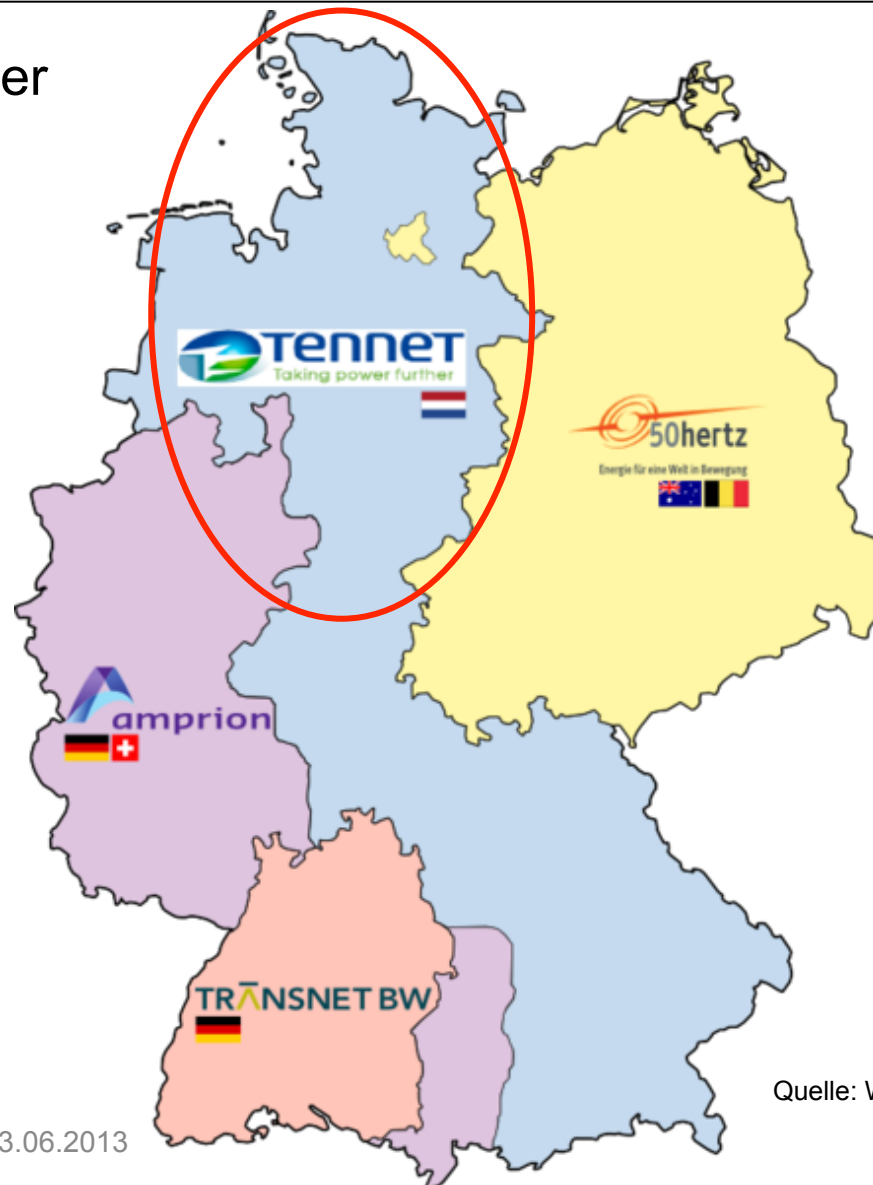


Quelle: Amprion



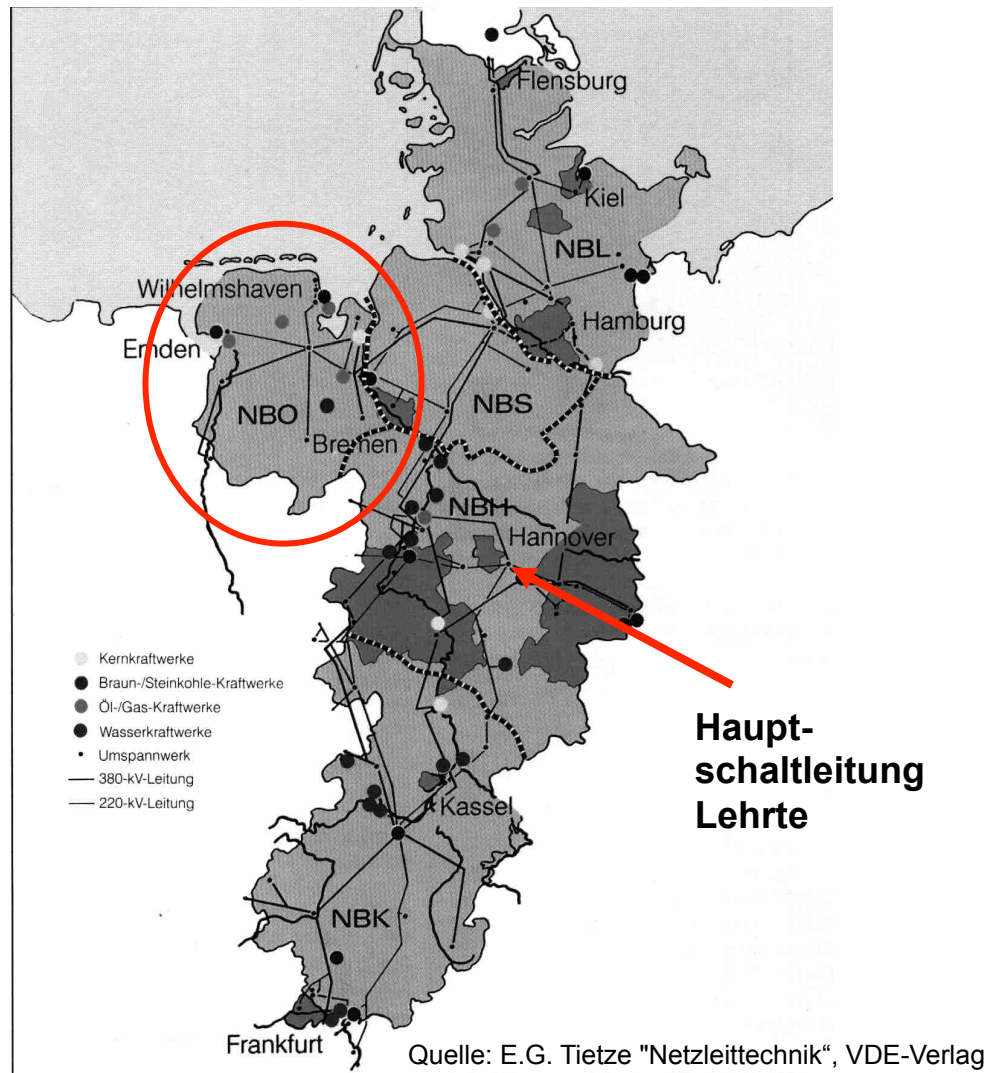
Quelle: EWE Netz GmbH

## Übertragungsnetzbetreiber in Deutschland



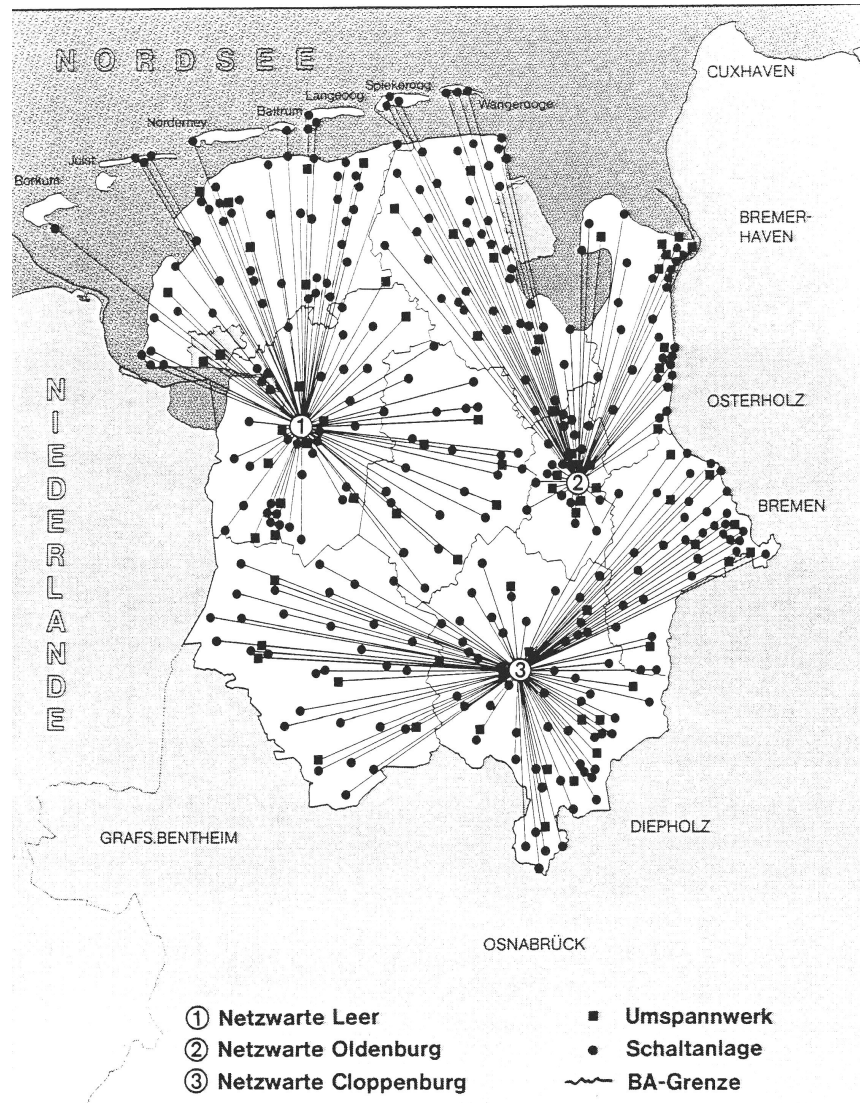
Quelle: Wikipedia

## Netzleitstelle von Tennet





# Verteilnetz-Leitstellen

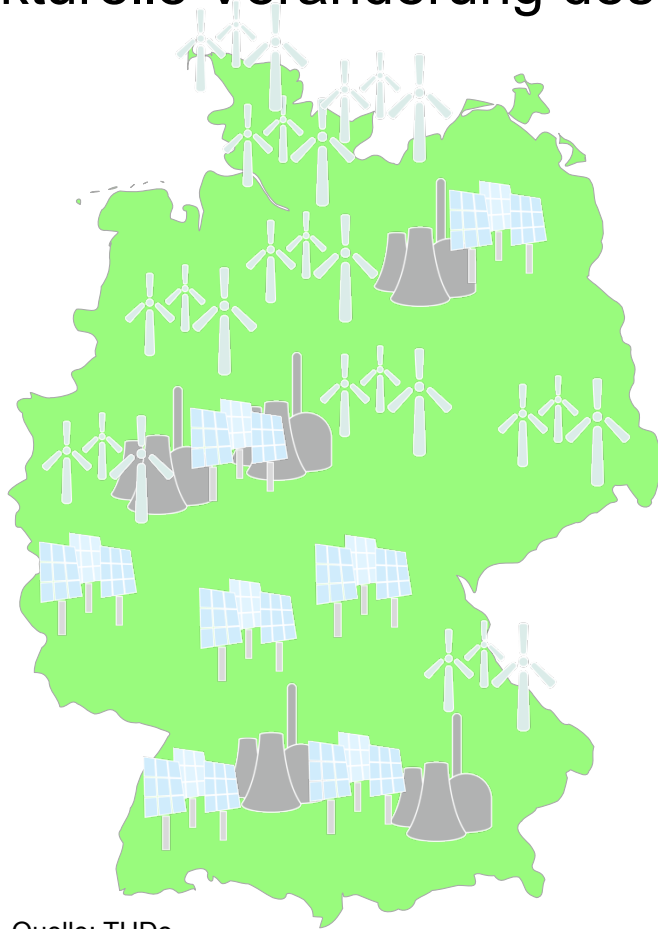


## Inhalt

- Wie ist das Stromnetz bzw. elektrische Energiesystem aufgebaut ?
- ➔ Warum muss das Energiesystem intelligenter gesteuert werden ?
  - Was sind autonome Agenten ?
  - Wie kann das Energiesystem intelligenter gesteuert werden (Beispiele) ?



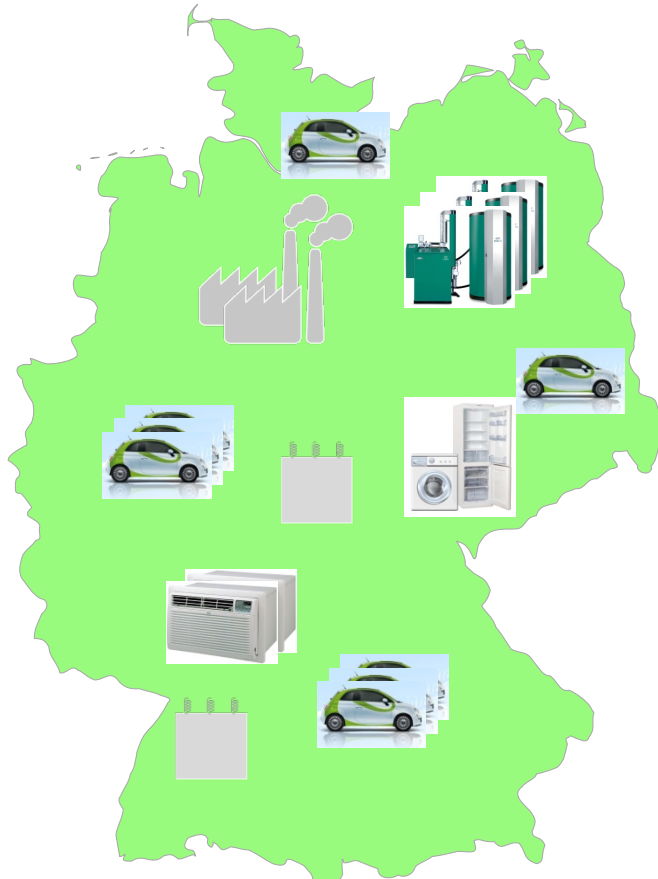
## Strukturelle Veränderung des Energiesystems



Quelle: TUDo

- Strukturelle Änderung
  - **von:** wenige zentrale Kraftwerke
  - **zu:** viele verteilte Erzeugungsanlagen
- Aufgaben für die Steuerung
  - **von:** regelbare Erzeugung
  - **zu:** dargebotsabhängige erneuerbare Energien
- Herausforderungen für das System:
  - **von:** präzise Prognosen
  - **zu:** Unsicherheit der Erzeugung

## Strukturelle Veränderung des Energiesystems



Quelle: TUDo, RWE, Vaillant

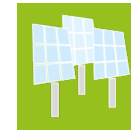
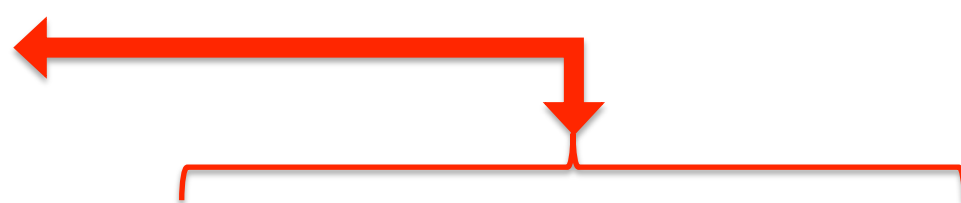
- Smart Market
  - Neue und steuerbare Verbraucher
    - Industrielasten
    - Elektrofahrzeuge
    - Wärmepumpen
    - Weiße Ware
  - Regelbare dezentrale Erzeuger
    - KWK-Anlagen
    - (Notstromaggregate)
  - Neue Speichertechnologien
  
- Wie können wir deren Flexibilität nutzen und das Gesamtsystem stabil halten?

**Marktakteure /  
Stromhändler / -börse**

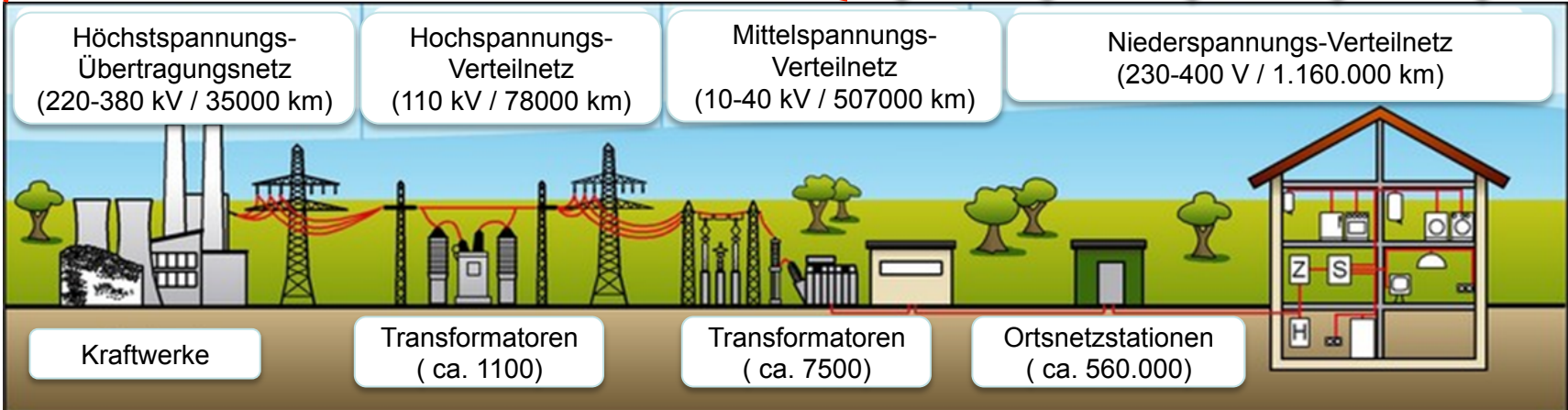


Quelle: Amprion

**Wie kann die Komplexität  
intelligent beherrscht werden?**



Quellen: TUDo, RWE, Vailant



Quelle: EWE Netz GmbH

## Anforderungen an die zukünftige Netzbetriebsführung

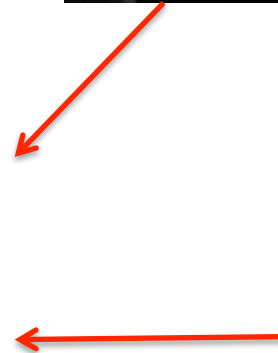
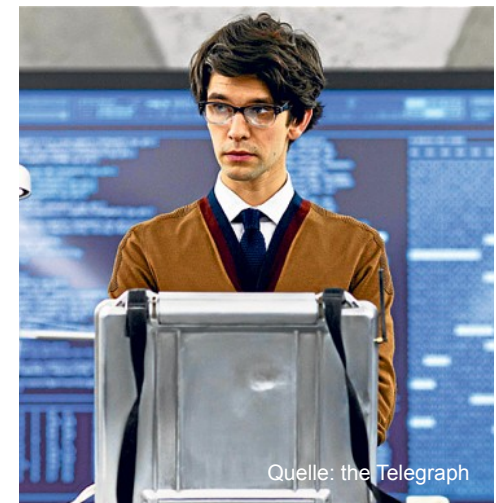
- Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch bei großen Anzahlen erneuerbarer Energien und steuerbarer Lasten
- Beherrschung der Komplexität durch vielfältige Anlagen unter technischen und Marktbedingungen (-> skalierbare Lösung)
- Robustheit des Systems und Vermeidung von Blackouts auch bei knappen Netzressourcen

## Inhalt

- Wie ist das Stromnetz bzw. elektrische Energiesystem aufgebaut ?
- Warum muss das Energiesystem intelligenter gesteuert werden ?
- ➔ Was sind autonome Agenten ?
- Wie kann das Energiesystem intelligenter gesteuert werden (Beispiele) ?

## Agenten

- Aufgabe wird übertragen
- autonome Handlung
- ausgestattet mit speziellen Fähigkeiten



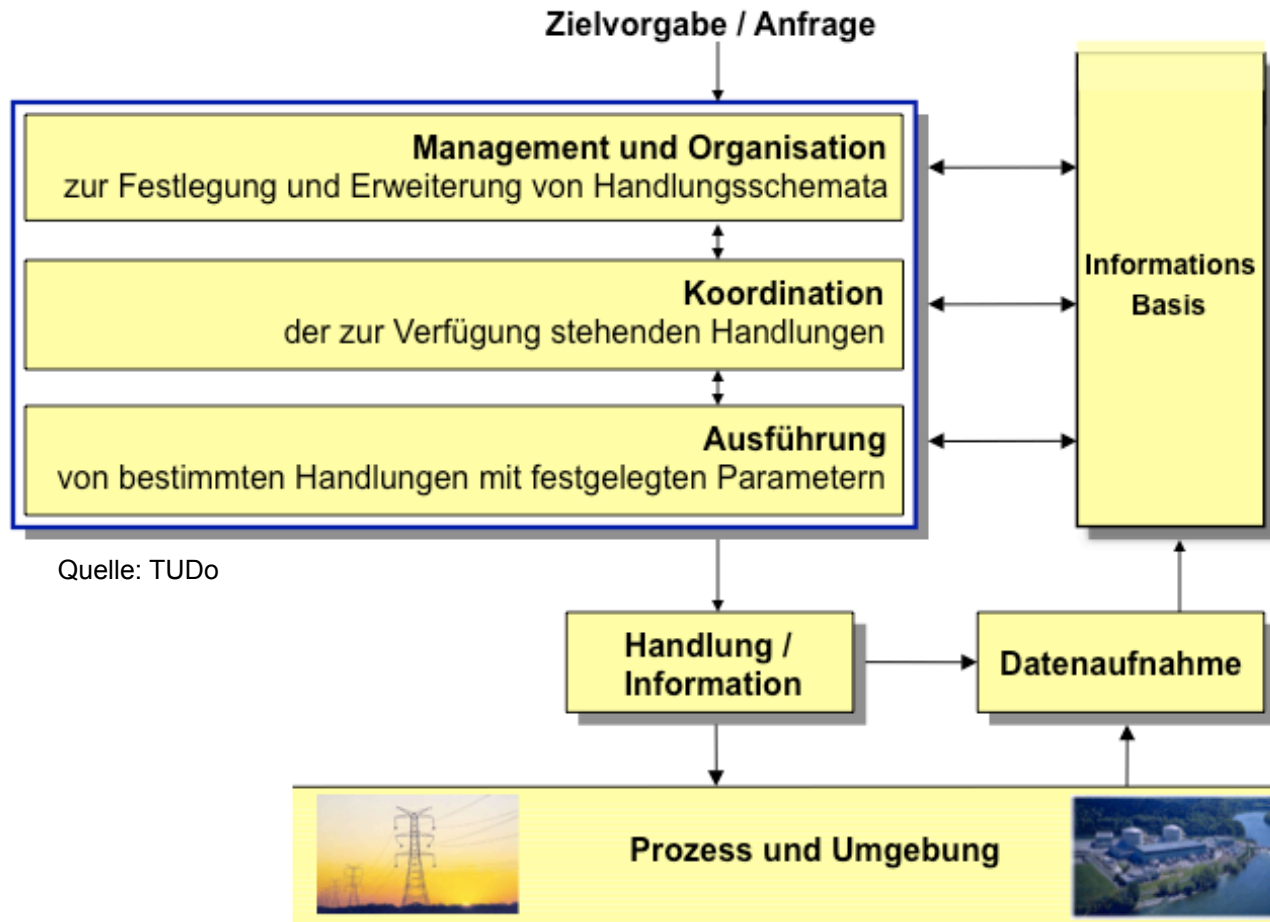


## Agenten

- autonome Handlungen
- identische Fähigkeiten
- höhere Ziele durch Kommunikation erreichbar

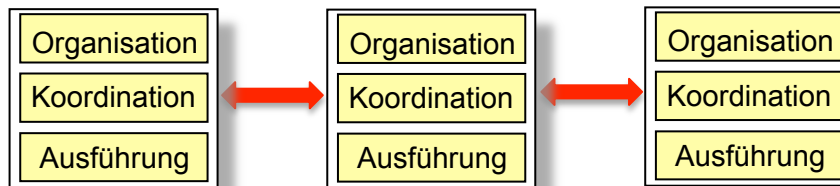


# Autonome Agenten: Funktionale Architektur

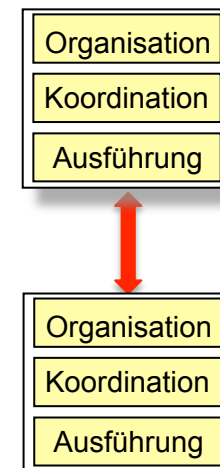


## Autonome Systeme - Operative Architektur

Viele ähnliche / gleiche Elemente einer Ebene  
z.B. Lasten, dez. Einspeiser, Speicher im Verteilnetz



Systemebene generiert  
Informationen für  
unterlagerte Regler



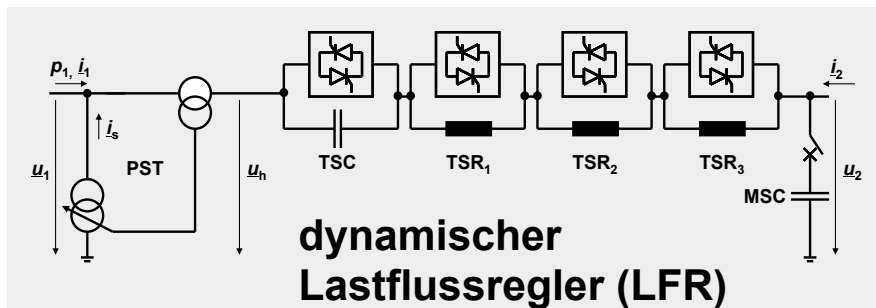
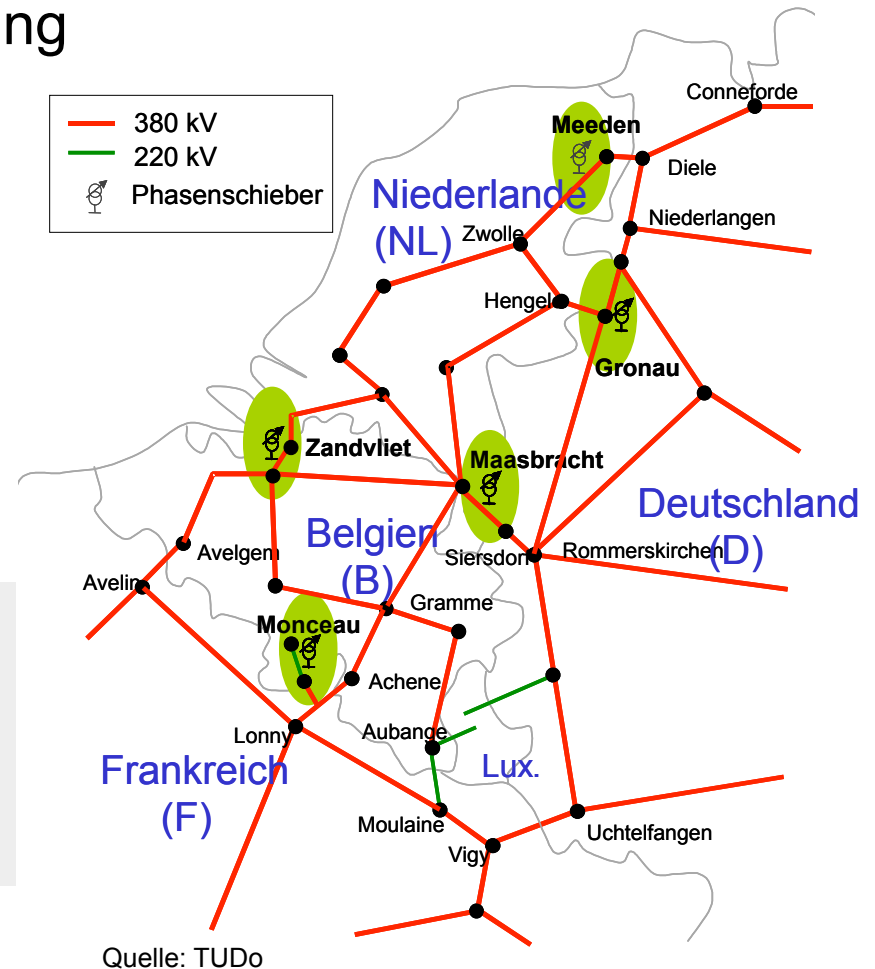
- Intelligenz wird definiert durch z.B.
  - Handlungsregeln „Wenn ... dann ...“
  - Funktionen  $y = f(x_1, \dots, x_n)$

## Inhalt

- Wie ist das Stromnetz bzw. elektrische Energiesystem aufgebaut ?
- Warum muss das Energiesystem intelligenter gesteuert werden ?
- Was sind autonome Agenten ?
- ➔ Wie kann das Energiesystem intelligenter gesteuert werden (Beispiele) ?

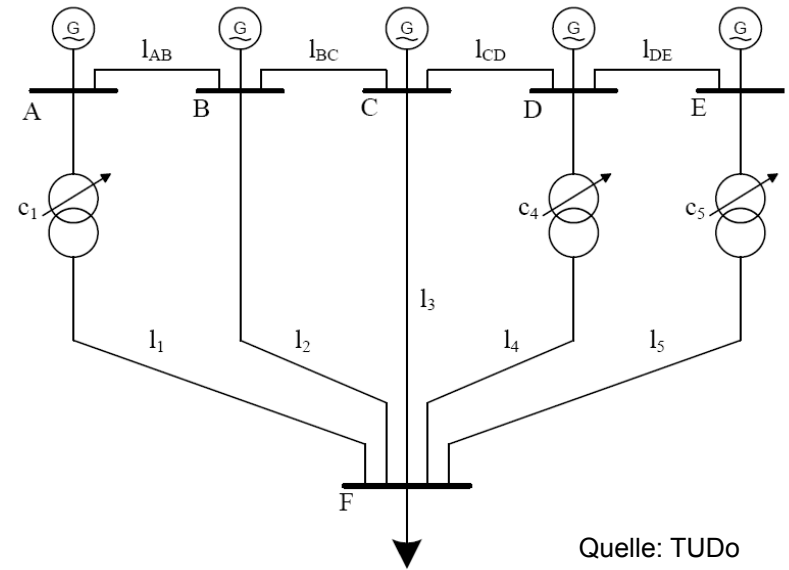
# Beispiel 1: Koordinierte Leistungsflussregelung

- Koordinierung schneller LFR über mehrere ÜNBs
- Optimierung der Netzkapazität
- Robustheit bei Topologieänderungen

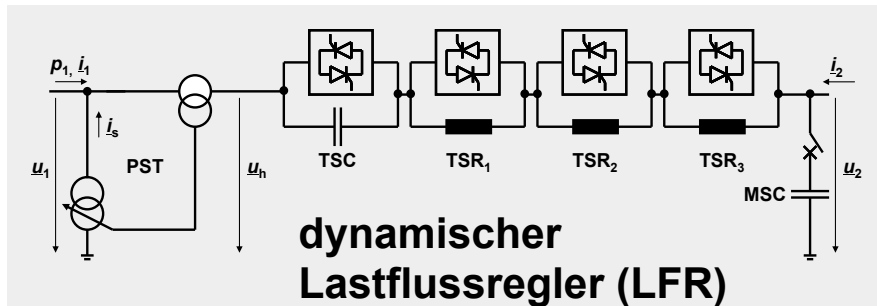


# Beispiel 1: Koordinierte Leistungsflussregelung

- Koordination schneller LFR über mehrere ÜNBs
- Optimierung der Netzkapazität
- Robustheit bei Topologieänderungen



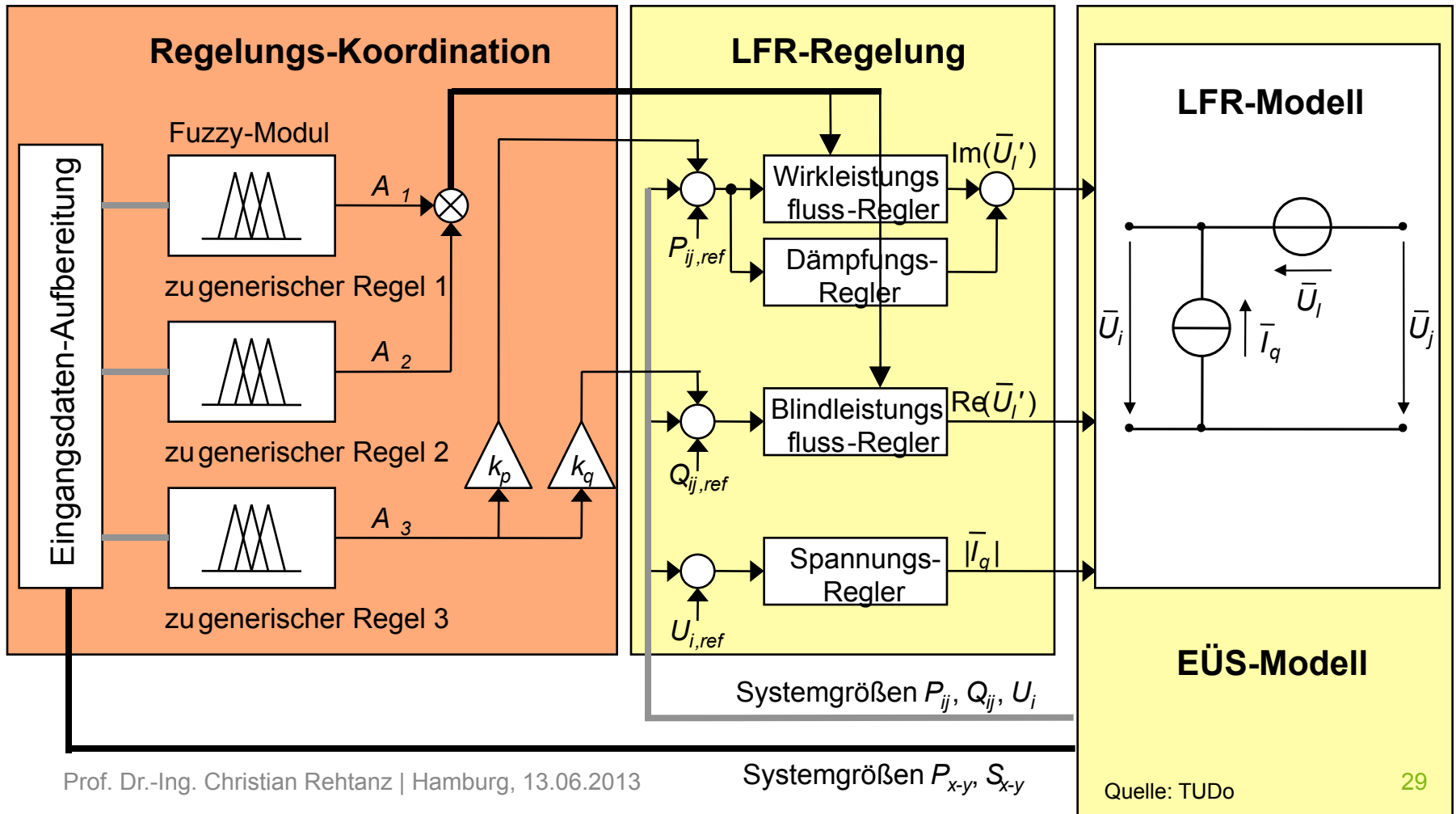
Quelle: TUDO



Quelle: TUDO



# Präventive Regelung - Ziel und Struktur der Regelung



## Präventive Regelung - Organisationsebene

### Generische Regeln:

Kurzschluss auf LFR-Pfad  
oder Parallelpfad



Verlangsame LFR-Regelung

kein Parallelpfad  
durch Betriebsmittelausfall



Deaktiviere Leistungsflussreg.

Überlast auf Parallelpfad



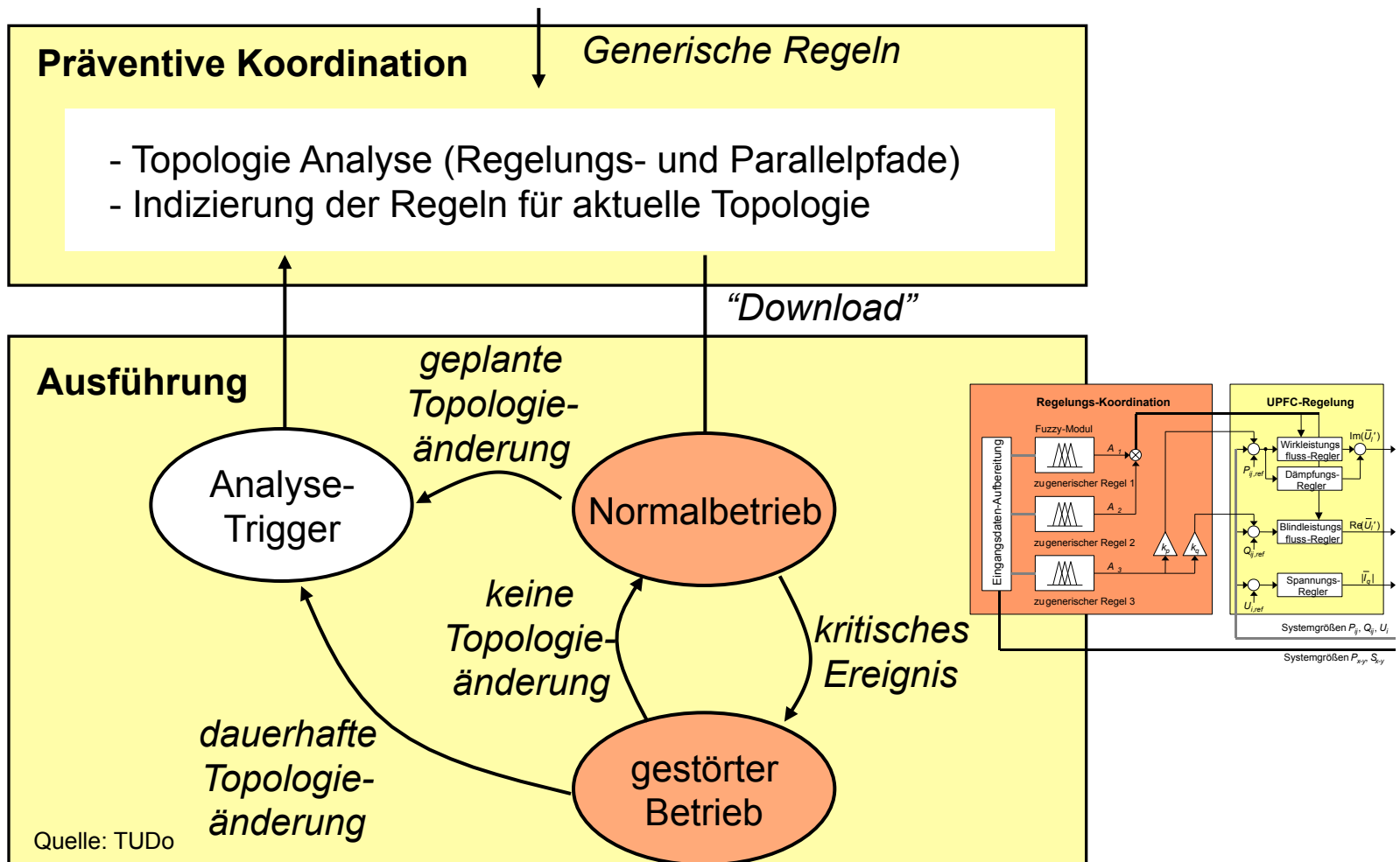
Verändere Sollwerte für P, Q

### Allgemeine Fuzzy-Regeln:

WENN	DANN
$P_{\text{mov},x-y}$ sehr klein UND $S_{\text{norm},x-y}$ normal	$A_3$ normal
$P_{\text{mov},x-y}$ sehr klein UND $S_{\text{norm},x-y}$ groß	$A_3$ groß
$P_{\text{mov},x-y}$ sehr klein UND $S_{\text{norm},x-y}$ sehr groß	$A_3$ sehr groß
$P_{\text{mov},x-y}$ nicht sehr klein	$A_3$ normal

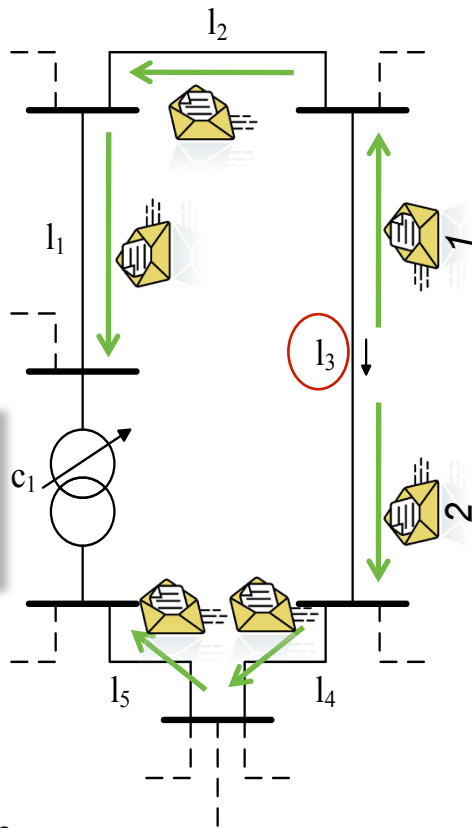
Quelle: TUDo

# Präventive Regelung – Koordinations- und Ausführungsebene



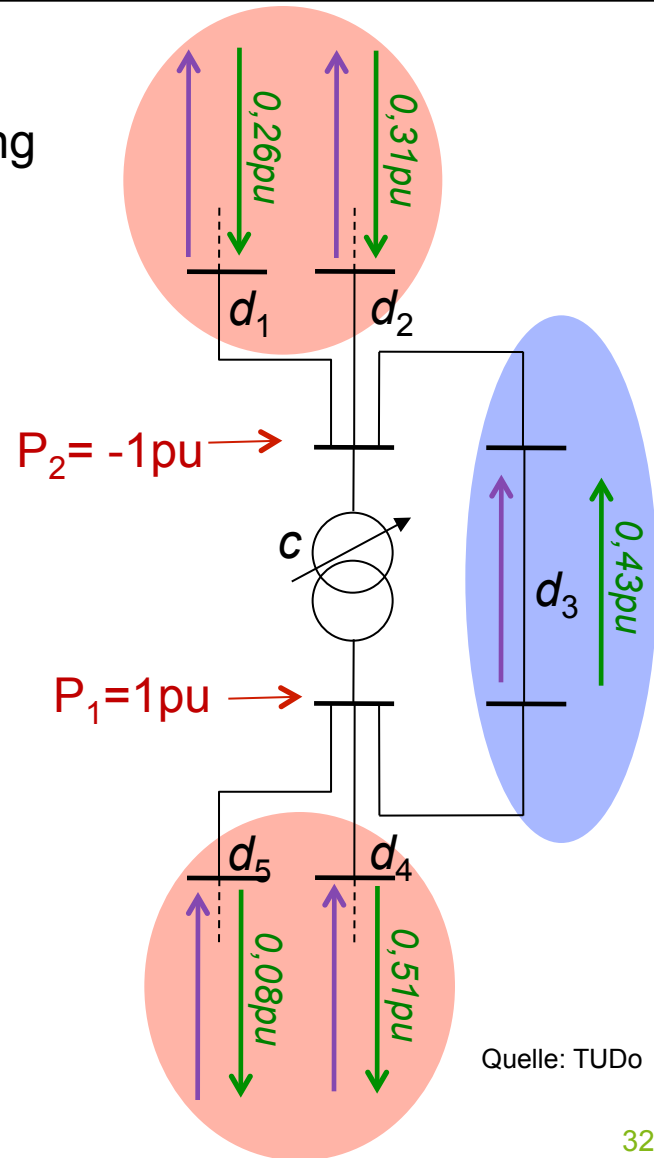
# Verteiltes Koordinierungsverfahren

## Zustandsnachrichten und Sensitivitätsbestimmung



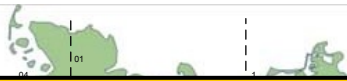
- Organisation
- Koordination
- Ausführung

Quelle: TUDo



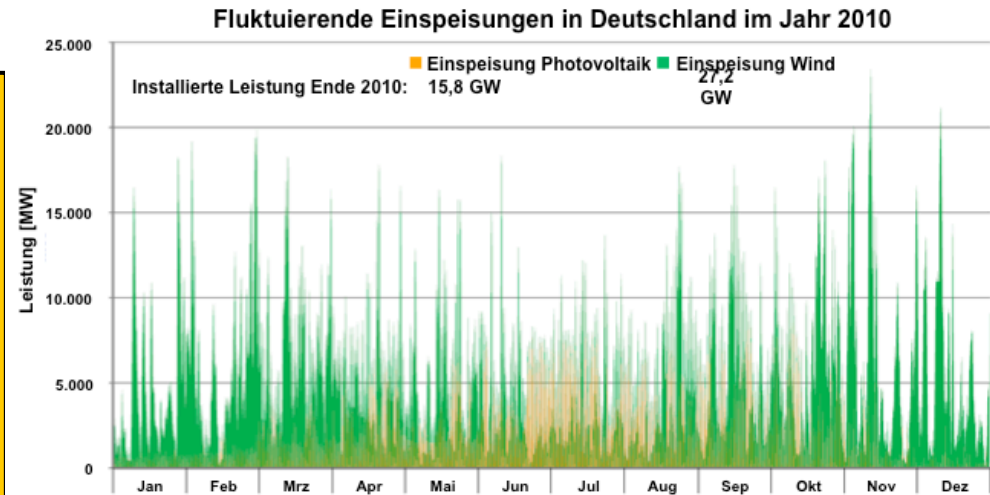
Quelle: TUDo

# Koordination im Übertragungsnetz, um Netzausbau auf effizientes Maß zu begrenzen



## Transportnetzausbau in D

- 20 Mrd. Euro bis 2022 (Netzentwicklungsplan)
- Ergebnisse sind sehr stark abhängig von Szenarien und Randbedingungen für die Planung
- Intelligenz zur Reduzierung extremer Netzausbauten und zur Absicherung der betrieblichen Sicherheit

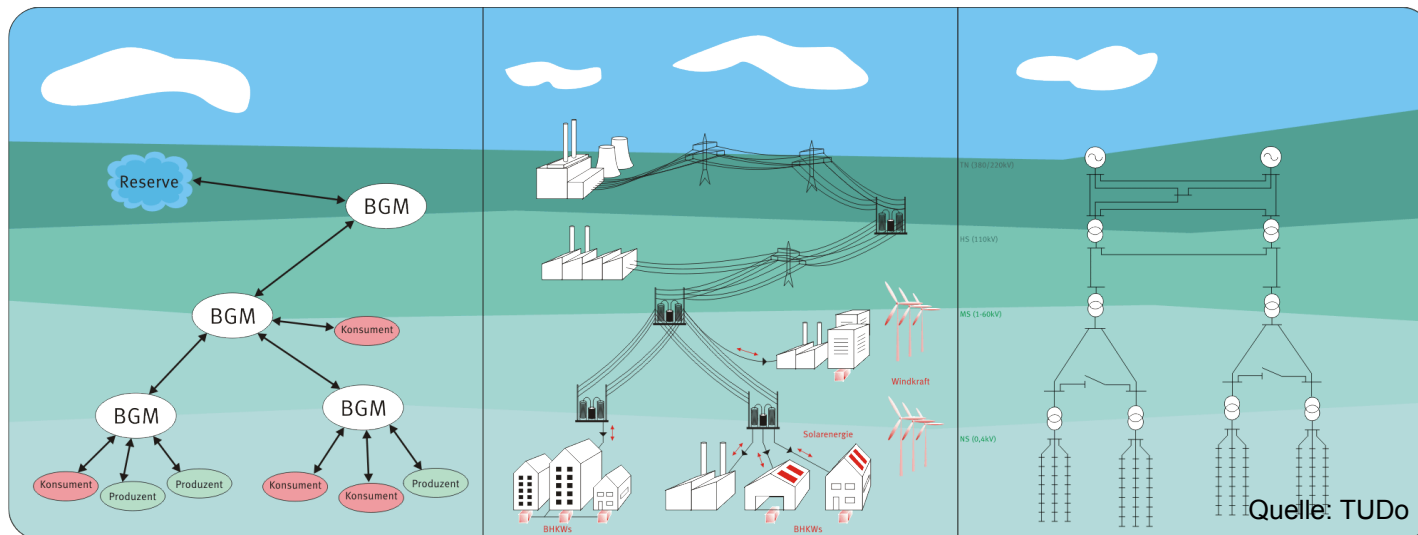


Quelle: Amprion

Quelle: TU Dortmund

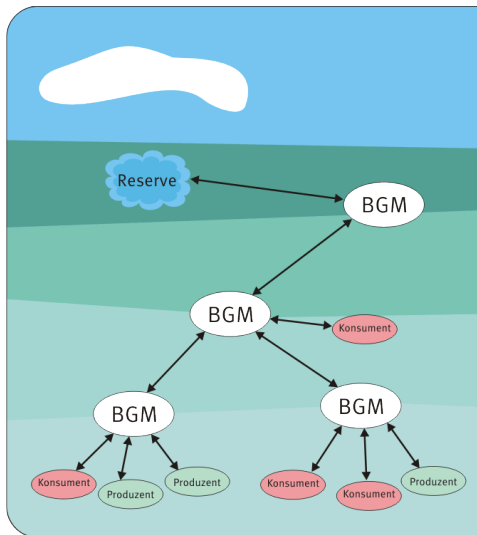
Zubauten für 2030  
Zubauten für 2040  
2 Anzahl paralleler Systeme

## Beispiel 2: Agentenmodell in DEZENT zur dezentralen Koordination von dez. Erzeugern, Lasten und Speichern



- Elektrische Akteure werden durch Softwareagenten repräsentiert (Produzenten/Konsumenten)
- Agenten einer Ebene werden zu Bilanzgruppen zusammengefasst und stellvertretend von sog. Bilanzgruppenmanagern (BGM) verhandelt.
- Agentenmodell orientiert sich an hierarchischer Netzstruktur

## Koordination zwischen Netzebene und Gesamtsystem



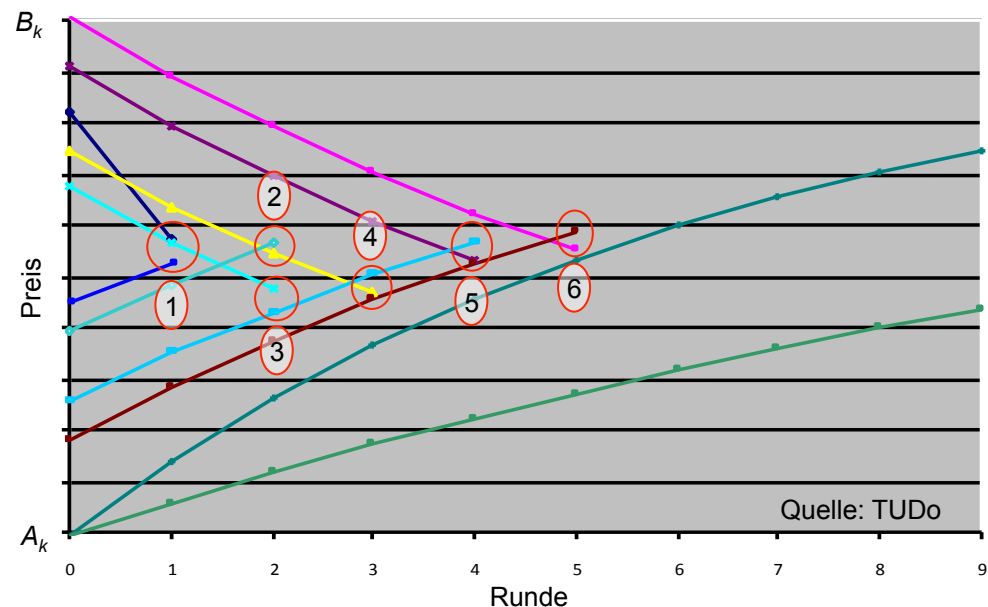
Quelle: TUDo

- BGM kann je nach Zielsetzung unterschiedliche Randbedingungen vorgeben:
  - Leistungsfluss auf überlagerter Ebene begrenzen bis hin zu Autarkie einer Ebene
  - Preis aus überlagerter Ebene durchreichen
  - Globale Marktpreise auf Bilanzgruppe abbilden
  
- Je nach Ausprägung als
  - kürzestfristige Verhandlung in Echtzeit (500 ms) (für Autarkie)
  - oder in Marktintervallen (1/4- 1 h)



## Verteilte Verhandlungen über ‚marktorientierte Programmierung‘

- Erzeuger bieten und Lasten fragen nach über zeitlich sich annähernde Preiskurven. Kurven werden gelernt und passen sich an.
- Optimierung ist vollständig dezentral. Baugleiche Agenten in Anlagen können beliebig ergänzt oder entfernt werden.
- Verhandlungsverlauf:



## Änderung der Systemstruktur zu zellulären Versorgungsgebieten, Optimierung zwischen Netzausbau und lokalem Ausgleich



Quelle: Forschungsprojekt moma

# Verteilnetzausbau muss mit Laststeuerung, erneuerbarer Einspeisung und Speichern koordiniert werden

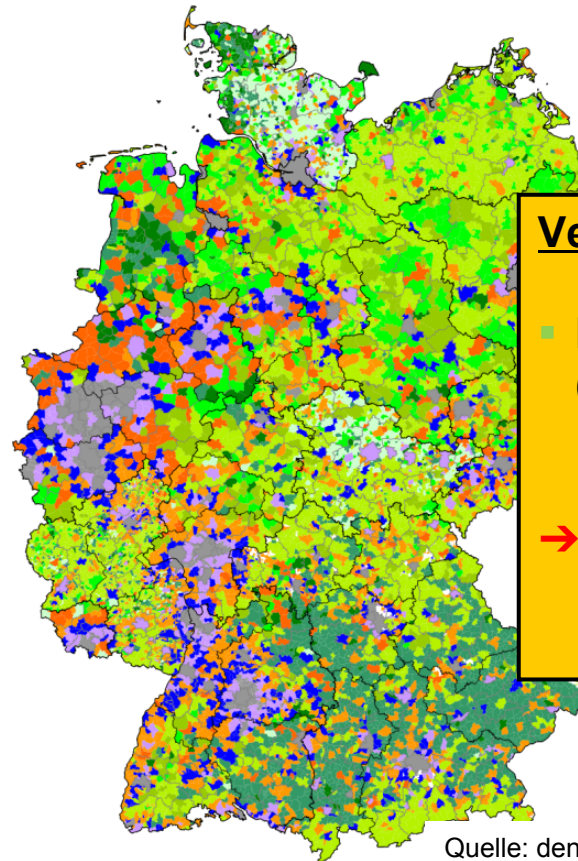


dena

## dena-Verteilnetzstudie.

Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030.

Quelle: dena-III-Verteilnetzstudie



## Verteilnetzausbau in D

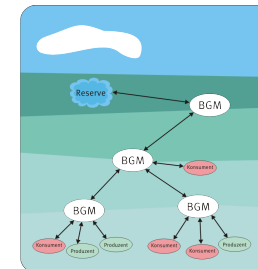
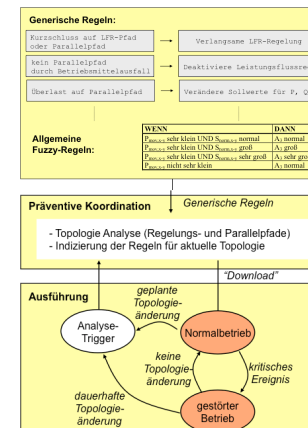
■ bis zu 42 Mrd. Euro bis 2030  
(dena-III-Verteilnetzstudie)

→ **Netzoptimierung durch  
dezentrale Koordination und  
innovative Netzkonzepte**

Quelle: dena-III-Verteilnetzstudie,  
Kartengrundlage Lutum & Tappert

# Zusammenfassung

- Europaweites System mit hohem Bedarf an Sicherheit, Robustheit und Integration dezentraler erneuerbarer Erzeuger
- Komplexität erfordert verteilte Koordination (Intelligenz) -> Agententechnologie als skalierbare Lösung
- Beispiel zur
  - Lastflusssteuerung
  - Erzeuger-/Lastkoordination (DEZENT)







# VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

EnergieForschungRuhr

**ef** ■ *Ruhr*

DuisburgEssenBochumDortmund

