

**Universität Stuttgart**  
Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik  
Prof. Dr.-Ing. H. Lens



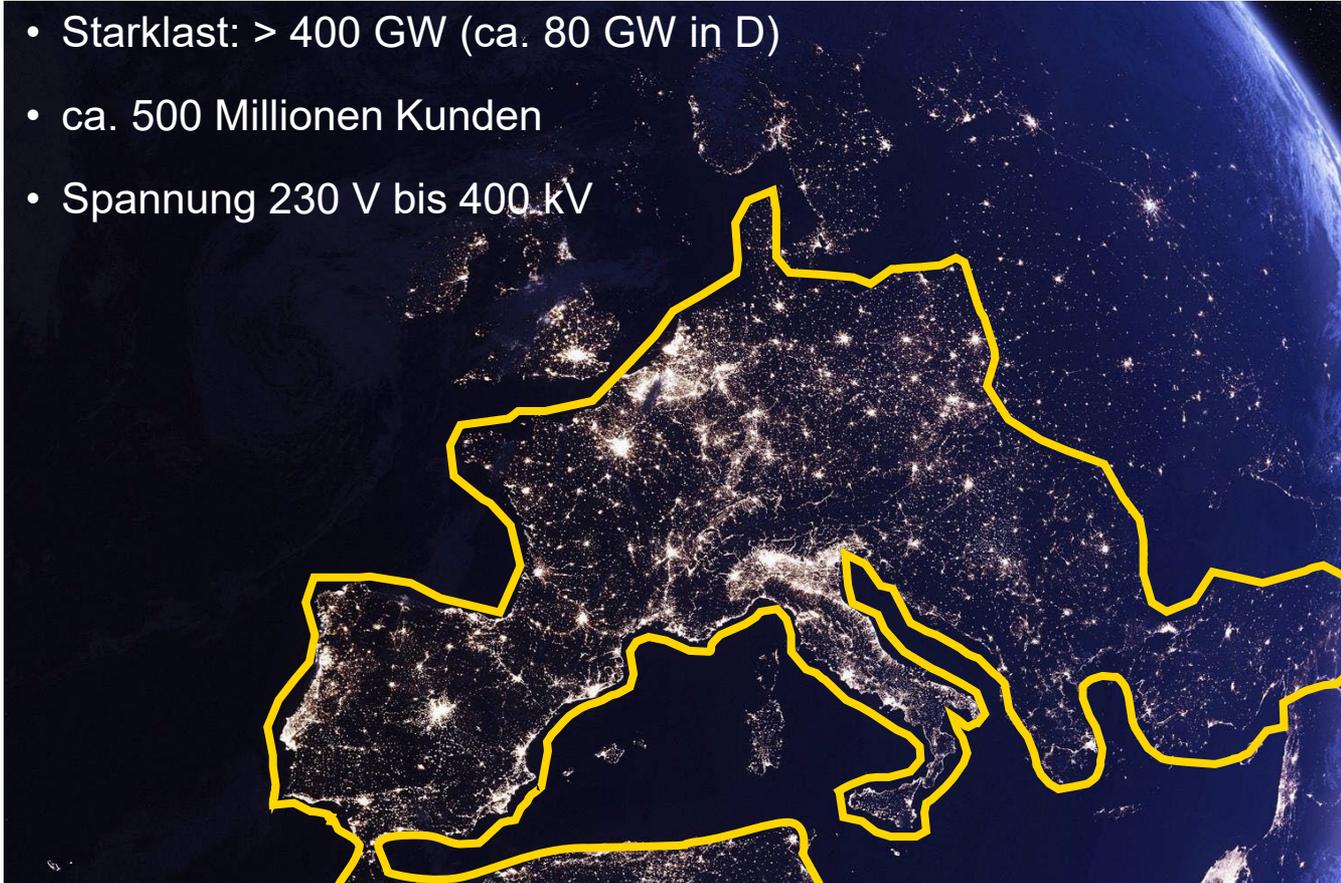
M.Sc. Technische Kybernetik  
**Spezialisierungsfach**  
**„Automatisierung in  
der Energietechnik“**

Prof. Dr.-Ing. Hendrik Lens

Abteilung Stromerzeugung und  
Automatisierungstechnik (SuA)

# Das System „Elektrische Energieversorgung“

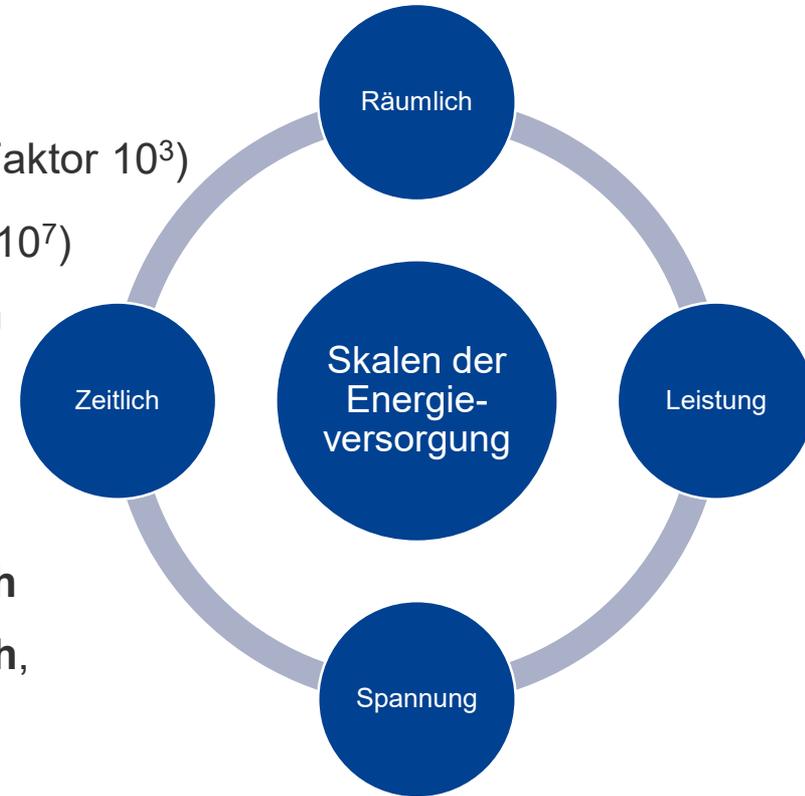
- Starklast: > 400 GW (ca. 80 GW in D)
- ca. 500 Millionen Kunden
- Spannung 230 V bis 400 kV



# System Energieversorgung

## Verschiedene Skalen

- Räumlich: Ortsnetz  $\leftrightarrow$  Verbundsystem (Faktor  $10^4$ )
- Leistung: Hausdach-PV  $\leftrightarrow$  Gesamtlast (Faktor  $10^8$ )
- Spannung: Niederspannung  $\leftrightarrow$  Höchstspannung (Faktor  $10^3$ )
- **Zeitlich**: Millisekunden  $\leftrightarrow$  mehrere Tage (Faktor  $> 10^7$ )
  - Stromerzeugung muss **zu jedem Zeitpunkt** dem Verbrauch entsprechen
  - Mittelfristiges Gleichgewicht: Prognosen + Stromhandel
  - Kurzfristiges Gleichgewicht: **regelungstechnisch**
  - Systemdynamische Effekte im **Sekundenbereich**, z.B. Netzpendelungen
  - Instantanes Gleichgewicht: **physikalisch und regelungstechnisch**



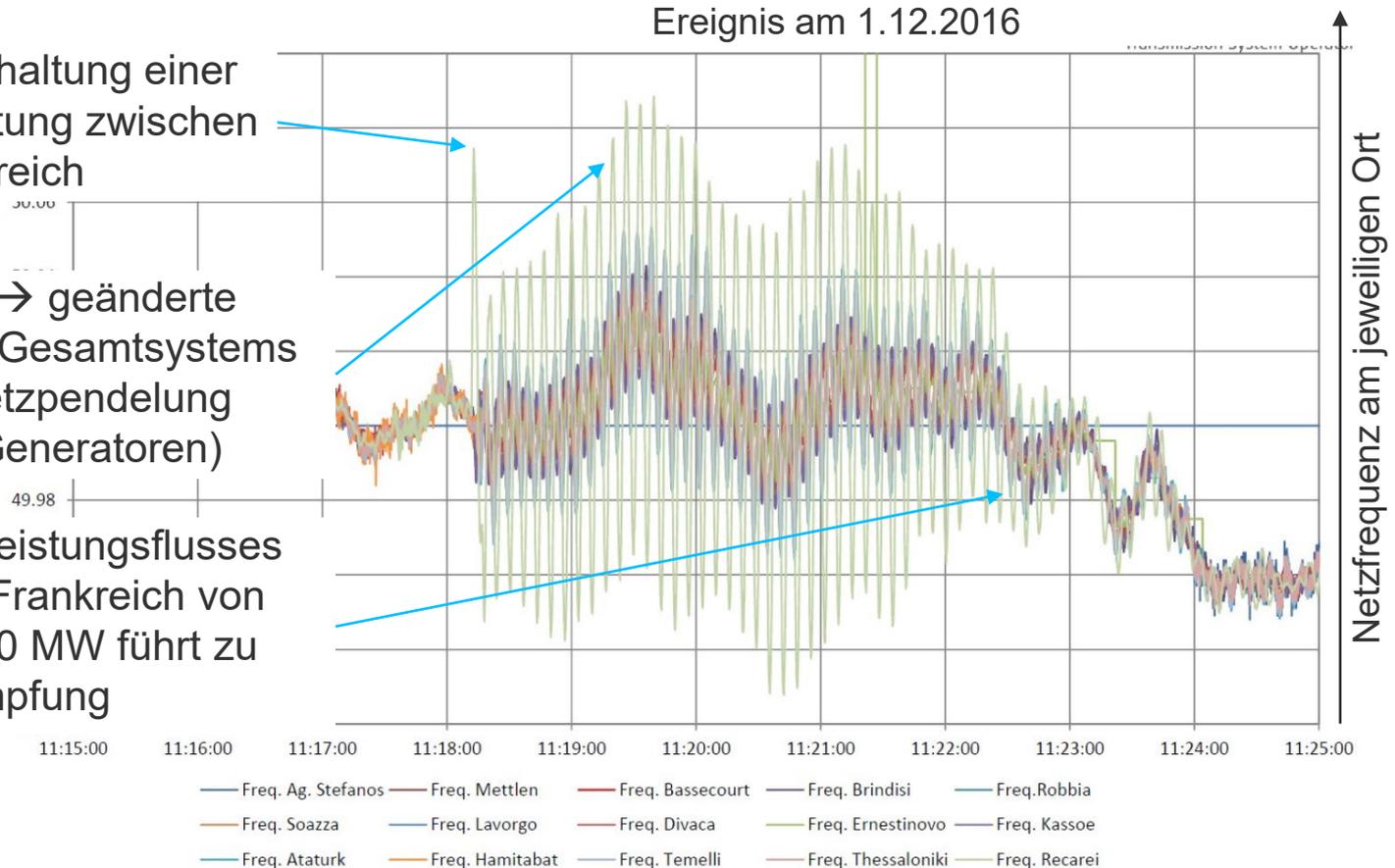
# System Energieversorgung

## Eine große, schwingungsfähige Maschine

Unerwartete Freischaltung einer hochbelasteten Leitung zwischen Spanien und Frankreich

Erhöhte Impedanz → geänderte Eigenschaften des Gesamtsystems → ungedämpfte Netzpendelung (Schwingung von Generatoren)

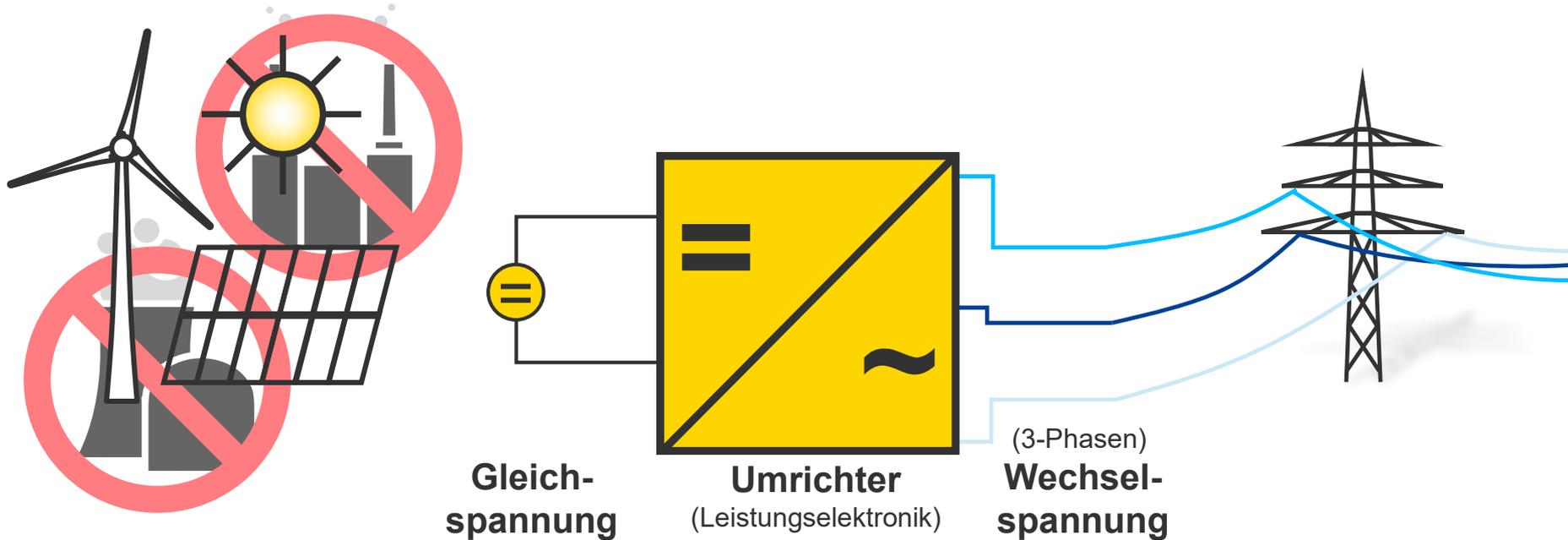
Verringerung des Leistungsflusses von Spanien nach Frankreich von 2.250 MW auf 1.000 MW führt zu ausreichender Dämpfung



# Zukünftige Grundlage der elektrischen Energieversorgung

## Umrichter

- Umrichter verhalten sich aber nicht genauso wie Synchronmaschinen
- Wie kann das funktionieren? → Forschungsfragen für die nächsten Jahrzehnte!



# Die Energieversorgung der Zukunft ...

... aktuell ein sehr aktives Forschungsgebiet



By Spyros Chatzivasileiadis, Andreas Venzke, Jochen Stiasny, and Georgios Misyris

By Joseph Benzaguen, Mohammadreza Miranbelgi, Prasad Kandula, and Deepak Divan



By Benjamin Kroposki,

## Der rasante Wandel des Systems bringt viele Herausforderungen mit sich:

- **Koordination** vieler kleiner Einheiten in verschiedenen Zeitskalen
- EE-Anlagen **verhalten sich anders** als klassische Kraftwerke
  - Neue Phänomene und Problemstellungen, Bedarf an **neuen Lösungen**
- Bedeutung der Dynamik und Regelungstechnik wird weiter zunehmen
  - Auf absehbarer Zeit besteht **erheblicher Bedarf an Experten mit Kenntnissen in den Bereichen Energieversorgung und Kybernetik**

Collaborative  
Automated  
Control

Grid-Forming  
Grid-System

Review Future Trends—A

ROBERTO ROSSO<sup>1</sup> (Student Member, IEEE), XIONGFEI WANG<sup>2</sup> (Senior Member, IEEE),  
MARCO LISERRE<sup>3</sup> (Fellow, IEEE), XIAONAN LU<sup>4</sup> (Member, IEEE),  
AND SOENKE ENGELKEN<sup>5</sup> (Senior Member, IEEE),  
(Invited Paper)

Handling Millions  
Systems: Challenges for Microgrids

Spyros Chatzivasileiadis, Petros Aristidou, Ioannis Dassios, Tomislav Dragicevic, Daniel Gebbran,  
Federico Milano, Claudia Rahmann, Deepak Ramasubramanian

ing  
ms

ricity  
Control



**Module des  
Spezialisierungsfachs  
„Automatisierung in der  
Energietechnik“**

# Spezialisierungsfach „Automatisierung in der Energietechnik“

## Überblick der Module

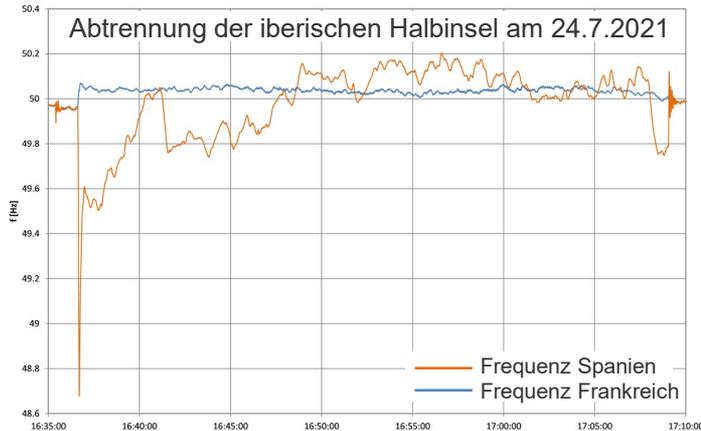
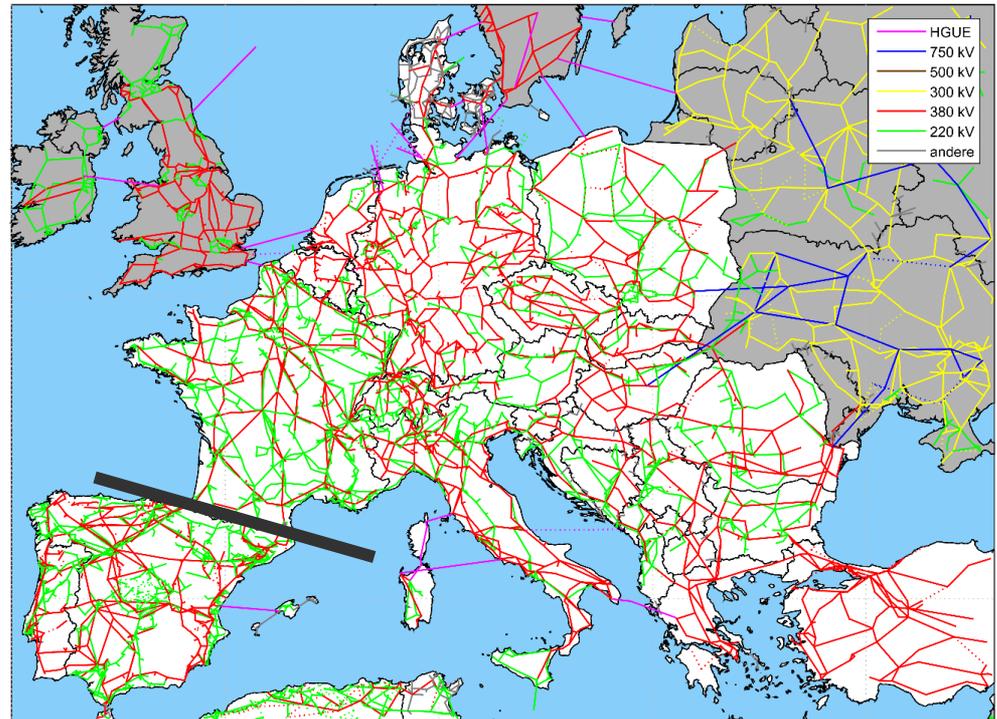
- Pflichtmodule
  - Dynamik elektrischer Verbundsysteme (3 LP) – IFK (Modul: 29180)
  - Regelungstechnik für Kraftwerke (3 LP) – IFK (Modul: 30610)
- Wahlmodule (sofern nicht in B.Sc. bereits belegt):
  - Elektrische Energienetze II (6 LP) – IEH (Modul: 21760)
  - Elektrische Verbundsysteme (3 LP) – IEH (Modul: 719301)
  - Firing Systems and Flue Gas Cleaning (6 LP) – IFK (Modul: 15440)
  - Netzintegration von Windenergie (3 LP) – IEH (Modul: 37010)
  - Regelung von Kraftwerken und Netzen (6 LP) – IFK (Modul: 28550)
- Weitere, fachlich passende Wahlmodule sind möglich (Antrag erforderlich)

# Einblick in die Pflichtmodule

## Dynamik elektrischer Verbundsysteme

- Verbindung nationaler Netze zu einem Gesamtsystem („Verbund“)
- Dynamik des Gesamtsystems ist ein Ergebnis der Dynamik der Einzelsysteme und der Wechselwirkungen

kontinentaleuropäisches Verbundsystem (weiß)



# Einblick in die Pflichtmodule

## Dynamik elektrischer Verbundsysteme – Inhalte

- Wichtige Grundlagen elektrischer Verbundsysteme
  - Grundlagen der Netzregelung und der Systemführung
  - Definition von Stabilitätsbegriffen im Verbundnetzbetrieb („Lyapunov“ reicht nicht aus)
- Dynamische Modellierung elektrischer Verbundsysteme
  - Dynamisches Verhalten der Systembestandteile (Generatoren, Spannungsregler, ...)
  - Effiziente und numerisch robuste Lösung der Gleichungen bei sehr großen Systemen
- Entstehung, Messung, Beeinflussung und Monitoring dynamischer Vorgänge
  - Wirkleistungs-Frequenzregelung und Blindleistung-Spannungsregelung
  - Netzpendelungen
  - Einfluss von Leistungselektronik und ihrer Regelung
  - Neue Regelungskonzepte und Stabilisierungsmaßnahmen

# Einblick in die Pflichtmodule

## Regelungstechnik für Kraftwerke

- Kraftwerke sind Stellglieder des Energieversorgungssystems
- Dynamik und Regelung der Kraftwerke ist wichtig für
  - ihre Flexibilität und Wirtschaftlichkeit
  - die Stabilität des Gesamtsystems
- Spezifika:
  - Betrieb in der Nähe der Grenzen zulässiger Betriebsbedingungen (maximaler Wirkungsgrad)
  - Viele, teils starke Verkopplungen
  - Verschiedene Betriebsarten
  - Verschiedene Anbindungen an das Netz (Synchronmaschine, Leistungselektronik)

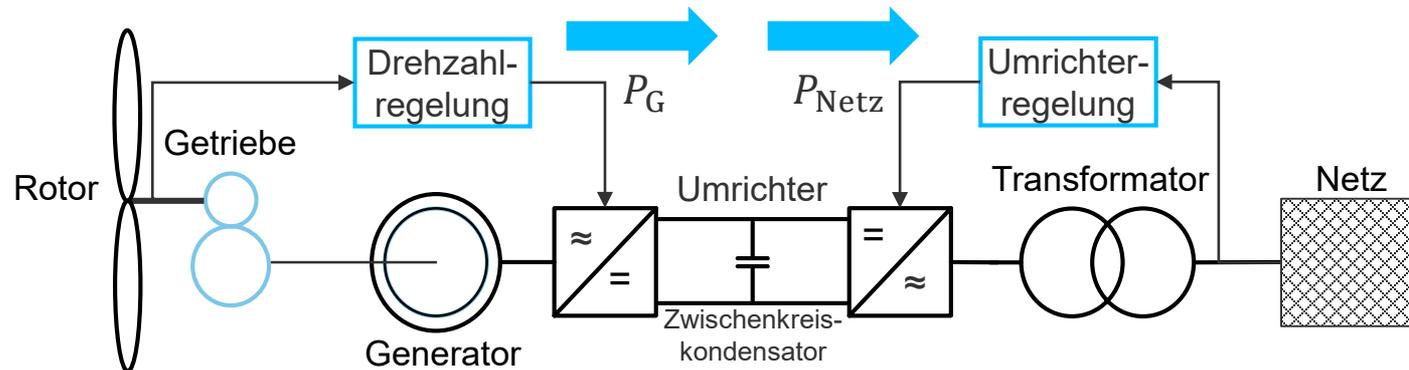


Bildquellen: photovoltaik.eu; vestas.com; nachtzeichen.de

# Einblick in die Pflichtmodule

## Regelungstechnik für Kraftwerke

- Beispiel: Regelung des Umrichters einer drehzahlvariablen Windenergieanlage
- Aufgabe der Drehzahlregelung
  - Windenergieanlage im optimalen Bereich halten
  - Maximale Wirkleistungsausbeutung
- Aufgabe der netzseitigen Umrichterregelung
  - Wirkleistung geeignet ins Netz speisen
  - Blindleistungsregelung



# Einblick in die Pflichtmodule

## Regelungstechnik für Kraftwerke – Inhalte

- Grundlagen der Prozessautomatisierung
  - Mess- und Stellglieder
  - Anbindung an das Automatisierungssystem
- Regelungskonzepte für thermische Kraftwerke
  - Modellgestützte Blockführungskonzepte
  - Zwei-Freiheitsgrade-Regelung (dynamische Vorsteuerung)
  - Wichtige Regelkreise
- Regelungskonzepte für hydraulische (Speicher)Kraftwerke
- Kraftwerkseinsatzplanung
- Regelung von Windenergieanlagen
- Regelung von PV-Anlagen
- Netzseitige Umrichterregelung



Universität Stuttgart

**Vielen Dank!**



**Prof. Dr.-Ing. Hendrik Lens**

E-Mail [hendrik.lens@ifk.uni-stuttgart.de](mailto:hendrik.lens@ifk.uni-stuttgart.de)

Telefon +49 (0) 711 685-66213

Fax +49 (0) 711 685-63491

Universität Stuttgart

Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik

Pfaffenwaldring 23 • 70569 Stuttgart

