



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT



Lehrstuhl für
Elektrische Energiesysteme

Perspektiven der Übertragungstechnik in Deutschland und Europa

Hannover Messe – Forum Integrated Energy
4. April 2019

Prof. Dr.-Ing Matthias Luther

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



VDE ETG

Teil 1: VDE/ETG-Studie “Perspektiven der elektrischen Energieübertragung in Deutschland“

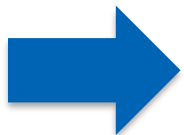
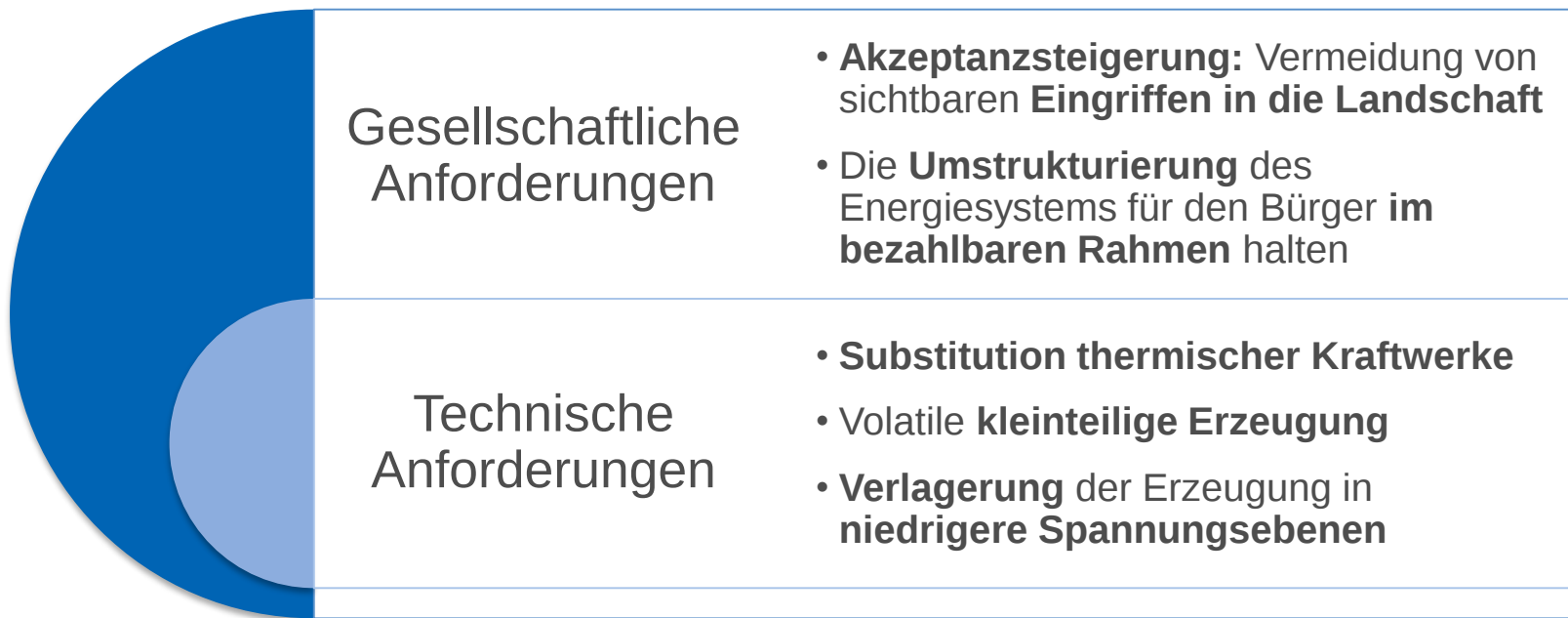
- Motivation und Zielstellung
- Task Force
- Methodisches Vorgehen
- Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

Teil 2: Echtzeitsystemführung - Forschung am Puls der Zeit

- Digitalisierung der Netzsystemführung
- Anwendungsbeispiele
- Forschungsprojekt „InnoSys 2030“



Teil1: VDE/ETG-Studie "Perspektiven der elektrischen Energieübertragung in Deutschland"



Konsequenz: Notwendigkeit einer umfassenden Systemanalyse der zu integrierenden Übertragungstechnologien

Zielstellung der Studie:

Von den Anforderungen zu einer Entwicklungs-Roadmap



Die Zielstellung des Arbeitsprogramms orientiert sich an vier wesentlichen Kernfragen:

- Welche Eigenschaften von Übertragungstechnologien sind in Bezug auf Bemessungsleistung, Kompatibilität zu dem bestehenden System, Umweltaspekte, Kosten und die gesellschaftliche Akzeptanz zukünftig notwendig?
- Welche Technologien mit welchen elektrischen Parametern kommen dafür grundsätzlich in Frage?
- Welchen Einfluss haben diese Technologien auf das Systemverhalten?
- Welche Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten müssen dazu angestoßen werden und wie könnte der Weg der Technologien bis zur Produktreife aussehen?

Zusammensetzung der Task Force



Ansatz: Das Know-How der am Forschungsprozess beteiligten Übertragungsnetzbetreiber, Hersteller und wissenschaftlichen Einrichtungen in einer Studie bündeln.

Zeitraum Juli 2016 – Februar 2019

Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther (FAU Erlangen-Nürnberg)

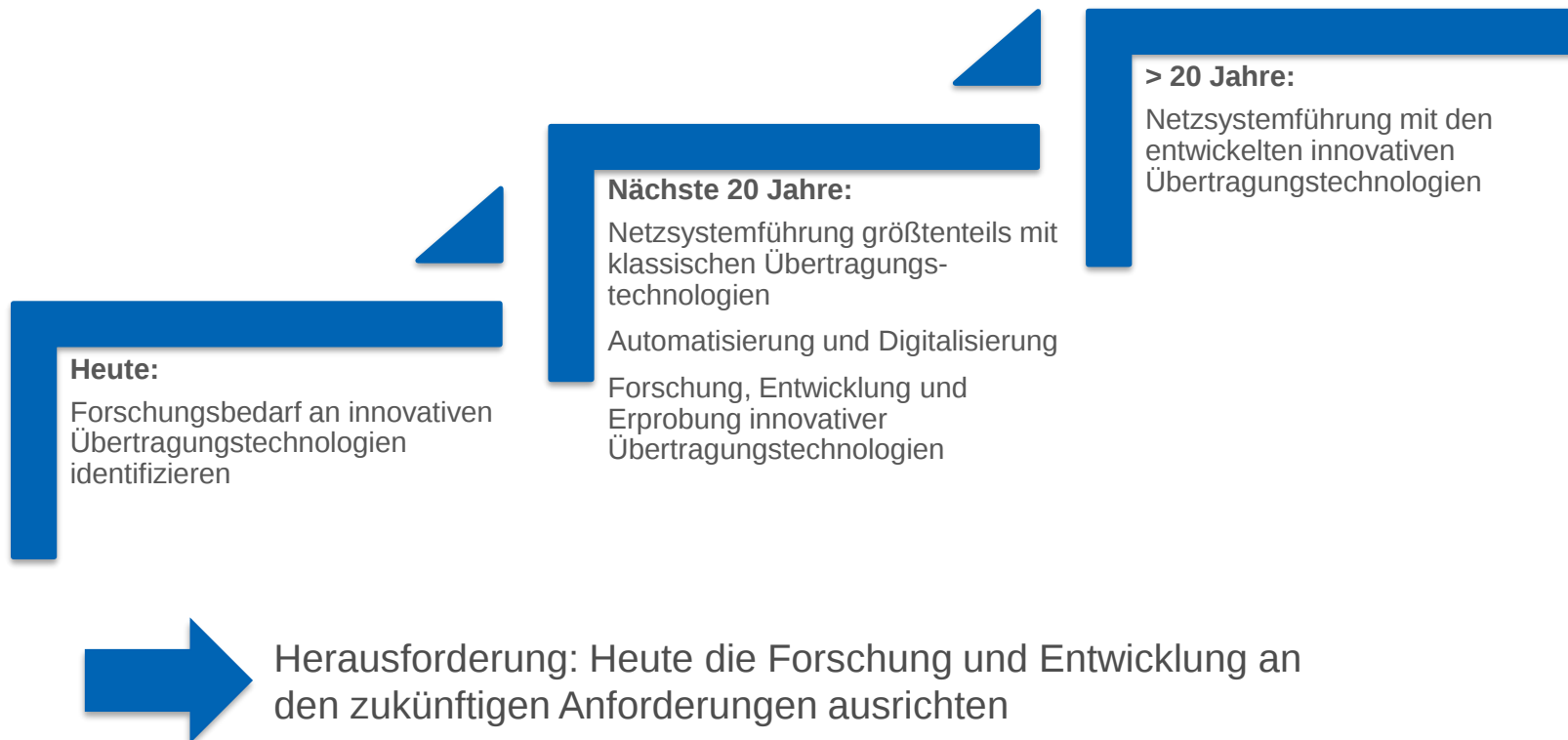
Mitglieder: 66 Experten aus allen Teilbereichen der elektrischen Übertragungstechnik

Zusammensetzung des Redaktionsteam:

- Übertragungsnetzbetreiber: 6 Teilnehmer
- Hersteller: 3 Teilnehmer
- Wissenschaft: 8 Teilnehmer
- VDE/ETG: 2 Teilnehmer



Entwicklungsprozess entlang der Zeitachse



Wesentliche Anforderungen: Ergebnisse einer Expertenerhebung



Technische Bedeutung

- Modulare Netzentwicklung (Hybridnetz, Zellen)
- Temporäre Überlastbarkeit von Betriebsmitteln bei volatiler Spitzenauslastung
- Sichere und intelligente Kommunikations- und Schutztechnik
- Flexible Betriebsführung und Freiheitsgrade im Netzbetrieb
- Regionale Blindleistungsbereitstellung



Wirtschaftliche Bedeutung

- Überregionaler Austausch großer Leistungen/Energien
- Deckung der Anforderungen zur europäischen Marktintegration
- Geringe Wartungs-/Instandhaltungskosten
- Geringe Netzverluste
- Optimierte Auslastung der Übertragungskapazitäten



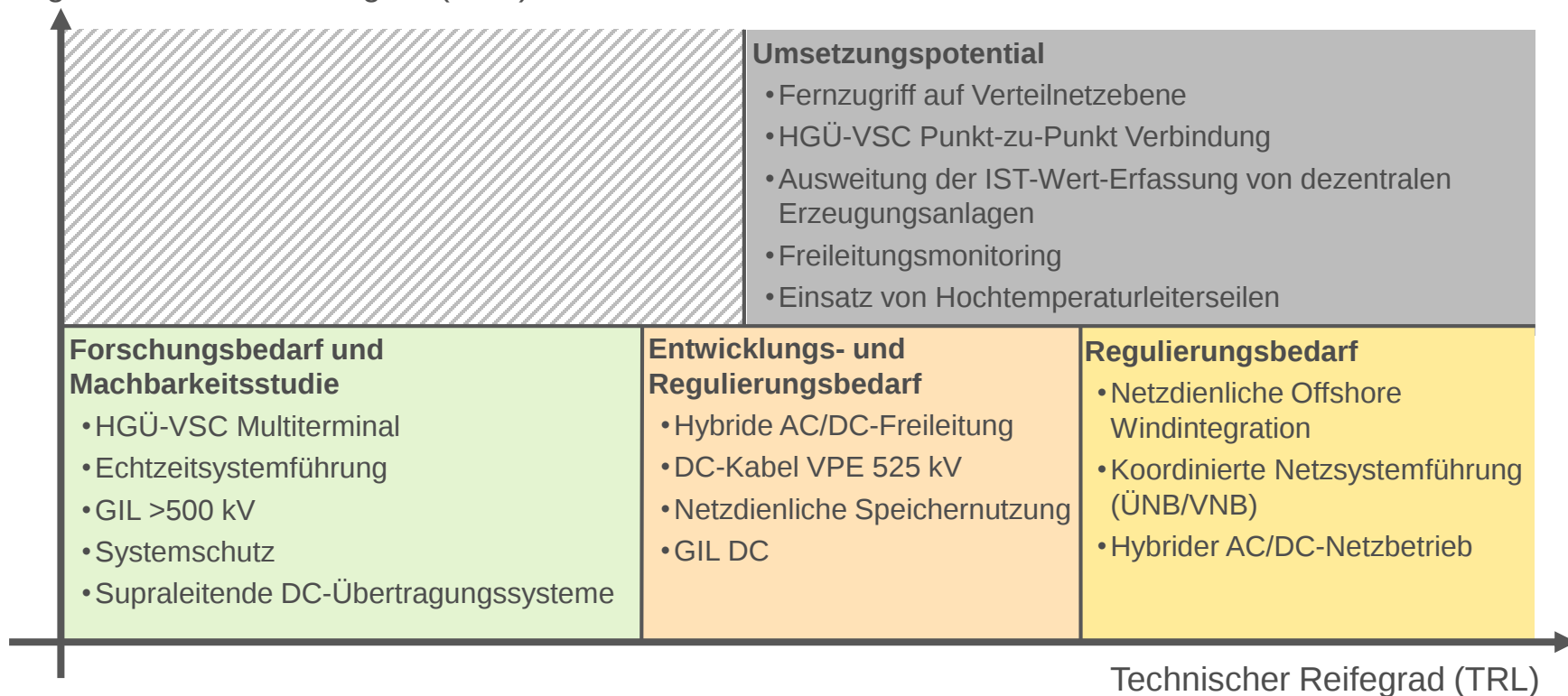
Sozioökologische Bedeutung

- Transparenter Planungsprozess mit Bürgerbeteiligung
- Geringe Bodenbelastung
- Keine optische Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch Betriebsmittel
- Geringe elektromagnetische Strahlung
- Wahrung des Technologiestandortes Deutschland

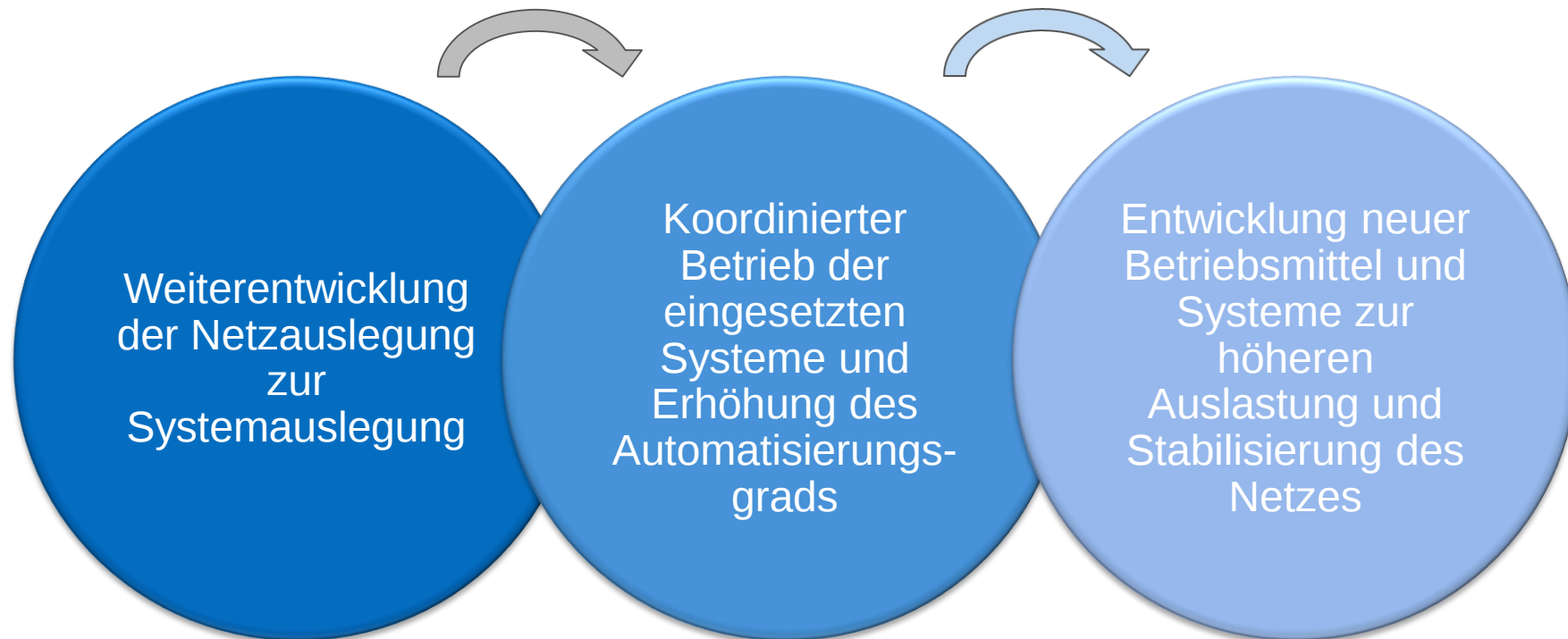
Handlungsempfehlungen: Einordnung nach ORL und TRL



Organisatorischer Reifegrad (ORL)



Zentrale Handlungsstränge für den zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf



Studienergebnisse: Handlungsfelder und Themenschwerpunkte



Drei-Ebenen-Roadmap

- Ganzheitliche Systembetrachtungen von multimodalen und multihybriden Systemstrukturen
- Koordinierter Systembetrieb (ÜNB/VNB, D/CE)
- Erhöhung des Automatisierungsgrades des Netzbetriebes in Richtung autonomer Expertensysteme und Entwicklung der nötigen sicheren IT-Systeme
- Kopplung der Online-Systemführung mit dem Einsatz neuer Werkzeuge und Verfahren zur Echtzeitsimulation
- Leitungsgebundene Übertragung: Technologien zur Erdverlegung, Freileitungs-Monitoring, Hochtemperaturleiterseile, HGÜ, FACTS, Supraleitung

Stand der Technik

- HS-Drehstrom- und HS-Gleichstromübertragung
- Systemaspekte der elektrischen Energieübertragung

Anforderungen an die Übertragungssysteme der Zukunft

- Mitgliedererhebung der bedeutendsten Anforderungen unter sozioökologischen, wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten
- Bewertung und Ranking der Anforderungen
- Bewertung der Technologien und Maßnahmen hinsichtlich des Erfüllungsgrads der bedeutendsten Anforderungen

Forschungs- und Entwicklungsbedarf

- Technologiebasierter F&E-Bedarf
- Systemischer F&E-Bedarf

Handlungsempfehlungen

- Übergeordnete Handlungsempfehlungen für die als vorrangig einzusetzenden Technologien





Bildquelle: TenneT TSO GmbH

Teil2: Echtzeitsystemführung - Forschung am Puls der Zeit

Beispiel: Informationsverarbeitung im Automobil



Eingabe Sensoren

Temperatursensoren
Sitzbelegungserkennung
Regensensor
Lichtsensoren
Lenkradwinkel
Abstandsmessung
Gaspedalpositionsgeber
Motordrehzahlgeber
Beschleunigungssensor
Lambdasonde

...

Verarbeitung (inkl. Mensch) Steuerungs- und Regelungsgeräte „Bordcomputer“



Ausgabe Aktoren

Klima- und Lüftungsanlage
Sitzpositionsmotoren
Scheibenwischermotor
Scheinwerferregulierung
Parkassistent
Kraftstoffpumpe
Einspritzanlage
Geschwindigkeitsregelung
Fahrerinformationssystem

...

Digitalisierung in der Netzsystemführung der Zukunft



Eingabe Sensoren



- Strom
- Spannung
- Wirk- und Blindleistung
- Leitertemperatur
- Leiterseildurchhang
- Betriebsmittelauslastungen
- Ladezustand von Speichern
- Frequenz
- PMU/WAMS
- ...

Verarbeitung (inkl. Mensch) Steuerungs- und Regelungsgeräte



Expertensysteme zur Netzsystemführung in Echtzeit

- Rechnergestützte Optimierungsalgorithmen unter Einbeziehung betriebsmittel-spezifischer Randparameter
- Selektive Gegenprüfung durch Personal
- Koordinierte, vollautomatisierte Betriebsführung hybrider Systemstrukturen

Ausgabe Aktoren



- Schalthandlungen
- Transformatorstufensteller
- Kraftwerksregelung (konventionell und regenerativ)
- Lastflusssteuerung und Kompensation (HGÜ, FACTS, PST)
- Schutzanregung
- Regelleistungseinsatz
- Speicherregelung
- Power-to-X Prozesse
- Marktkapazitäten
- ...

Definition des (n-1)-Kriteriums



Der Grundsatz der (n-1)-Sicherheit in der Netzplanung besagt, dass in einem Netz bei prognostizierten maximalen Übertragungs- und Versorgungsaufgaben die Netzsicherheit auch dann gewährleistet bleibt, wenn ein Netzbetriebsmittel ausfällt oder abgeschaltet wird. Für diesen Fall darf es nicht zu Versorgungsunterbrechungen oder einer Ausweitung der Störung kommen. Außerdem muss die Spannung innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben und die verbleibenden Betriebsmittel dürfen nicht überlastet werden. Diese allgemein anerkannte Regel der Technik gilt grundsätzlich für alle Netzebenen.

Quelle: Glossar netzausbau.de, modifiziert

Auszuschließende Auswirkungen	Netzbetriebsmittel für (n-1)-Ausfall
Versorgungsunterbrechungen	Freileitungs- bzw. Kabelstromkreis
Folgeauslösung weiterer Schutzgeräte	Netztransformator
Stabilitätsverlust von Erzeugungsanlagen	Erzeugungseinheit
Notwendige Änderung ggf. Unterbrechung einer Übertragung	
Dauerhafte Grenzwertverletzungen (Betriebsspannung, Spannungsbänder, Kurzschlussleistung, Strombelastung)	

Präventiv

- Die Netze werden für den ungestörten Betrieb (n-1)-sicher geplant - d.h. redundant ausgelegt.
- Die Redundanz für einen Ausfall wird in den Betriebsmitteln vorgehalten.

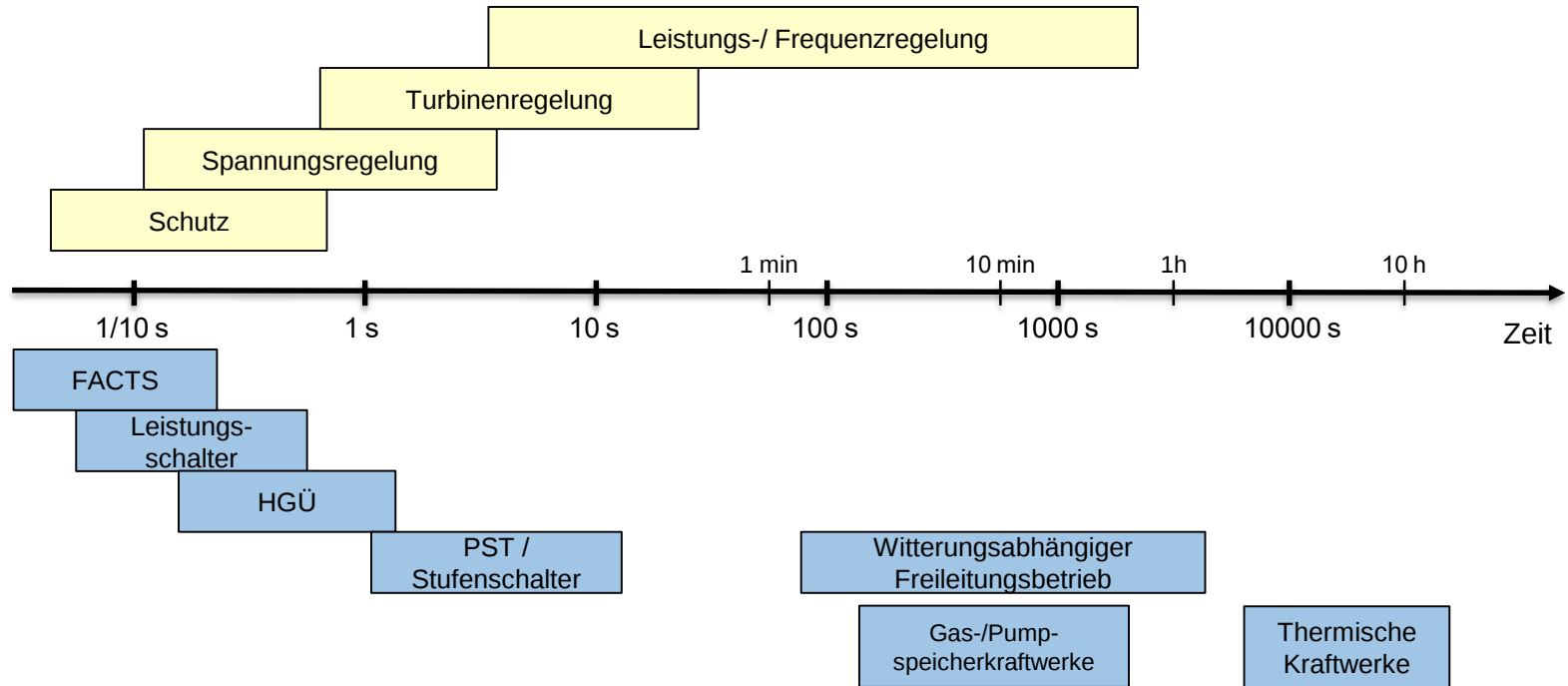
- Einfacher und bewährter Einsatz in Planung und Betrieb
- Teilauslastung der Assets im ungestörten Betrieb
- Deterministischer Ansatz ohne Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit von (n-1)-Ausfällen

Kurativ

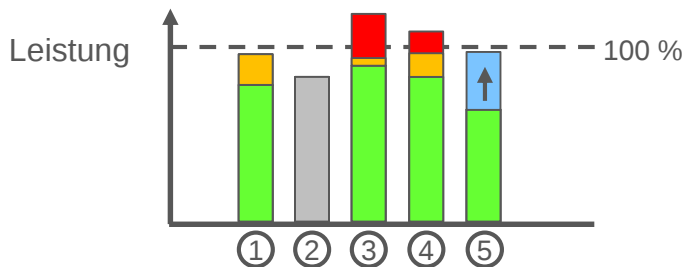
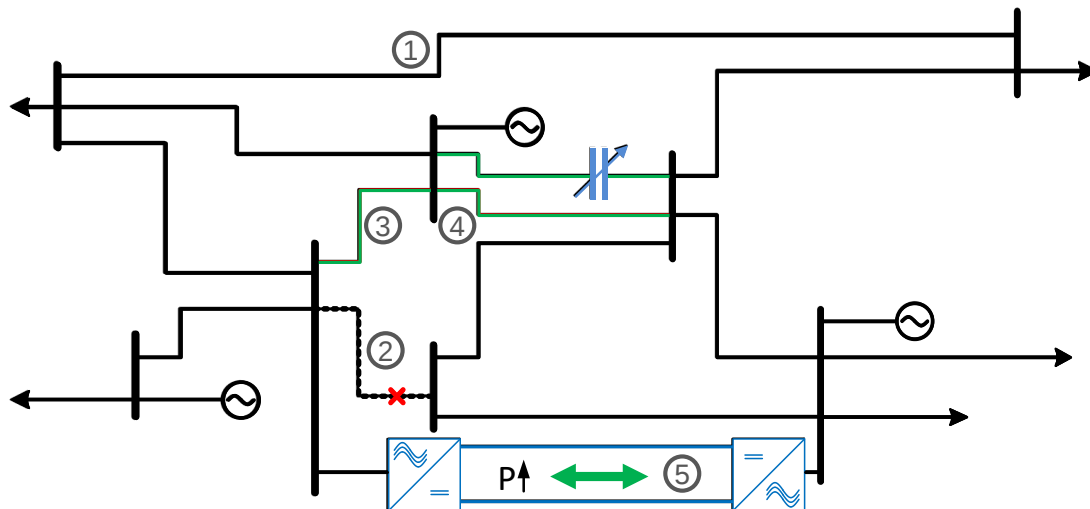
- Das (n-1)-Prinzip wird „kurativ“, d.h. nach einer Störung durch betriebliche Eingriffe gewahrt.
- Im ungestörten Betrieb besteht keine oder nur eingeschränkte Redundanz.

- Hohe Komplexität und Notwendigkeit zusätzlicher betrieblicher Freiheitsgrade (Flexibilitätsoptionen, Automatisierung)
- Maximale Auslastung der Assets im ungestörten Betrieb
- Erhöhung der Übertragungskapazität im ungestörten Betrieb, langfristig: Reduzierung des Netzausbaubedarfs

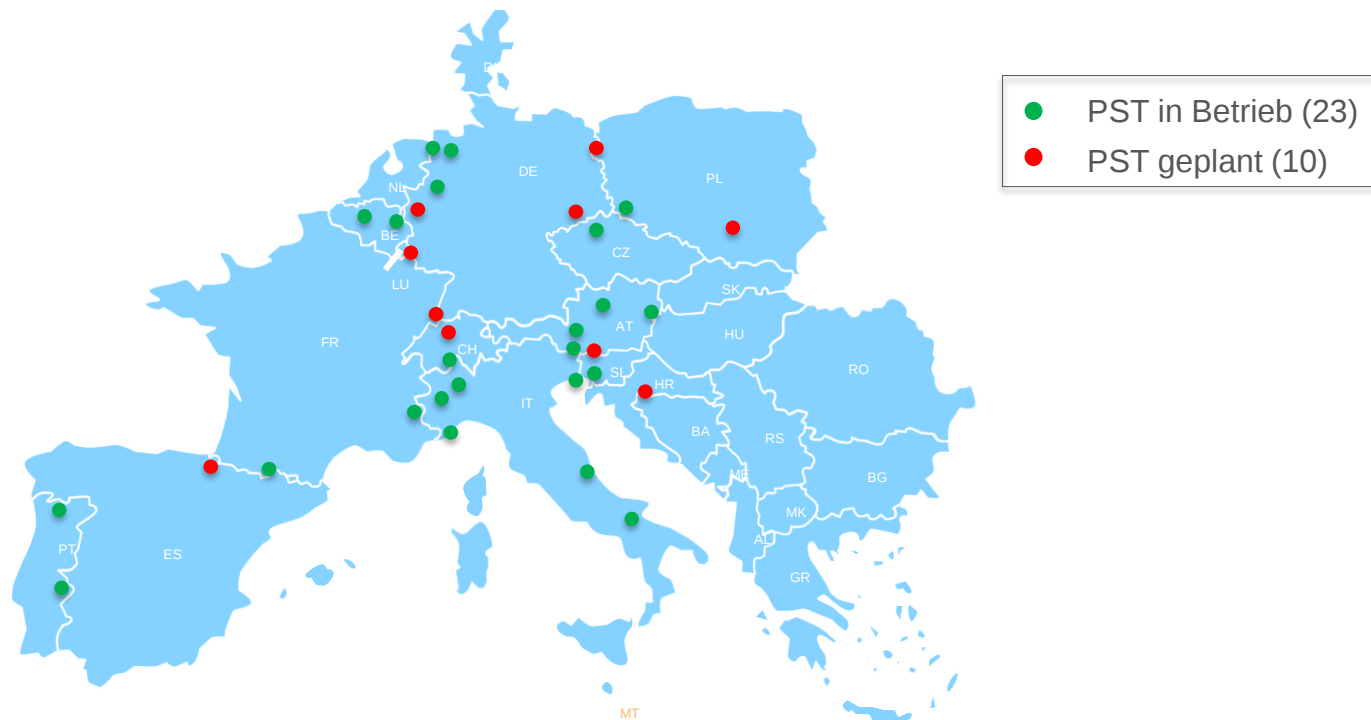
Zeitbereiche und Reglereingriffe im Übertragungsnetz



Beispiel zur Wirkungsweise einer Systemautomatik



Beispiel Netzregelung: Phasenschieber-Transformatoren in Kontinentaleuropa



Innovationen in der Systemführung – „InnoSys 2030“

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Verbundforschungsprojekt mit 17 Partnern
- Projektstart: 1. Oktober 2018
- Projektdauer: 3 Jahre
- Umsetzung der Konzepte: bis 2030
- Konsortialführer: TenneT TSO GmbH
- Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit 9,375 Mio. EUR

Forschungsziel:

Erhöhung der Netzauslastung durch den systemweiten koordinierten Einsatz von

- leistungsflusssteuernden Betriebsmitteln,
- kurativen Maßnahmen und
- einem höheren Automatisierungsgrad in der Systemführung

bei weiterhin **höchster System- und Netzsicherheit**



Themenfelder „InnoSys 2030“

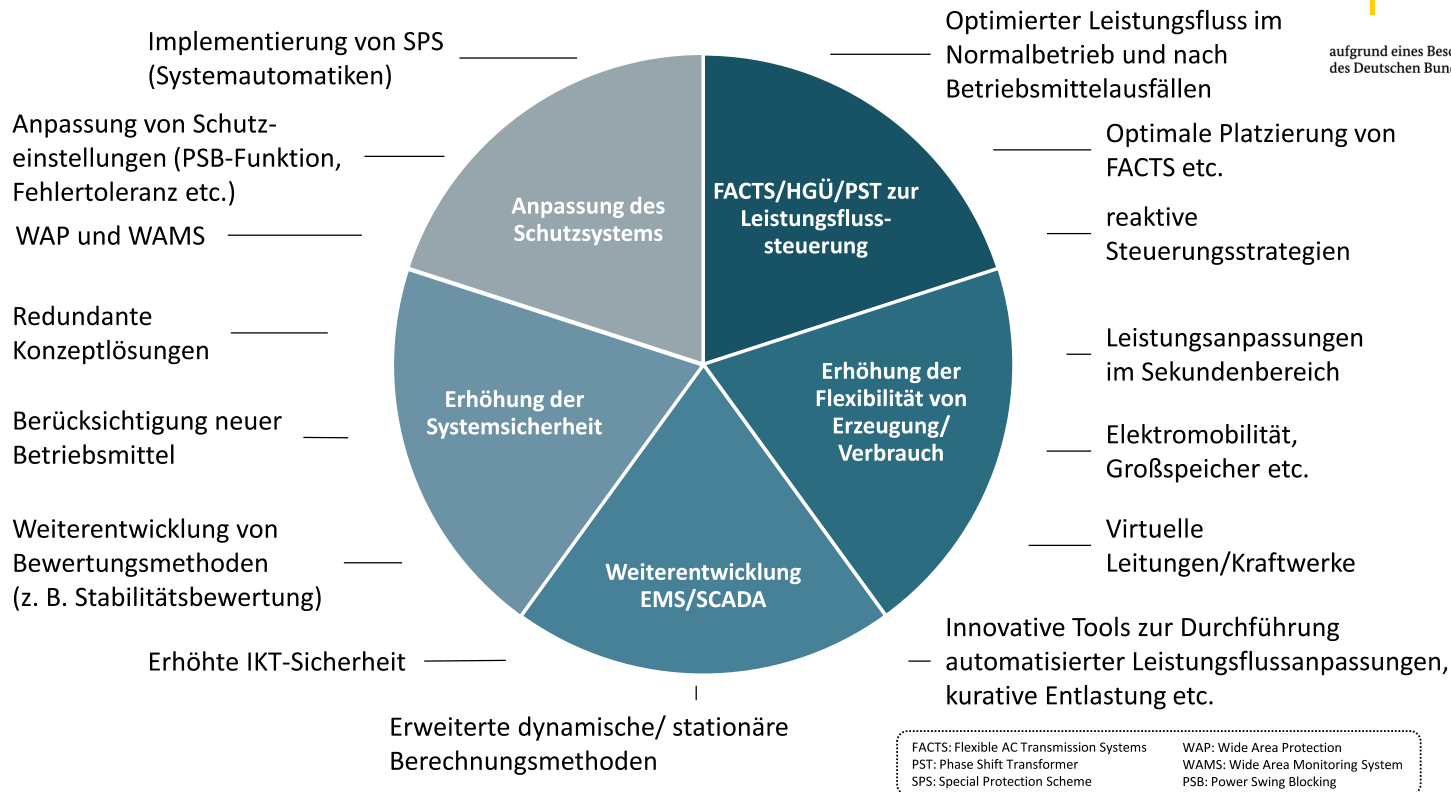
Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther
FAU Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme
Cauerstr. 4 (Haus 1)
91058 Erlangen

Tel: +49 9131 85-67541
Fax: +49 9131 85-67555

E-Mail: info@ees.fau.de
Web: <http://ees.eei.fau.de>

