





# Forschung für den Klimaschutz: Wie sieht das Stromnetz der Zukunft aus?

Nürnberg - 21. Mai 2022

Prof. Dr.-Ing. Matthias Luther







#### Neue Klimadaten des Umweltbundesamtes für Deutschland

#### Die Emissionen sinken nicht - sie steigen

Eine echte Trendumkehr zeichnet sich weiter nicht ab: Nach der Coronapause 2020 stieg der CO<sub>2</sub>-Ausstoß 2021 wieder deutlich an, dies zeigen gerade veröffentlichte Zahlen. Vor allem zwei Bereiche machen Sorgen. Eine Analyse von Susanne Götze

Spiegel, 15.03.2022

#### FAZ.NET

Die Ukraine ist jetzt mit dem europäischen Stromnetz verbunden

Geplant war der Anschluss erst später. Doch der russische Überfall führt nun zu einer schnelleren Absicherung

FAZ.NET, 16.03.2022

#### Energieträger der Zukunft

#### Es hakt noch beim Wasserstoff

22.02.2022 - 12:50 Uhr

Wasserstoff wird für die Energiewende dringend gebraucht. Doch Investoren haben etwas voreilig auf einen Boom gesetzt. Anspruch und Wirklichkeit klaffen noch weit auseinander. Von Dorothee Holz.

Tagesschau, 22.02.2022

#### Robert Habeck

# "Artenschutz und Windkraft vertragen sich"

Klima- und aktuelle Gaskrise machen den Umstieg auf Erneuerbare nötig. Wirtschaftsminister Habeck und Umweltministerin Lemke wollen gleichzeitig den Artenschutz sichern.

4. April 2022

Zeit, 04.04.2022

#### ZfK<sup>+</sup> Erneuerbare Energien deckten Ostern gut die Hälfte des Strombedarfs

Am meisten Strom produzierten in dem Zeitraum die Photovoltaikanlagen. Die Großhandelspreise schwankten je nach Energieträger stark.

19.04.2022

ZFK, 19.04.2022

#### **Dritter Teil des Weltklimaberichts**

#### Die Klimakrise ist zur Frage der nationalen Sicherheit geworden

Der Welt bleiben nur noch zehn Jahre, um die schlimmsten Folgen der Erderwärmung zu verhindern. Fachleute haben nun umfassende Klimaschutzstrategien erarbeitet. Einige sind jedoch extrem unpopulär. Eine Analyse von Susanne Götze

Spiegel, 04.04.2022

#### Versorgungssicherheit

# Wie sich Deutschland unabhängig von Russlands Energie machen will

Schon im Sommer sollen nach SPIEGEL-Informationen Ölimporte aus Russland halbiert, Steinkohle bis zum Herbst ersetzt sein. Die Abhängigkeit von Erdgas wird bis Ende des Jahres auf nur noch 30 Prozent sinken – dank dreier Spezialschiffe.

Spiegel, 25.03.2022



## Übersicht

- Einleitung: Die Komplexität des Umbaus
- Klimaziele und Prognosen
- Versorgungsqualität
- Netzentwicklung in Deutschland und Europa
- Beispiele aus unserer Forschung:
   Digitalisierung und Echtzeitanalyse
- Fazit und Handlungsbedarf



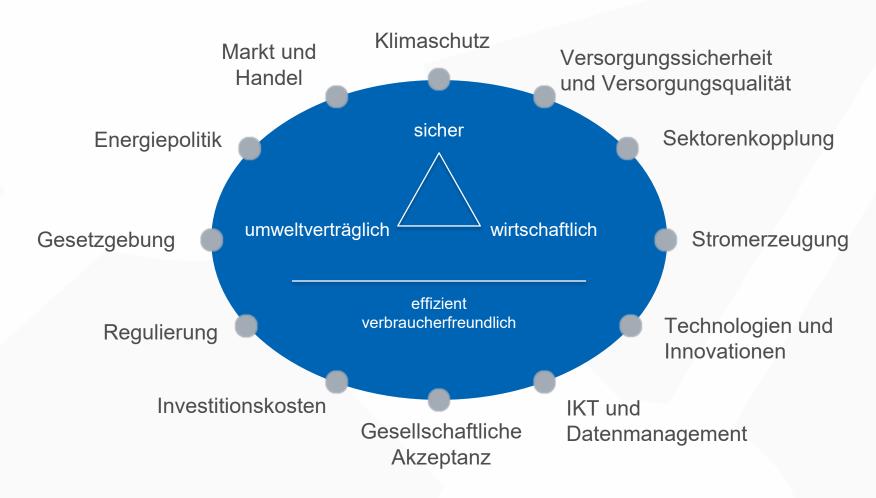






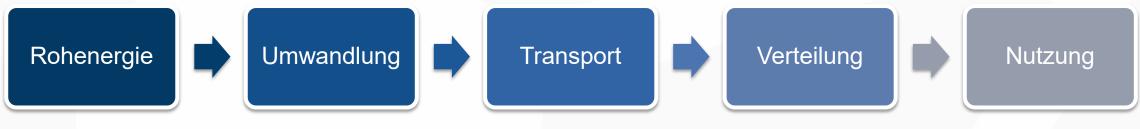


# Wenn alles so einfach wäre: Die Komplexität der nachhaltigen Systementwicklung





# Aktuelle Herausforderungen entlang der elektrischen Energiekette



### Geothermie

Erdbeben
Einfluss auf den
Untergrund

## Hybridkraftwerke

Bisher wenig verbreitet

#### Kernfusion

Plasmaeinschluss

#### Netzausbau

Bürgerakzeptanz

#### **Smart Grids**

Wirtschaftlichkeit

### Effizienz

Grenzen der Physik

### **Erneuerbare Energien**

Netzintegration und Konsequenzen

#### **Wasserstoff**

Sicherer Transport und Speicherung

### **Speichersysteme**

Strom als "just-in-time Produkt" nicht in techn. interessantem Maße speicherbar

#### Elektromobiliät

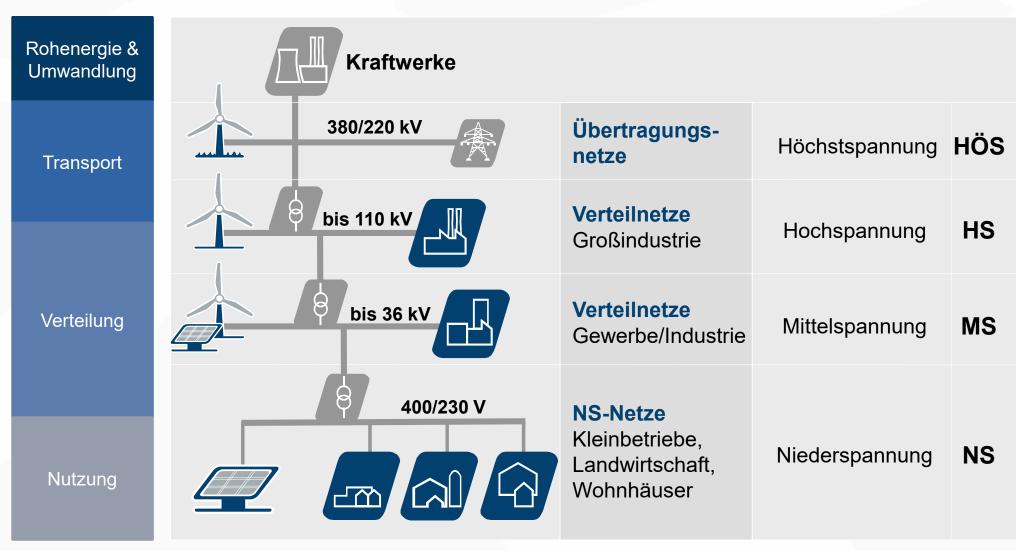
Batteriespeicher flächendeckende Infrastruktur

#### Power-to-X

Sektorenkopplung

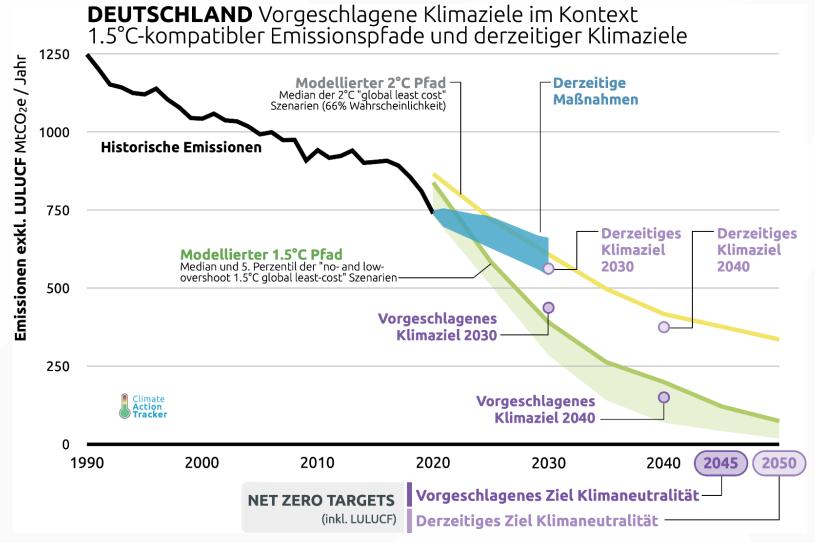


# Struktur der elektrischen Energieversorgung





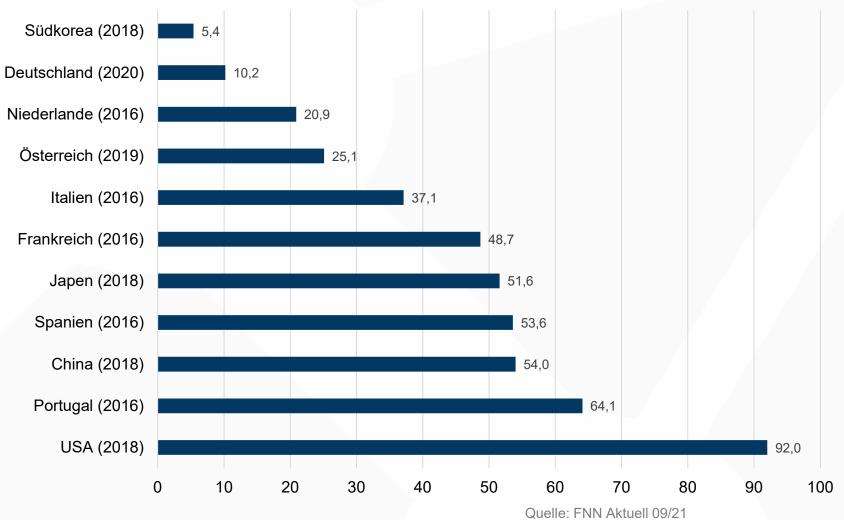
# Klimaziele und Prognosen für Deutschland





# Versorgungsqualität im weltweiten Vergleich

#### Durchschnittliche Strom-Unterbrechungsdauer (in Minuten)







# Netzentwicklung in Deutschland und Europa

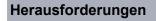






#### **Ausgangssituation**

"Das Europäische Verbundnetz ist für einen konventionellen Kraftwerkspark und lastnahe, gesicherte Erzeugung ausgelegt."



**Transformation** 

## Heutige und zukünftige Situation



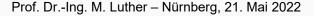




- Erzeugungsschwankungen durch volatile Energiebereitstellung
- Zunahme des grenzüberschreitenden Stromhandels innerhalb der EU
- Steigende Anzahl verteilter Stromerzeugungsanlagen
- Gesetzlicher Ausstieg aus der Kernenergie seit Fukushima, geplanter Kohleausstieg

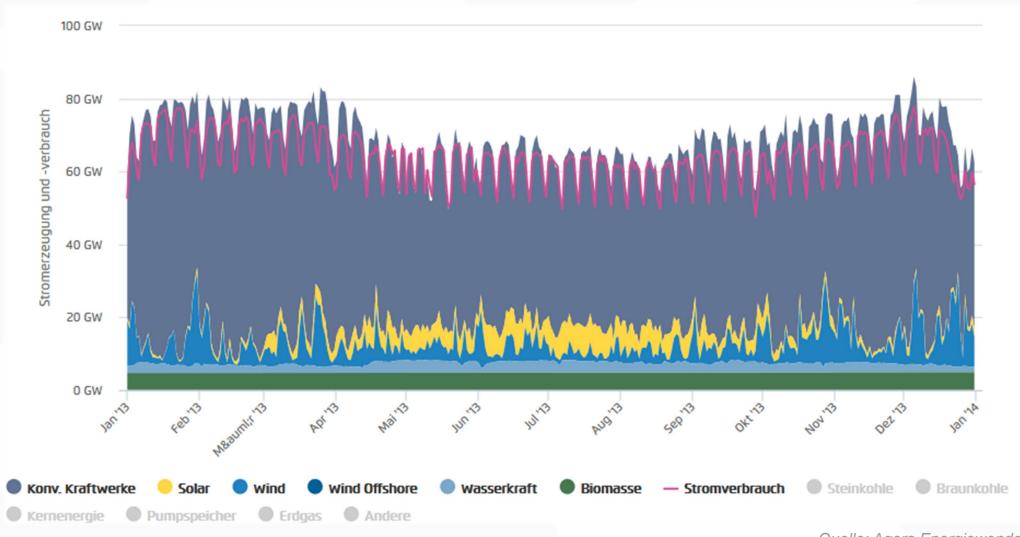






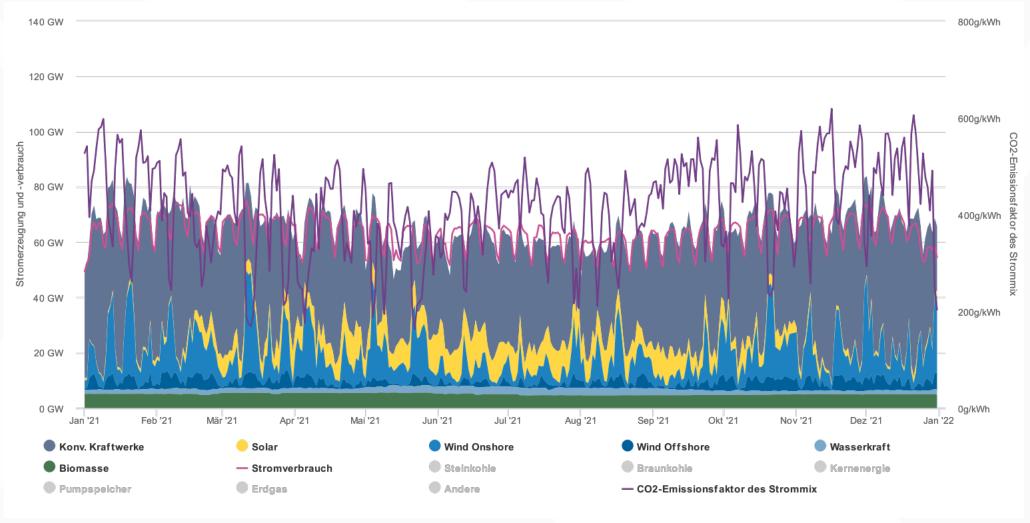


# Nettostromerzeugung und Lastverlauf in Deutschland 2013



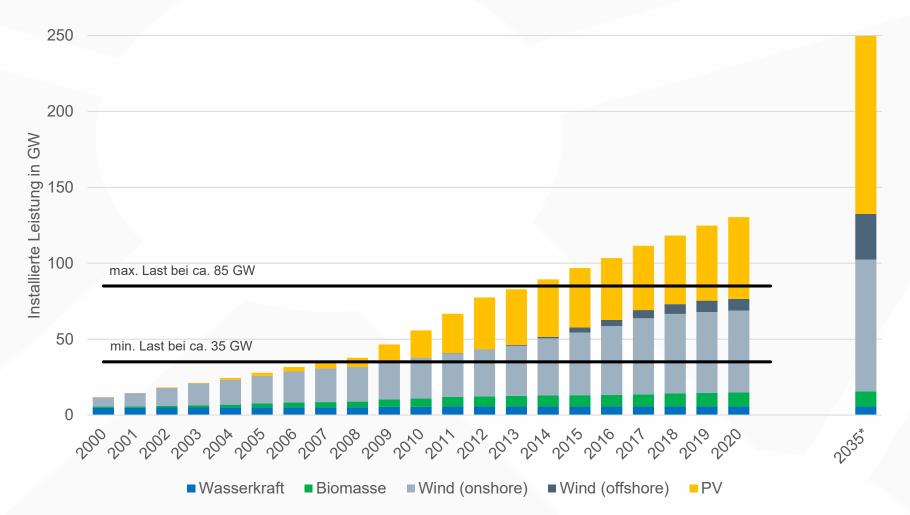


# Nettostromerzeugung und Lastverlauf in Deutschland 2021





# Ausbauziele der Erneuerbaren Energien in Deutschland

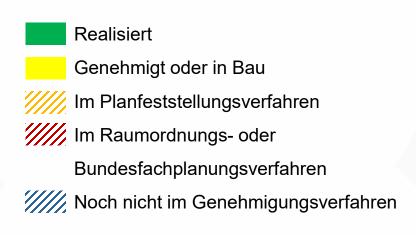


Jahr	Anteil EE
2013	25 %
2020	45 %
2035*	72 %
2050	80 %

Quelle: BMWi, Statista, NEP 2035

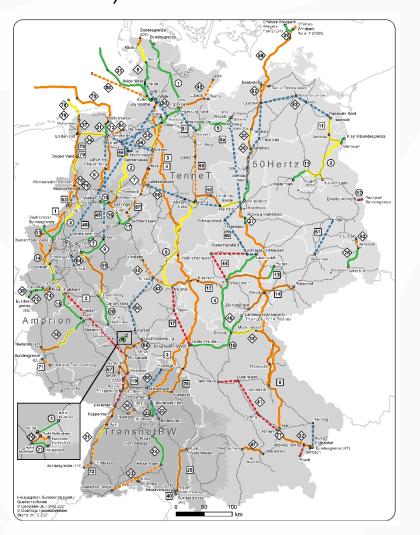


# Aktueller Stand des Netzausbaus in Deutschland nach den EnLAG- und BBPIG-Vorhaben (viertes Quartal 2021)



Aktuelle Information unter: www.netzausbau.de

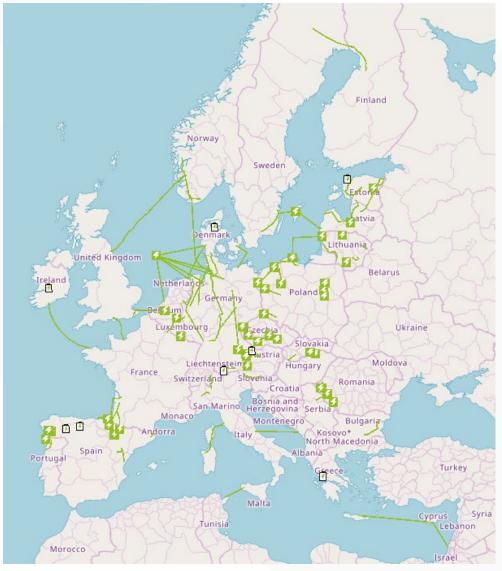






# Netzentwicklung in Europa

- Ten Year Network Development Plan (TYNDP)
   von ENTSO-E alle 2 Jahre veröffentlicht
- TYNDP Planungsdatensatz enthält Planungsmodelle von 28 Ländern
- Projects of Common Interest
- ~ Eine Milliarde EUR Fördermittel pro Jahr



https://ec.europa.eu/energy/infrastructure/transparency\_platform/map-viewer/main.html



# Beispiel: Informationsverarbeitung im Automobil

Eingabe Sensoren Verarbeitung (inkl. Mensch)

Steuerungs- und Regelungsgeräte
"Bordcomputer"

Ausgabe Aktoren

Temperatursensoren
Sitzbelegungserkennung
Regensensor
Lichtsensoren
Lenkradwinkel
Abstandsmessung
Gaspedalpositionsgeber
Motordrehzahlgeber
Beschleunigungssensor
Lambdasonde

. . .



Bildquelle: Audi AG

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

• ...

Bildquellen: Trench, swissgrid, ABB

# 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

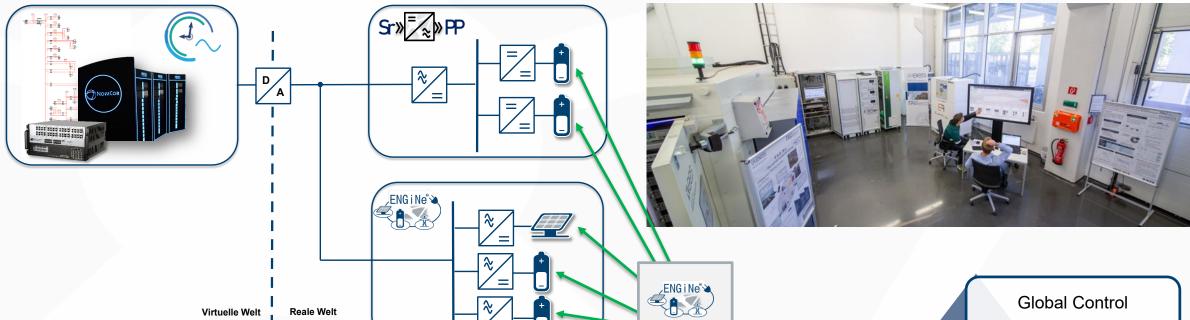
#### Ausgabe Aktoren



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



## Regelung dezentraler Netzstrukturen: ENGiNe



Microgrid-Control

- Neuartige Regelkonzepte für Mikronetze und Verteilnetzcluster
- Power Hardware-in-the-Loop zur Erweiterung des realen Laboraufbaus um virtuelle Anlagenkomponenten

400 V AC

(Public-Grid Interaction)

**Secondary Control** (Power Sharing)

> **Local Control** (Distributed)

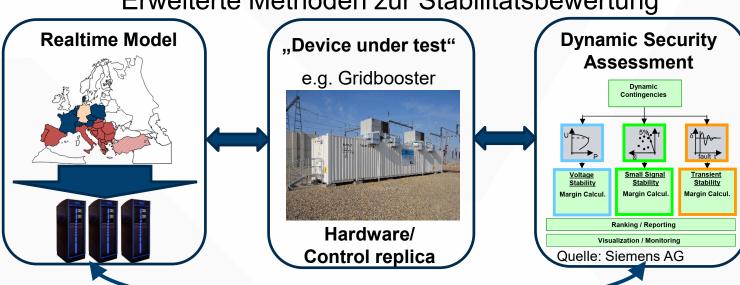


# Echtzeitanalyse: Ein neue Ära in der Energieforschung





## Erweiterte Methoden zur Stabilitätsbewertung







https://earthobservatory.nasa.gov/features/NightLights

# Fazit und Handlungsbedarf

- Klimawandel und Ressourcenknappheit bedingen neue, nachhaltige und bezahlbare Energiekonzepte
- Der Umbau der elektrischen Energiesysteme (Kraftwerk-Netz-Speicherung-Nutzung) steht im Zentrum der Energiewende in Deutschland und Europa
- Das heutige Niveau der Versorgungszuverlässigkeit muss erhalten bleiben
- Der schrittweise Umbau der Energieversorgung erfordert ganzheitliche Systembetrachtungen aller Sektoren
- Netzausbau ist notwendig und muss über alle Spannungsebenen koordiniert und realisiert werden
- Volatile regenerative Energien brauchen zunehmend Reserveleistung und Speicher
- Die Digitalisierung der Netze steht im Fokus der Forschung für eine nachhaltige Systementwicklung



#### Kontakt

Prof.-Dr. Ing. Matthias Luther

Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme Cauerstr. 4 | Haus 1 91058 Erlangen

Tel: +49 9131 85 67540 Fax: +49 9131 85 67555

E-Mail: info@ees.fau.de

Web: <a href="http://ees.tf.fau.de">http://ees.tf.fau.de</a>



