

# ENERGIEWENDE GESTALTEN



# ENERGIEWENDE GESTALTEN

## VORWORT

Wenn wir dem Klimawandel etwas entgegensetzen wollen, ist die Energiewende eine gesellschaftliche Verpflichtung und zugleich auch eine der größten globalen wirtschaftlichen Chancen. Unter dem Motto »Energiewende gestalten« forschen wir im Fraunhofer IEE für die Transformation der Energiesysteme – national wie international.

In unseren Geschäftsbereichen Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik entwickeln wir Lösungen für technische und wirtschaftliche Herausforderungen für die Transformation der Energiesysteme, um die Kosten für die Nutzung erneuerbarer Energien weiter zu senken, die Versorgung trotz volatiler Erzeugung zu sichern, die Netzstabilität auf gewohnt hohem Niveau zu gewährleisten und die Energiewende zu einem erfolgreichen Geschäftsmodell zu machen.

Unser Institut wurde 1988 als Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET e.V. in Kassel gegründet, 2009 als Institutsteil Energiesystemtechnik in das Fraunhofer IWES aufgenommen und 2018 in das eigenständige »Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE« überführt.

6

## ENERGIEWENDE IN ALLEN SEKTOREN EIN »BIG PICTURE« FÜR 2050

## FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Energieinformatik  
Energiemeteorologie und Geoinformationssysteme  
Energiewirtschaft und Systemanalyse  
Energieverfahrenstechnik und -speicher  
Netzplanung und Netzbetrieb  
Netzstabilität und Stromrichtertechnik  
Thermische Energietechnik

8

10

## GESCHÄFTSFELDER ENERGIEWIRTSCHAFT

Energiemeteorologische Informationssysteme 12  
Energiewirtschaftliche Analysen und Beratung 13  
Digitales Portfoliomanagement 14  
LiDAR-Windmessungen 15

## GESCHÄFTSFELDER ENERGIESYSTEMTECHNIK

18 Netzplanung und Netzbetrieb  
19 Hardware-in-the-Loop Systeme  
20 Leistungselektronik und elektrische Antriebssysteme  
21 Mess- und Prüfdienstleistungen  
22 Anlagentechnik

16

24

Wissenstransfer 24  
Testzentren 25  
Personal und Finanzen 26

28 Energiekonzept Neubau  
30 Historie, Förderer  
31 Kuratorium  
32 Ansprechpartner  
34 Kooperationen, Fraunhofer-Gesellschaft  
35 Impressum

28

# ENERGIEWENDE IN ALLEN SEKTOREN EIN »BIG PICTURE« FÜR 2050

Die im Fraunhofer-Cluster of Excellence »Integrated Energy Systems« CINES vereinigten Fraunhofer-Institute ISE, ISI, IEE und IEG haben 2020 ein gemeinsames Szenario für die deutsche Energiewende entwickelt.

Rahmenbedingung für das Szenario ist eine CO<sub>2</sub>-Reduktion gegenüber 1990 um 95 Prozent bis 2050. Dabei wurden die Importe und Exporte in die europäischen Nachbarländer berücksichtigt. Das Leitszenario gewährleistet die Deckung des Strombedarfs zu jedem Zeitpunkt und in jedem Land.

## Gebäudewärme

Die Sanierung der Gebäude ist in der Praxis regional sehr unterschiedlich (ländlich strukturschwache Bereiche beim demografischem Wandel vs. stabile bzw. Wachstums-Regionen). Für die Gebäudewärme inkl. Industriegebäude werden 500 TWh Endenergie unterstellt, was eher einer moderaten Sanierungsrate entspricht. Die Gebäudewärme wird langfristig nur aus Wärmepumpen und Wärmenetzen gedeckt. 30 % der Endenergie ist Fernwärme, fast 70 % wird durch dezentrale Wärmepumpen gespeist. Moderne Wärmepumpen können auch teilsanierte und unsanierte Gebäude versorgen.

## Verkehr

Ein hohes Verkehrsaufkommen im Straßenverkehr ist aus heutiger Sicht wahrscheinlich und durch E-Mobilität effizient (energetisch/wirtschaftlich) zu versorgen. Pkw fahren in 2050 fast ausschließlich elektrisch sowie als Hybrid-Fahrzeuge mit hohen elektrischen Fahranteilen. Für Lkw wird eine Kombination aus Oberleitungs-Infrastruktur für elektrische Lkw und Wasserstoff-Infrastruktur für H<sub>2</sub>-Lkw unterstellt.

Der brennstoffbasierte Flug- und Seeverkehr wird durch Power-to-Liquid hohe Kostensteigerungen aufweisen. Entsprechend wird in diesem Bereich ein Verkehrsvermeidungs-Szenario unterstellt.

## Industrie

Maximierung der direkten Elektrifizierung in Hochtemperaturprozessen. Dampf und Warmwasser werden fast vollständig über Strom bereit gestellt. Wasserstoff wird technologisch sehr progressiv in sonstigen Hochtemperaturprozessen eingesetzt; Biomethan nur für den Restgasbedarf.

## Rückverstromung

Wasserstoff (H<sub>2</sub>) wird statt Methan (CH<sub>4</sub>) sowohl für Gasturbinen, als auch für KWK in Fernwärme und Industrieprozesswärme eingesetzt.

## Nichtenergetischer Verbrauch

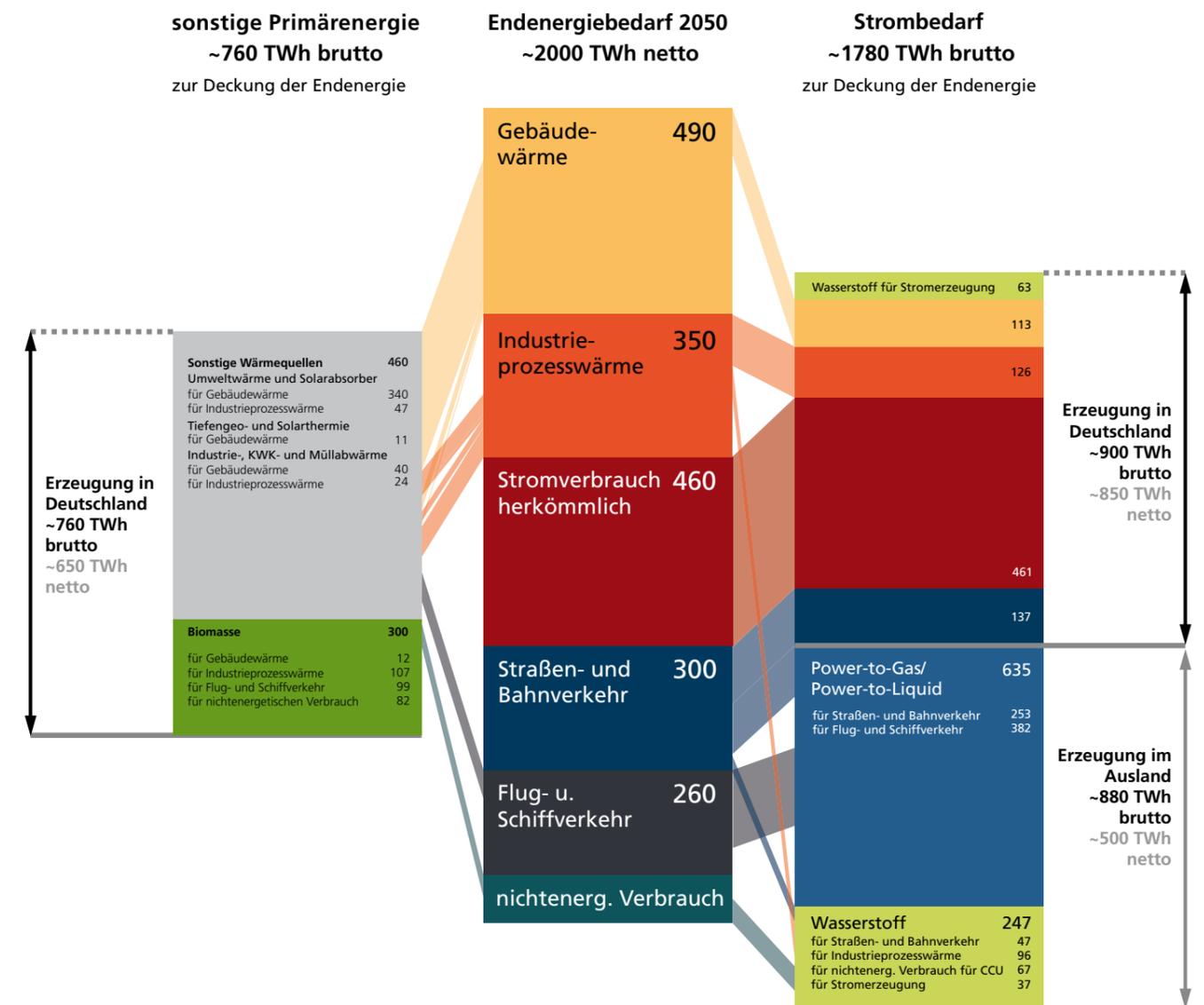
Kunststoffrecycling ermöglicht Einsparungen. Wasserstoff wird zu Ethylen auf Basis von CO<sub>2</sub> z. B. aus der Zementindustrie (Carbon Capture and Utilization – CCU) verwertet, und es wird Biomasse eingesetzt.

## Biomasse und solare Umweltwärme

Eine moderate Biomassennutzung der nationalen Potenziale stellt 300 TWh Primärenergie bereit. Durch die begrenzte Biomasse wird es notwendig, in PtX-Exportregionen CO<sub>2</sub> aus der Luft abzuscheiden, da trotz einer Maximierung der H<sub>2</sub>-Nutzung ein PtL-Importbedarf für Flug- und Schiffsverkehr verbleibt. Solarthermie kann für die Regeneration des Erdreiches bei Wärmepumpen mit Erdsonden eingesetzt werden.

## Strombedarf in Deutschland

Eine Wasserstoffherzeugung auf Basis von Stromspitzen kann auch mit günstigen H<sub>2</sub>-Importen wettbewerbsfähig sein. Das energetische Potenzial ist aber begrenzt. Weitere Synergien für eine nationale Wasserstoffproduktion ergeben sich aufgrund der technischen Restriktionen und Kosten bei der Netzanbindung und dem Nord-Süd-Transport von Offshore-Windstrom. Hohe H<sub>2</sub>- und PtL/PtG-Mengen werden importiert. Für ein kostenoptimales System sind ca. 900 TWh Stromerzeugungspotenzial in Deutschland aus heutiger Sicht eine bindende Zielgröße.





## FORSCHUNGS- SCHWERPUNKTE

Unsere Forschungsschwerpunkte aggregieren die notwendigen Fähigkeiten zur Realisierung unserer Geschäftsbereiche Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik. Sie umfassen sowohl die Kompetenzen und Erfahrungen unserer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, deren Ausrüstung mit Laboren und Testeinrichtungen als auch ihre Vernetzung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft sowie Patente und IPRs.

Die strategische Ausrichtung unserer überwiegend im öffentlich finanzierten Forschungs-

wettbewerb eingeworbenen Projekte zielt darauf ab, die Kosten für die Nutzung erneuerbarer Energien weiter zu senken, die Versorgung trotz volatiler Erzeugung zu sichern, die Netzstabilität auf hohem Niveau zu gewährleisten und die Energiewende zu einem wirtschaftlichen Erfolg zu führen. Bereits in der Projektentwicklung stimmen wir uns intensiv mit Partnern aus der Wirtschaft ab, um eine spätere Verwertung der Forschungsergebnisse für neue Innovationen in der Wirtschaft zu ermöglichen.



### DR. REINHARD MACKENSEN

Geschäftsführender Institutsleiter (komm.)

reinhard.mackensen@iee.fraunhofer.de  
www.iee.fraunhofer.de



#### ENERGIEINFORMATIK

Wie lassen sich energiewirtschaftliche und energiesystemtechnische Prozesse durch die Informatik so unterstützen, dass das Energiesystem auch mit hohen Anteilen dezentraler Erzeugung funktioniert?



#### ENERGIEMETEOROLOGIE UND GEOINFORMATIONSSYSTEME

Welchen Einfluss haben Wetter und Klima auf das Energiesystem und wie lassen sich erneuerbare Erzeugung und variierender Verbrauch auf verschiedenen Raum- und Zeitskalen mit intelligenten Methoden und detaillierten Daten planen?



#### ENERGIEWIRTSCHAFT UND SYSTEMANALYSE

Wie kommen wir von der Technik für die Energiewende zur Marktintegration und einem ökonomisch effizienten Systemdesign?



#### ENERGIEVERFAHRENSTECHNIK UND -SPEICHER

Mit welchen Technologien lässt sich die Sektorkopplung von thermischen, elektro- und biochemischen Konversionsschritten und Speichern effizient und wirtschaftlich lösen?



#### NETZPLANUNG UND NETZBETRIEB

Wie lassen sich energetische Netzinfrastrukturen gestalten und betreiben, damit eine resiliente, sichere und kostengünstige Versorgung sowohl heute als auch in einem zukünftig dekarbonisierten Energiesystem sichergestellt ist?



#### NETZSTABILITÄT UND STROMRICHTERTECHNIK

Wie können Stromrichter und Antriebe, elektrische Netze und ihre Betriebsmittel weiterentwickelt und geregelt werden, damit Energiesysteme stabil, effizient und sicher funktionieren?



#### THERMISCHE ENERGIETECHNIK

Auf welchem Weg und mit welchen Technologien gestalten wir die innovative Umsetzung der Wärmewende in Gebäuden und Städten?

# ENERGIEWIRTSCHAFT

Der Bereich Energiewirtschaft umfasst Produkte und Dienstleistungen zur Unterstützung von Planung und Betrieb für Energieversorgungsstrukturen und deren Komponenten.

Wir begleiten die Transformation des Energieversorgungssystems durch die Verknüpfung

von Markt und Technik mit Softwarelösungen, Informations- und Datenservice, Konzepten und Geschäftsmodellen sowie energiewirtschaftlichen Analysen und Bewertungen.

## ENERGIEMETEOROLOGISCHE INFORMATIONSSYSTEME

DR. AXEL BRAUN

12



## ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE ANALYSEN UND BERATUNG

KATHARINA HABBISHAW

13



## DIGITALES PORTFOLIOMANAGEMENT

ANDRÉ BAIER

14



## LIDAR-WINDMESSUNGEN

DR. PAUL KÜHN

15



# ENERGIEMETEOROLOGISCHE INFORMATIONSSYSTEME

DR. AXEL BRAUN

# ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE ANALYSEN UND BERATUNG

KATHARINA HABBISHAW



## PROGNOSEN FÜR WIND, SONNE, BIOMASSE UND WASSER

- Prognose und Hochrechnung, aktuelle und zu erwartende Erzeugung (Minuten, Tage, Woche)
- Einzelanlagen, Anlagenportfolios sowie Netzgebiete (Netzanschlusspunkte, Umspannanlagen/Transformatoren, Versorgungsgebiete), Länder
- Tatsächliche und mögliche Erzeugung sowie Netzeinspeisung mit Einspeisemanagement, Eigenverbrauch, Speicher und Markteinflüsse etc.

## VERBRAUCHSPROGNOSE VON STROM, WÄRME/KÄLTE UND WASSER

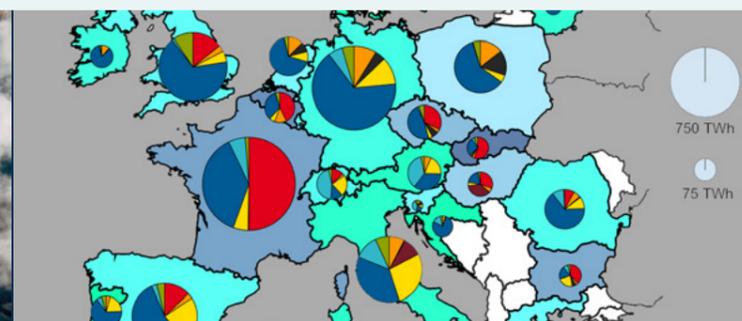
- Prognose des aktuellen und zu erwartenden Verbrauchs (Minuten, Tage, Woche)
- Haushalte, kleine bis große Industrieunternehmen und Versorgungsnetze (Netzanschlusspunkt, Netzknoten, Versorgungsgebiete)
- Nutzerverhaltensmodellierung mit Informationen verfügbarer Sensoren (z.B. Smart Meter, Smart Home, SCADA etc. )

## PORTFOLIOS DEZENTRALER ANLAGEN

- Betriebskonzepte zur Strom- und Wärmeversorgung für Haushalte, Gewerbe und Industrie
- Entwicklung von optimalen Lastmanagement-Strategien
- Investitions- und Technologiebewertung
- Untersuchung von Vermarktungsoptionen
- Bewertung von Geschäftsmodellen für den intersektoralen Einsatz dezentraler Anlagen

## ENERGIESYSTEM QUARTIER – STADT – REGION

- Entwicklung von Energiekonzepten (Modellierung und Szenarienanalysen)
- GIS-basierte Identifizierung (Energiequellen und Energiebedarfe)
- Transformationsstrategien für Wärmesysteme
- Wärmebedarfsermittlung (Wärmekataster und Heatmaps)
- Sozio-ökonomische Analysen



## GRIDFOX: PROGNOSEN VON LEISTUNGSFLÜSSEN

- Vollständige, zuverlässige und transparente Prognosen für horizontale und vertikale Leistungsflüsse über alle Netzebenen
- Erzeugungs- und Verbrauchsanteile
- Basierend auf umfassenden Stamm- und Stromnetzdaten
- Optimierung mithilfe maschineller Lernverfahren

## LÖSUNGEN FÜR WETTER-ABHÄNGIGE HERAUSFORDERUNGEN

- Witterungsabhängiger Freileitungsbetrieb
- GIS-basierte Standortanalysen und Abbildung der Erzeugungs- und Verbrauchslandschaft
- Wettermodell-basierte Simulation von Erzeugungs- und Verbrauchszeitreihen
- Bereitstellung optimierter Wetterdaten
- Energiemeteorologische Beratungen

## ZUKÜNFTIGES ENERGIE-VERSORGUNGSYSTEM

- Transformationspfade für die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr zur Dekarbonisierung
- Modellierung des Energiesystems unter Berücksichtigung des Klimawandels
- Technologie- und Politikfolgenabschätzungen
- Strompreis-Szenarien unter Einfluss von regulatorischen Änderungen und Rückkopplungseffekten

## ENERGIEWENDE INTERNATIONAL

- Sektorenübergreifende Systembetrachtung zur Dekarbonisierung von Energiesystemen
- Partizipations- und Akzeptanzanalysen
- Markt- und Potenzialanalysen
- Energiekonzepte und Handlungsempfehlungen

# DIGITALES PORTFOLIOMANAGEMENT

ANDRÉ BAIER



## VIRTUELLE KRAFTWERKE

- Wind, PV, Biomasse
- Speicher und Lasten
- Regelenergiebereitstellung

## ASSET-MANAGEMENT (PREDICTIVE O&M)

- Performance-Monitoring und Analysen
- Datengetriebene Anomalieerkennung
- Zuverlässigkeitsanalysen  
(Dokumentation und Empfehlungen)



## LIDAR-GERÄTEPOOL

- Messung auf frei wählbaren Messhöhen zwischen 10 und 300m
- Standorte mit komplexem Gelände
- Fernüberwachung und zuverlässige autarke Stromversorgung
- Scanning-LiDAR-Geräte für individuelle Messungen bis zu 8 km Entfernung



## FORSCHUNGSPLATTFORM 200-METER-MESSMAST

- Validierungstests von Fernmesssystemen
- 20 Windsensoren verteilt auf 13 Messhöhen, 40 meteorologische Sensoren
- Hochgenaues Messsystem: IEC-konform, nach MEASNET-kalibrierte Windmessgeber
- Test- und Messkampagnen mit LiDAR- und SoDAR-Windmessgeräten, LiDAR-Windscannern, Eis- und Fledermaus-Sensoren



## INTELLIGENTE HANDELSYSTEME

- Intelligente Vermarktung
- Intelligente Beschaffung
- Gewinnoptimierung



## ENERGIEMANAGEMENT

- EE-Erzeugungsportfolios
- Energiesysteme Stadt und Land
- Energiemanagement in Gewerbe und Industrie
- Energiemanagementkonzepte für Quartiere & Liegenschaften



## OPTIMIERTE PLANUNG VON WINDMESSKAMPAGNEN

- Entwicklung von individuellen Messstrategien auf Basis aktueller Forschungsergebnisse
- Nutzung hochaufgelöster Strömungssimulationen zur Reduktion der Unsicherheiten von Messkampagnen
- Visualisierung und Korrektur des LiDAR-Messfehlers in komplexem Gelände zur optimalen Standortauswahl



## POWER PERFORMANCE ASSESSMENT MIT LIDAR

- Analyse von SCADA-Daten zur Beurteilung des Betriebs- und Leistungsverhaltens von Windparks
- Durchführung von LiDAR-Windmessungen am Windpark zur Nachvermessung der Leistungskennlinie und zum Abgleich mit Gondel-Anemometern
- Identifikation von Verbesserungspotenzial im Betrieb der Windenergieanlagen

# ENERGIESYSTEMTECHNIK

Die Energiesystemtechnik liefert Lösungen für den effektiven Einsatz und Ausbau von erneuerbaren Energien, Versorgungsnetzen, Speichersystemen und Elektrofahrzeugen. Eine besondere Rolle spielt hierbei die Umgestaltung der Übertragungs- und Verteilungsnetze. Die Systemkopplung von Strom, Wärme, Gas und Verkehr ermöglicht die notwendige Flexibilisierung von Erzeugung und Bedarf.

Wir entwickeln dafür erforderliche Strukturen und Planungsmethoden, Betriebsstrategien, Geräte- und Systemtechnik, Regelungs- und Energiemanagementsysteme. Unsere Laborausstattungen erlauben normkonforme und kundenspezifische Komponenten- und Systemtests.

## NETZPLANUNG UND NETZBETRIEB

MATTHIAS LENZ

18



## HARDWARE-IN-THE-LOOP SYSTEME

DR. MATTHIAS PUCHTA

19



## LEISTUNGSELEKTRONIK UND ELEKTRISCHE ANTRIEBSSYSTEME

AXEL SEIBEL

20



## MESS- UND PRÜF-DIENSTLEISTUNGEN

DR. NORBERT HENZE

21



## ANLAGENTECHNIK

DR. RAMONA SCHRÖER

22

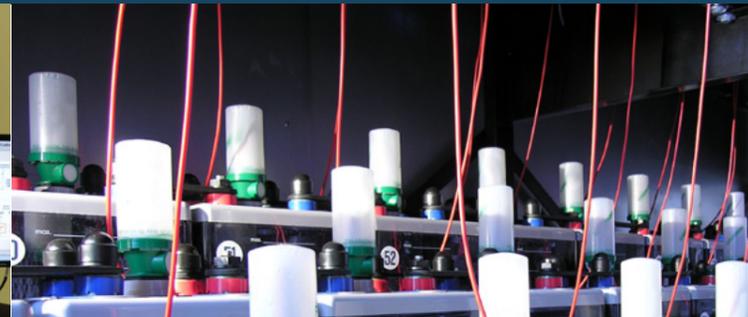


# NETZPLANUNG UND NETZBETRIEB

MATTHIAS LENZ

# HARDWARE-IN-THE-LOOP SYSTEME

DR. MATTHIAS PUCHTA



## NETZSTUDIEN

- Strategische Netzentwicklung
- Planung von Strom-, Wärme- und Gasnetzen
- Insel- und Mikronetze
- Prognosekonzepte
- Wirk- und Blindleistungsmanagement
- Resilienzanalysen und Netzwiederaufbau
- Netzstabilität und Netzanschluss
- Netzverluste
- Ladeinfrastruktur Elektromobilität

## WERKZEUGE UND MODELLE

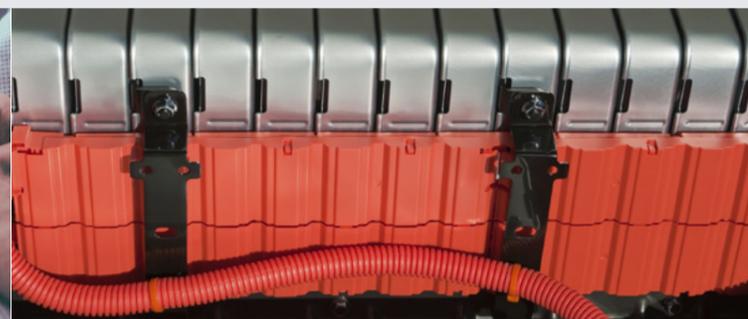
- Automatisierte Netzplanung mit PandaPower Pro
- Pilotsysteme Netzbetriebsführung
- Netztransparenz durch Zustandsschätzung und -prognosen
- Co-Simulation »OpSim as a Service«
- Anlagen- und Netzmodelle
- Algorithmen für die Netzoptimierung
- GIS- und wetterdatenbasierte Energieszenarien
- Datenmanagement und Standardisierung

## BATTERIESYSTEM- UND ZELL-SIMULATION

- Echtzeitfähige Simulation für die Entwicklung, Prüfung und Optimierung von Batteriesystemen
- Simulation und Quantifizierung der Alterungsprozesse (kalendarisch/zyklisch)
- Simulation beliebiger Ströme, Temperaturen, Lade- und Alterungszuständen sowie Zeitskalen

## WINDTURBINEN- UND WINDPARKSIMULATION

- Echtzeitfähige Simulation für die Entwicklung, Prüfung und Optimierung von Windturbinen-Controllern und -Steuerungen
- Echtzeitfähige virtuelle Windparks für Tests und Optimierung von Windpark-Controllern und Betriebsstrategien



## TESTEN UND PRÜFEN

- Test von Netzbetriebsführungen
- Reallabore, Netzlabore und Feldtests
- Systemtest Verteilnetzautomatisierung
- HIL-Untersuchungen
- Netzanschlussbedingungen von Anlagen
- Netzqualitätsanalyse
- Systemtests

## BERATUNG

- Politikberatung
- Strategieberatung für Unternehmen
- Schulungen und Wissenstransfer
- Grid Code Development
- Smart Grid Laborentwicklung

## PRODUKTE UND TOOLS FÜR SYSTEMENTWICKLUNGEN

- Battery Simulation Studio (BaSiS): Modulares Simulationssystem für elektrochemische Energiespeicher
- WTsimsim und WPsimsim: Echtzeitfähige Simulation von Windturbinen und Windparks
- Modalanalyse- und Reglertools für Windkraftanlagen

## SYSTEMANALYSEN UND DIENSTLEISTUNGEN

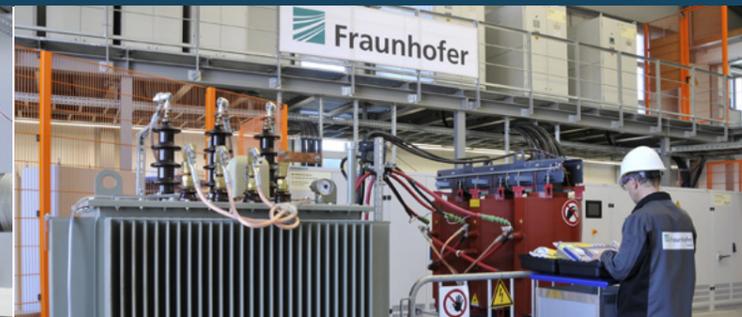
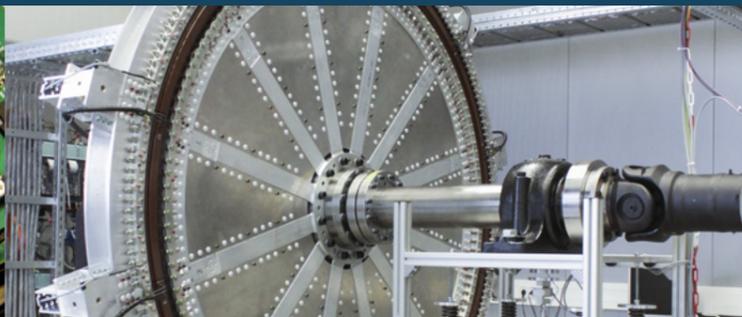
- Kundenspezifische Modell- und Toolentwicklung für Batterien und Windkraftanlagen
- Modellparametrierung und -validierung
- Algorithmenentwicklung für Batteriemanagementsysteme
- Integration in Hardware-in-the-Loop Systeme

# LEISTUNGSELEKTRONIK UND ELEKTRISCHE ANTRIEBSSYSTEME

AXEL SEIBEL

# MESS- UND PRÜFDIENSTLEISTUNGEN

DR. NORBERT HENZE



## STROMRICHTER

- Hocheffiziente Komponenten von wenigen Watt bis MW-Klasse
- Zahlreiche patentierte Schaltungskonzepte
- PV-Wechselrichter
- Bidirektionale Ladetechnik
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Batteriestromrichter
- Multilevel-Stromrichter

## ELEKTRISCHE MASCHINEN UND ANTRIEBE

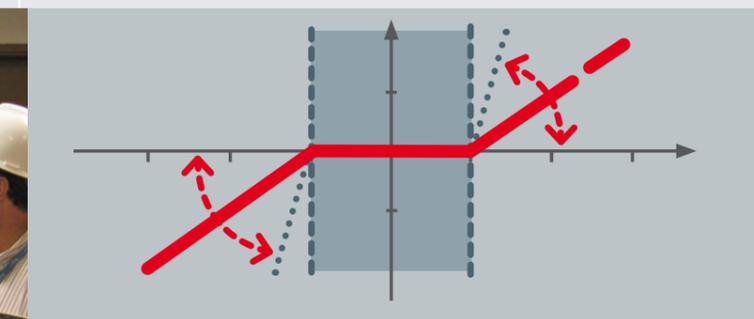
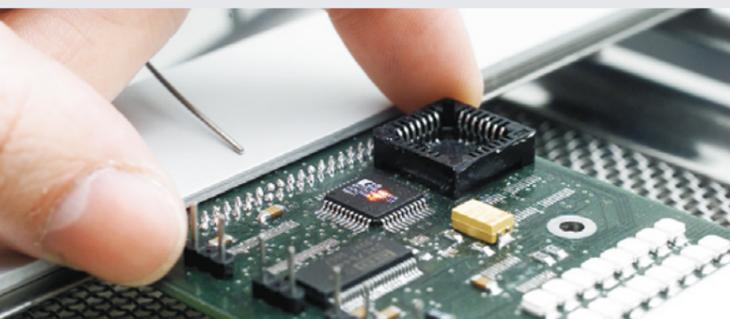
- Konstruktion und elektromagnetische Auslegung von Ringgeneratoren und -motoren
- Schwerlast- und Schiffsantriebe
- Getriebelose Hochleistungsanwendungen
- Erweiterte Wartungsintervalle durch verteilte elektrische Auslegung und Steuerung
- Axiale Schwingungsregelung für längere Lebensdauer
- Tests, Laborprüfungen, Proof-of-Concept

## LABORPRÜFUNGEN

- Komponententests (Stromrichter, Verbrennungskraftmaschinen, intelligente Netzbetriebsmittel, Antriebsmaschinen)
- Netzanschlussprüfungen, EMV Prüfungen
- Systemtests (Hybridsysteme, PV-(Speicher)Systeme)
- Hardware-in-the-Loop Tests (Power HIL, Controller HIL)
- Kalorimetermessungen, Halbleiterschaltzelle

## VORORT-MESSUNGEN

- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Netzqualitätsmessungen, synchronisierte verteilte Langzeitmessungen
- Performanceuntersuchungen für Erzeugungsanlagen
- Standortspezifische Bewertung von PV-Systemen und Komponenten
- Verhalten von Erzeugungsanlagen bei Netzfehlern (FRT)



## STROMRICHTERREGELUNG UND EMBEDDED SYSTEMS

- Embedded Control
- Regelung Netzdienstleistungen
- Parallelbetrieb von Stromrichtern
- Patentierte Steuer- und Regelungskonzepte (Selfsync)
- Rapid Prototyping

## ENTWICKLUNG PRÜF- UND MESSTECHNIK

- Halbleiterschaltzellen
- Kalorimeter für Leistungselektronik-Bauteile
- Power Hardware-in-the-Loop Systeme
- Prüftechnik für MPP-Tracking von PV-Systemen – ISET MPP-Meter
- Photovoltaik Einstrahlungssensoren – ISET-Sensor

## LABORBERATUNG

- Spezifikation der Laborinfrastruktur, insbesondere für Smart-Grid Anwendungen
- Spezifikation und Design von HVRT- und LVRT-Prüfeinrichtungen
- Erarbeitung von Empfehlungen für Netzanschlussrichtlinien / Grid Codes
- Entwicklung von Prüfverfahren und Prüfabläufen

## SYSTEMANALYSEN UND SIMULATION

- Performance-Analysen und Optimierungen
- Systemuntersuchungen und Systemoptimierungen
- Demonstratoren / Proof-of-Concepts für Komponenten und Systeme
- Netznachbildungen, Simulationen und Modellentwicklung
- Modelle für Erzeugungseinheiten nach FGW TR4

# ANLAGENTECHNIK

DR. RAMONA SCHRÖER



## ANLAGEN- UND BETRIEBS- OPTIMIERUNG

- Analyse und Bewertung der vorhandenen Anlagentechnik und von Technologieoptionen
- Bewertung des Verfahrensaufbaus
- Auswertung des Anlagenbetriebs bzgl. Effizienz, standortspezifischer Parameter, Fehlersuche, Betriebssicherheit
- Aufzeigen von Optimierungspotenzial für Betrieb und Anlagenerweiterung

## TECHNO-ÖKONOMISCHE ANALYSEN

- Analysen konkreter Standorte, Technologien und Anlagen
- Technologische Bewertung
- Kostenermittlung, Analyse und Bewertung der Kostenstruktur
- Technologievergleich und Benchmarking



## MACHBARKEITSSTUDIEN UND STANDORTBEWERTUNG

- Voruntersuchungen sowie detaillierte Standortbewertungen zu diversen technischen Fragestellungen
- Konzepterstellung
- Klärung der technischen Integration am Standort
- Technische Machbarkeitsstudien mit Kostenbewertung

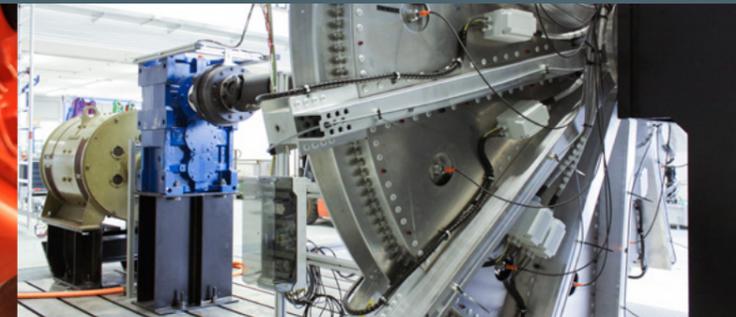
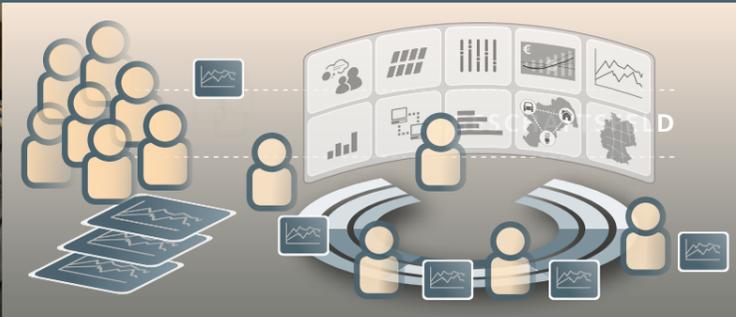
## TECHNOLOGIEENTWICKLUNG

- Bereitstellung von Experimentier- und Testzentren, u. a. für Biogas-Systeme
- Power-to-Gas-Testplattform mit eigener 50 kW Elektrolyse
- Entwicklung von Anlagen vom Technikumsmaßstab bis in den Betriebsmaßstab
- Aufbau und Integration von Technologien
- Betrieb und Untersuchung der Technologien

[www.iee.fraunhofer.de/anlagentechnik](http://www.iee.fraunhofer.de/anlagentechnik)

# WISSENSTRANSFER

# TESTZENTREN



## WEITERBILDUNG

- National und international
- Bedarfs- und kundenorientierte Programme für Fach- und Führungskräfte
- Einbindung externer Expertinnen und Experten aus Wirtschaft und Forschung
- Formate: Expertendialoge, Workshops, Seminare, Online-Seminare, Symposien

## WISSENSTRANSFER

- Know-how aus unseren Forschungsschwerpunkten Energieinformatik, Energiemeteorologie und Geoinformationssysteme, Energiewirtschaft und Systemdesign, Energieverfahrenstechnik und -speicher, Netzplanung und Netzbetrieb, Netzstabilität und Stromrichtertechnik, Thermische Energietechnik
- Decision Theater: Ein moderierter Prozess zur gemeinschaftlichen Lösung von Herausforderungen

## SYSTEC – INTELLIGENTE NETZE

- Prüfung von Erzeugungsanlagen gemäß verschiedener Netzanschlussrichtlinien
- Test von Schutzeinrichtungen und Verteilnetzkomponenten
- Netzqualitätsmessungen und Leistungsanalysen
- Test von Hybridsystemen
- Echtzeitnetzsimulationen zum Test von Leitstellen und der Netzintegration von Anlagen
- Energiemanagement und Netzintegration

## SYSTEC – STROMRICHTER UND ANTRIEBSTECHNIK

- Tests von Stromrichtern verschiedener Anwendungen bis in die MW Klasse für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten
- Test bidirektionaler Ladetechnik
- Rapid Prototyping mit Power Hardware in the Loop Anwendungen
- Test elektrischer Antriebssysteme und Maschinen



## SEMINAR ONLINE ODER PRÄSENZ

- Mittel- und Niederspannungsnetze in Zeiten der Digitalisierung
- Energiesysteme für die Zukunft – Wärmeversorgung von morgen
- Erzeugungsprognosen für den Redispatch 2.0
- RES Integration in Power Systems

## AKADEMISCHE WEITERQUALIFIZIERUNG

- Online M.Sc. Wind Energy Systems (wes.online)
- Zertifikatsprogramme (wes.online)
- Research School für Promovierende
- Duale Promotion
- Hochschulkooperationen

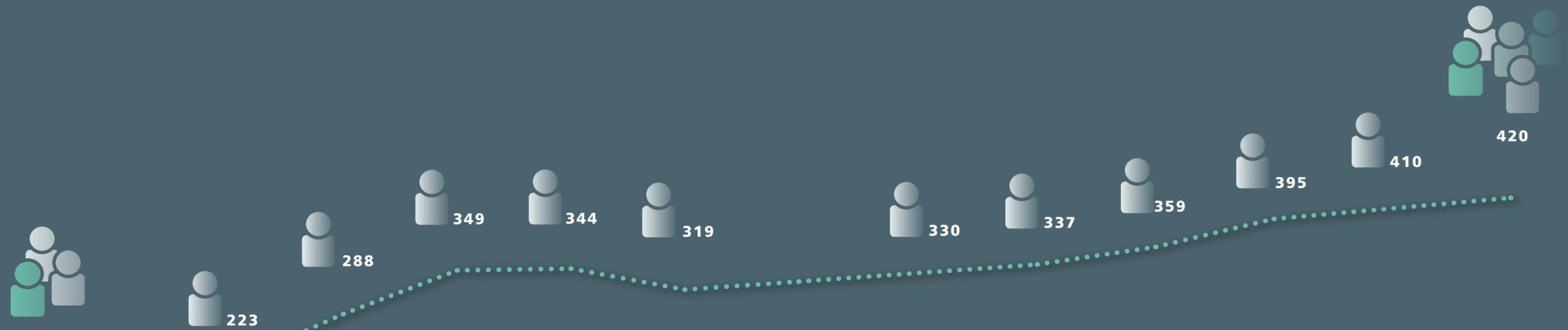
## MOBILE LABS

- Prüfungen an der Netzschnittstelle von Erzeugungseinheiten (z.B. PV-, Windkraft- oder KWK-Anlagen)
- Wechselwirkungen zwischen Komponenten in Hybridnetzen
- Mobile Prüfeinrichtungen z.B. für Over/Under Voltage Ride Through (OVRT und UVRT)
- Design von Smart-Grid Testumgebungen

## HBFZ – HESSISCHES BIOGAS-FORSCHUNGSZENTRUM

- Steuerungs- und Managementsysteme für die flexible Stromproduktion mit Biogasanlagen
- Verbesserung von Biogasaufbereitungsanlagen
- Power-to-Gas mit Biogasanlagen
- Energiepflanzen und ihre Integration in nachhaltige landwirtschaftliche Fruchtfolgen
- Identifizierung und Bewertung der Wertschöpfungspotenziale für die Landwirtschaft

# PERSONAL UND FINANZEN

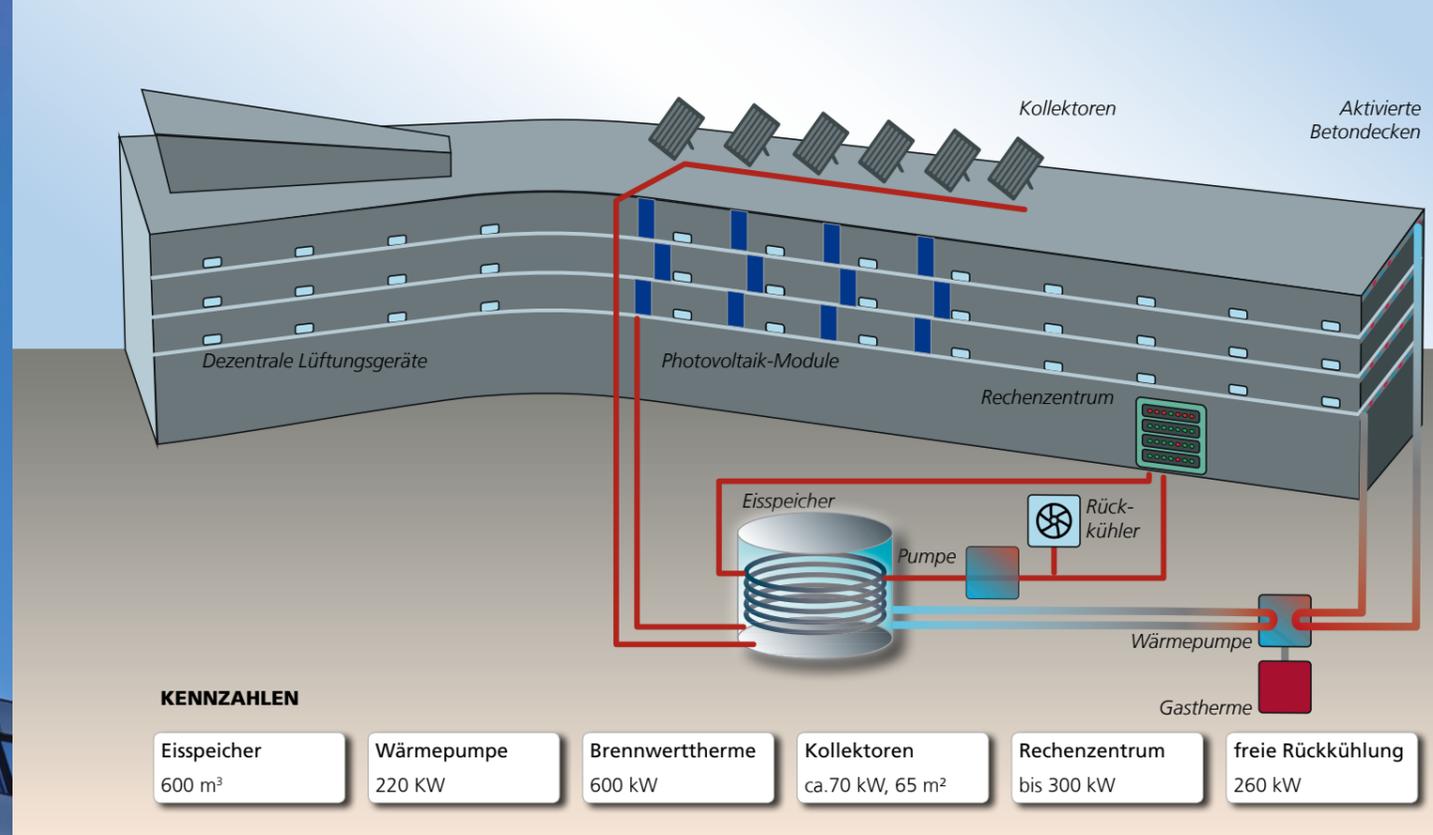


## PERSONAL



ERTRÄGE in EUR	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ohne Investitionen	12,0 Mio	14,4 Mio	17,5 Mio	18,7 Mio	18,9 Mio	19,8 Mio	20,8 Mio	22,5 Mio	24,2 Mio	26,9 Mio	27,1 Mio
davon aus der Wirtschaft in EUR	2,8 Mio	2,9 Mio	3,3 Mio	3,3 Mio	3,7 Mio	3,7 Mio	4,8 Mio	5,0 Mio	4,3 Mio	5,2 Mio	5,4 Mio

JAHR	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



## KÜHLER KOPF UND FRISCHE LUFT: ENERGIEKONZEPT NEUBAU

Das neue Domizil des Fraunhofer IEE mit einem nachhaltigen richtungsweisenden Energiekonzept auszustatten, war uns in der Planung ein Herzensanliegen. Das Gebäudesystem braucht Heizwärme in den Büros und Laboren, erzeugt Abwärme u. a. im Rechenzentrum, nutzt Sonnenenergie über Kollektoren sowie fassadenintegrierte Photovoltaikmodule und verlangt in hochsommerlichen Tagen ein kühles Klima für effektives Arbeiten.

### Optimierter Energiebetrieb

Für gutes Klima in unserem zukünftigen Institutsgebäude wollen wir möglichst wenig Energie einsetzen und CO<sub>2</sub> emittieren. Klimasimulationen, Variantenvergleiche und Wirtschaftlichkeitsberechnungen verhalfen uns zum finalen Konzept. Mit einer Kombination aus außenliegender Verschattung, optimierten Fensterflächen, aktiver Betondeckentemperierung, Wärmepumpen und Speichertechnologien werden wir das Gebäude zukünftig effektiv und emissionsarm betreiben können.

### Der Eisspeicher – für intelligentes Management alternierender Wärme und Kälte

Unser Latentwärmespeicher (umgangssprachlich Eisspeicher) besteht aus einer ungedämmten Regenwasserzisterne mit einem internen Rohrnetz, welches mittels einer Wärmepumpe an das Heiz- und Kühlsystem des Gebäudes angeschlossen ist. Er macht sich das Phänomen des Phasenübergangs von Wasser zunutze: Die Kristallisation des Wassers – der Übergang von 0 °C kaltem Wasser zu 0 °C kaltem Eis – setzt so viel Wärmeenergie frei, wie zur Wassererwärmung von 0 °C auf +80 °C benötigt wird. Wird der Zisterne über den Wärmetauscher mehr Wärme entzogen als zugeführt, friert sie langsam von innen nach außen zu. Führt man dem Eisspeicher Wärme aus den Solarkollektoren oder dem Rechenzentrum zu, taut das Eis wieder auf.

### Wärmepumpe

Mit Null-Grad kaltem Wasser heizen? Ja, das geht. Eine Wärmepumpe ist ein geschlossener Kreislauf, der mit 1 kWh Strom bis zu 3 kWh Umgebungswärme gewinnen und damit 4 kWh Wärme bereitstellen kann. Wie beim Kühlschrank wird das Prinzip von Verdampfen und Kondensieren, Druckaufbau und Entspannen genutzt. Um eine Flüssigkeit (Wasser oder ein Kältemittel) zu verdampfen, muss man Energie einsetzen, die beim Kondensieren wieder frei wird. Das Medium im Wärmetauscher hat einen anderen Phasenwechsellpunkt als das Wasser und kann daher sogar noch kaltem Wasser Energie entziehen.

### Heizen und Kühlen intelligent kombinieren

Im Rechenzentrum des Instituts fällt ganzjährig Abwärme an. Diese geht mit einer Wassertemperatur von 16 °C in das Leitungsnetz zur Wärmepumpe und wird mit 10 °C rückgespeist. Die Energie wird dem Latentwärmespeicher zugeführt. Im Bürotrakt des Gebäudes können die Betondecken durch ein Leitungsnetz mit temperiertem Wasser durchströmt werden, um dem Gebäude eine gleichbleibende Grundtemperatur zu geben. Das liefert dem Eisspeicher im Sommer Energie, wodurch er auftaut; im Winter entnimmt es ihm Energie, was ihn zufrieren lässt. Die installierte 600 m<sup>3</sup> fassende Zisterne hat ein Speichervolumen von 50 MWh. Diese gespeicherte Energie wird im Sommer zur Kühlung und im Winter zum Heizen genutzt. Ziel der Kombination ist eine saisonal optimale Verschiebung von Energie. Am Ende der Heizperiode ist durch ein intelligentes Management sicherzustellen, dass der Speicher seine maximale Eisbeladung hat.

Das Gebäude ist darüber hinaus mit Heizkörpern ausgestattet, die die winterliche Differenz ausgleichen. Dezentrale Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung, die ebenfalls an das Leitungsnetz angeschlossen sind, speisen Frischluft in die Räume ein – durch einen integrierten Wärmetauscher im Winter vorgewärmt und im Sommer vorgekühlt.

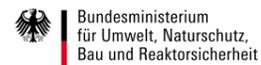
Aus wirtschaftlichen Gründen wird der Eisspeicher in Spitzenlastzeiten durch Gasbrennwertkessel unterstützt, die im Heizungsvorlauf auf 40 °C und im Rücklauf auf 30 °C im optimalen Wirkungsgrad fahren.

# HISTORIE, FÖRDERER

## Historie

Das Institut wurde 1988 als Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET e.V. vom Land Hessen und der Stadt Kassel als An-Institut der Universität Kassel unter der Leitung von Prof. Dr. Werner Kleinkauf gegründet. 2009 wurde das Institut unter der Leitung von Prof. Dr. Jürgen Schmid<sup>1</sup> als einer von zwei Institutsteilen des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES in die Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Aus dem Institutsteil Energiesystemtechnik des Fraunhofer IWES ist 2018 das neue eigenständige Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE in Kassel hervorgegangen.

## Förderer



# KURATORIUM

## Kuratorium

Dr.-Ing. Michael Fiedeldey (Kuratoriumsvorsitzender)  
STWB Stadtwerke Bamberg GmbH  
Geschäftsführer

Dr.-Ing. Britta Buchholz  
Hitachi Energy Germany AG  
Global Market Innovation  
Vice President Active Distribution Grids

Madlen Freudenberg  
Neue Denkerie  
Geschäftsführerin

Dr. Patrick Graichen  
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz  
Beamteter Staatssekretär

Dr. Roland Hermes  
innogy SE  
Head of System Analyses Grid & Infrastructure Segment

Axel Kießling  
TenneT TSO GmbH  
Manager Digital Transformation Germany

Dr. Ulrike Mattig  
Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst  
Referatsleiterin Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen,  
überregionale Forschungsförderung

Dr. Susanne Nies  
Smart Wires Inc.  
General Manager Germany

Marc Peters  
IBM Deutschland GmbH  
CTO Energy, Environment & Utilities Europe

Dr. Andreas Roß  
TEAG Thüringer Energie AG  
Mitglied des Vorstands

Martin Roßmann  
Viessmann Werke  
Global Head of Systems- and Advanced Technology

Rüdiger Schaden  
Amprion GmbH  
Leiter Betrieb HSL Leitsystem

Dr. Kai Schiefelbein  
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG  
Geschäftsführer

Dr. Klaus von Sengbusch  
50Hertz Transmission GmbH  
Leiter strategische Netzplanung

Dr. Gunnar Steg  
Elli – A Brand of the Volkswagen Group  
Manager Standards and Regulations

Dr. Matthias Victor  
SMA Solar Technology AG  
Aufsichtsrat  
Vice President Technology Center

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Wellßow  
Technische Universität Kaiserslautern  
Fachbereich Elektro- und Informationstechnik  
Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiemanagement

Dr. Wilhelm Winter  
TenneT TSO GmbH  
Expert Team Leader HVDC Planning

# ANSPRECHPARTNER

## Energiewirtschaft

### Energiewirtschaftliche Analysen und Beratung

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Katharina Habbishaw, M.Sc.  
Telefon +49 561 7294-428  
katharina.habbishaw@iee.fraunhofer.de

### Energiemeteorologische Informationssysteme

Dr. rer. nat. Axel Braun  
Telefon +49 561 7294-272  
axel.braun@iee.fraunhofer.de

### Digitales Portfoliomangement

André Baier, M.Sc.  
Telefon +49 561 7294-369  
andre.baier@iee.fraunhofer.de

### Lidar-Windmessungen

Dr.-Ing. Paul Kühn  
Telefon +49 561 7294-351  
paul.kuehn@iee.fraunhofer.de

## Wissenstransfer

Dr. rer. nat. Gudrun Franke-Braun  
Telefon +49 561 7294-429  
gudrun.franke-braun@iee.fraunhofer.de

## Energiesystemtechnik

### Netzplanung und Netzbetrieb

Dipl.-Ing. Matthias Lenz  
Telefon +49 561 7294-209  
matthias.lenz@iee.fraunhofer.de

### Leistungselektronik und elektrische Antriebssysteme

Dipl.-Ing. Axel Seibel  
Telefon +49 561 7294-289  
axel.seibel@iee.fraunhofer.de

### Hardware-in-the-Loop Systeme

Dr.-Ing. Matthias Puchta  
Telefon +49 561 7294-367  
matthias.puchta@iee.fraunhofer.de

### Anlagentechnik

Dr.-Ing. Ramona Schröer  
Telefon +49 561 7294-1744  
ramona.schroerer@iee.fraunhofer.de

### Mess- und Prüfdienstleistungen

Dr.-Ing. Norbert Henze  
Telefon +49 561 7294-219  
norbert.henze@iee.fraunhofer.de

## Forschungsschwerpunkte

### Energieinformatik

Manuel Wickert, M.Sc.  
Telefon +49 561 7294-369  
manuel.wickert@iee.fraunhofer.de

### Energiemeteorologie und Geoinformationssysteme

Dr. rer. nat. Jan Dobschinski  
Telefon +49 561 7294-213  
jan.dobschinski@iee.fraunhofer.de

### Energiewirtschaft und Systemanalyse

Dr.-Ing. Reinhard Mackensen (komm.)  
Telefon +49 561 7294-245  
reinhard.mackensen@iee.fraunhofer.de

### Energieverfahrenstechnik und -speicher

Dipl.-Phys. Jochen Bard  
Telefon +49 561 7294-346  
jochen.bard@iee.fraunhofer.de

### Netzplanung und Netzbetrieb

Prof. Dr.-Ing. Martin Braun  
Telefon +49 561 7294-118  
martin.braun@iee.fraunhofer.de

### Netzstabilität und Stromrichtertechnik

Dr.-Ing. Philipp Strauß  
Telefon +49 561 7294-144  
philipp.strauss@iee.fraunhofer.de

### Thermische Energietechnik

Tekn. Dr. Dietrich Schmidt  
Telefon +49 561 804-1871  
dietrich.schmidt@iee.fraunhofer.de

## Testzentren und Labore

### SysTec | Intelligente Netze und Elektromobilität

Dr. rer. nat. Thomas Degner  
thomas.degner@iee.fraunhofer.de

### Elektromagnetische Verträglichkeit

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. René Marklein  
rene.marklein@iee.fraunhofer.de

### Hybrid-Speicher-Systeme

Dr. rer. nat. Tanja Manuela Kneiske  
tanja.kneiske@iee.fraunhofer.de

### Regelungssysteme großer Windenergieanlagen

Dr.-Ing. Boris Fischer  
boris.fischer@iee.fraunhofer.de

### Photovoltaik-Systeme

Dipl.-Ing. Gerald Klein  
gerald.klein@iee.fraunhofer.de

### Batteriespeicher

Dr.-Ing. Matthias Puchta  
matthias.puchta@iee.fraunhofer.de

### Hessisches Biogas-Forschungszentrum

Dr.-Ing. Bernd Krautkremer  
bernd.krautkremer@iee.fraunhofer.de

### Windmessungen

Dr.-Ing. Paul Kühn  
paul.kuehn@iee.fraunhofer.de

# KOOPERATIONEN

Auf nationaler und internationaler Ebene arbeitet das Fraunhofer IEE mit zahlreichen öffentlichen und industriellen Forschungseinrichtungen erfolgreich zusammen. Die Anwendungsnähe dokumentiert sich u. a. in vielen Projekten mit Industriebeteiligung und direkten Aufträgen von Unternehmen.

## Hochschulen

Das Fraunhofer IEE arbeitet intensiv mit verschiedenen Hochschulen insbesondere den Universitäten in Kassel, Hannover und Darmstadt sowie der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg zusammen.

## Fraunhofer

Innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft werden ergänzende Kompetenzen und Erfahrungen der Partnerinstitute insbesondere über die Fraunhofer-Verbünde „Energietechnologien und Klimaschutz“, „Werkstoffe, Bauteile – Materials“ und „IUK-Technologie“ sowie die Fraunhofer-Allianzen „Energie“ und „Batterie“ als auch das Fraunhofer Cluster of Excellence „Integrated Energy Systems CINES“ eingebunden.

## Hessen

Das Hessische Biogas-Forschungszentrum HBFZ in Bad Hersfeld betreibt das Fraunhofer IEE gemeinsam mit dem Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen LLH und dem Landesbetrieb Hessisches Landeslabor LHL.

Das Fraunhofer IEE ist Vorstandsmitglied im House of Energy HoE des Landes Hessen. Das HoE vernetzt die großen hessischen Energieversorger, Unternehmen aus dem Dienstleistungs- und Produktionsbereich, Universitäten, Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie zwei hessische Ministerien.

Darüber hinaus wirkt das Institut in den Cluster-Netzwerken deENet – Kompetenznetzwerk dezentrale Energietechnologien e.V. und MoWiN.net – Netzwerk für die nordhessische Mobilitätswirtschaft mit.

## Deutschland

Zusammen mit anderen außeruniversitären deutschen Forschungsinstituten hat sich das Fraunhofer IEE im Forschungsverbund Erneuerbare Energien FVEE zusammengeschlossen.

## International

Auf Initiative des Fraunhofer IEE haben die führenden europäischen Labore und Forschungsinstitute im Bereich der dezentralen Energiequellen das Netzwerk DERlab gegründet.

Das Fraunhofer IEE ist Mitglied der European Energy Research Alliance EERA, der Vereinigung europäischer öffentlicher Forschungszentren und Universitäten.

## Gremien

Die Forschungsergebnisse fließen über die Mitarbeit zahlreicher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts in nationalen und internationalen Gremien wie DKE, CENELEC und IEC in die Standardisierung und Normung ein.

Als fachlicher Berater bringt das Fraunhofer IEE sein Know-how auch in politische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen ein.

# FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

## Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist die weltweit führende Organisation für anwendungsorientierte Forschung. Mit ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien sowie auf die Verwertung der Ergebnisse in Wirtschaft und Industrie spielt sie eine zentrale Rolle im Innovationsprozess. Als Wegweiser und Impulsgeber für innovative Entwicklungen und wissenschaftliche Exzellenz wirkt sie mit an der Gestaltung unserer Gesellschaft und unserer Zukunft. Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Mehr als 30 000 Mitarbeitende, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 2,9 Milliarden Euro. Davon fallen 2,5 Milliarden Euro auf den Bereich Vertragsforschung.

# IMPRESSUM

## Herausgeber

### Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Königstor 59, 34119 Kassel  
Telefon +49 561 7294-0  
info@iee.fraunhofer.de  
www.iee.fraunhofer.de

## Redaktion, Layout

Uwe Krengel, Uta Werner, Anna Krolczik  
15. Februar 2022

## Bildnachweis

Dirk Mahler 22  
Fotolia 10, 11, 13, 14, 16  
Fraunhofer IEE 11, 12, 15, 19, 20, 22, 24, 25  
Fraunhofer IEE | Anna Krolczik 17, 19, 20  
Fraunhofer IEE | Bernd Krautkremer 17, 22, 25  
Fraunhofer IEE | Maryna Miliushchanka 25  
Fraunhofer IEE | Norbert Henze 21  
Fraunhofer IEE | Uwe Krengel 14, 17, 19, 20, 25  
Fraunhofer IEE | Uta Werner 15, 21, 28  
Hans-Peter Bräutigam 17, 21  
Harry Soremski 11  
Helloquence on Unsplash 18  
istock 4, 19  
Jörg Lantelmé 20  
MEV-Verlag 12  
Pixelio | Andreas Morlok 18  
Pixelio | Rainer Sturm 11, 12, 15  
Shutterstock 4, 5, 8, 13, 24  
Stocksnap 12  
Thinking Michael Bokelmann 22  
Tom Prall 13, 22  
Viktor Hanacek 19  
Volker Beushausen 3, 8, 10, 11, 16, 17, 18, 24, 25



[IEE.FRAUNHOFER.DE](http://IEE.FRAUNHOFER.DE)