Leipziger Institut für Energie

TUHH IUE

EINFLUSS FLEXIBLER ERZEUGUNGS-/VERBRAUCHSSYSTEME AUF BESTEHENDE VERSORGUNGSGEBIETE UND ANSÄTZE EINER DEZENTRAL OPTIMIERTEN STEUERUNG

Leipzig | 22.03.2017 | Energieversorgungssysteme der Zukunft
Dr.-Ing. Sebastian Janczik | Annika Magdowski

INHALT

1 Leipziger Institut für Energie GmbH

2 Herausforderungen im Energiesystem

3 Einsatz von Energiesystemmodellierungen und denkbare Entwicklungen

4 Exkurs: Dezentral optimierte Steuerung mehrerer flexibler Erzeuger/Verbraucher

INHALT

1 Leipziger Institut für Energie GmbH

2 Herausforderungen im Energiesystem

3 Einsatz von Energiesystemmodellierungen und denkbare Entwicklungen

4 Exkurs: Dezentral optimierte Steuerung mehrerer flexibler Erzeuger/Verbraucher

LEITBILD

» Wir verstehen die energiewirtschaftlichen Fragen unserer Kunden aus der privaten Wirtschaft und der Öffentlichen Hand.

Die Basis für unsere Analysen, Konzepte und Empfehlungen sind stets Fakten und Sach-Argumente.

Unser interdisziplinäres Team aus Ingenieuren und Wissenschaftlern kennt die technischen, ökonomischen und ökologischen Herausforderungen des nationalen und des internationalen Energiemarktes und liefert präzise, wertneutrale und praxisnahe Antworten. «

AKTIVITÄTEN MIT PRAXISORIENTIERTEN LÖSUNGEN

Energienachfrage & Energiemarkt

Energietechnik & Energiesysteme

Erneuerbare Energien

Energie- & Klimaschutzkonzepte

Energie & Gesellschaft

Verkehr & Mobilität

INHALT

1 Leipziger Institut für Energie GmbH

2 Herausforderungen im Energiesystem

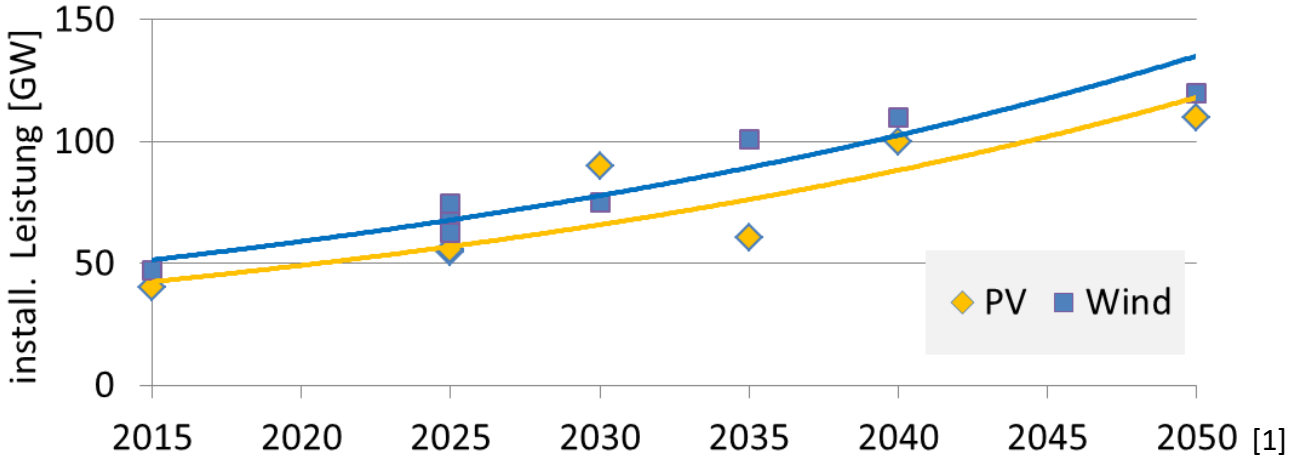
3 Einsatz von Energiesystemmodellierungen und denkbare Entwicklungen

4 Exkurs: Dezentral optimierte Steuerung mehrerer flexibler Erzeuger/Verbraucher

Klimaziele Deutschland

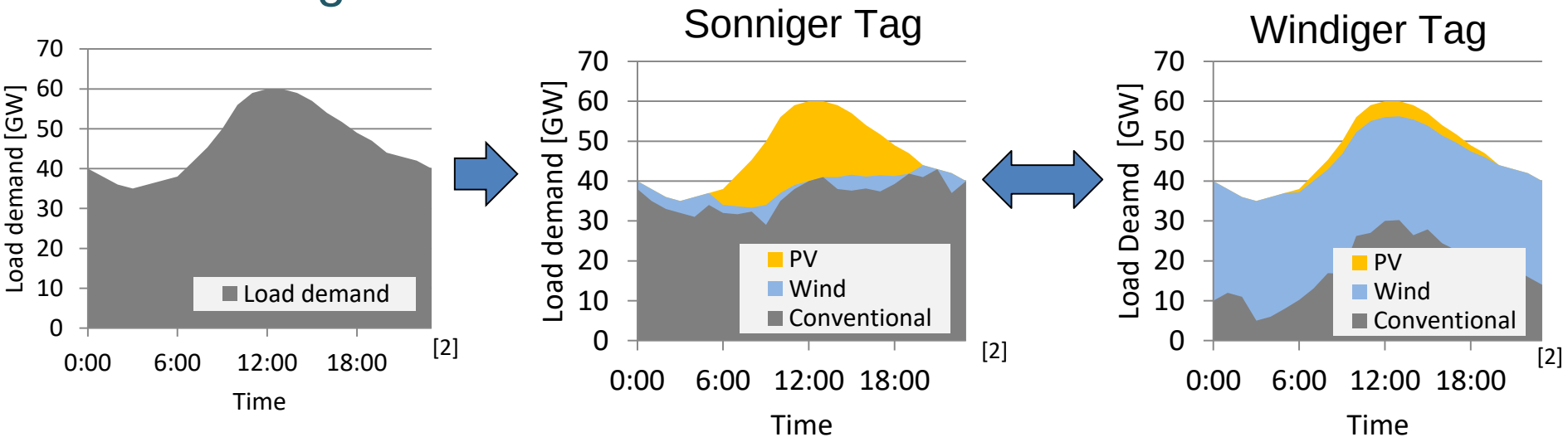
- Erfüllung der Klimaziele Deutschlands erfordert einen weiteren Ausbau der Nutzung von Erneuerbaren Energien
- Aufgrund von Kostenwirksamkeit wird dieser Ausbau aus gegenwärtiger Sicht durch den Ausbau von Wind- und Solaranlagen dominiert sein

Zukünftige Ausbauszenarien



[1]

Veränderungen in der Residuallast

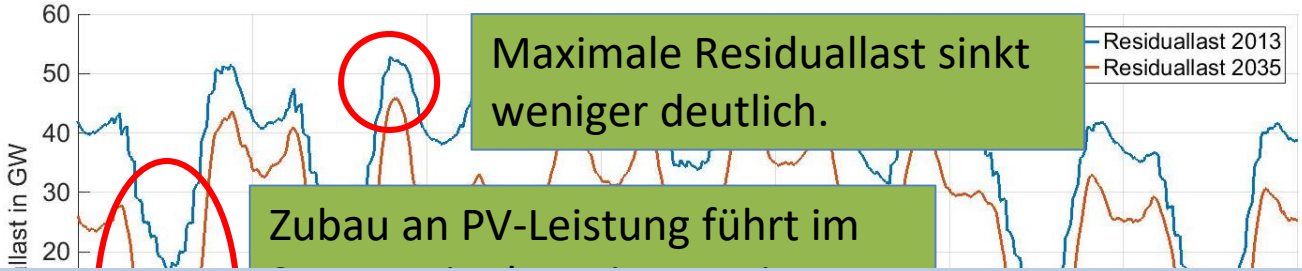


- Wind und PV-Einspeisung verändern durch ihre Ressourcenabhänigigkeit die Charakteristik des Lastprofils

- Charakteristiken des Lastprofil beeinflussen die Fahrweise von konventionellen Kraftwerken
  - Geringere Volllaststunden
  - Erhöhte Lastgradienten

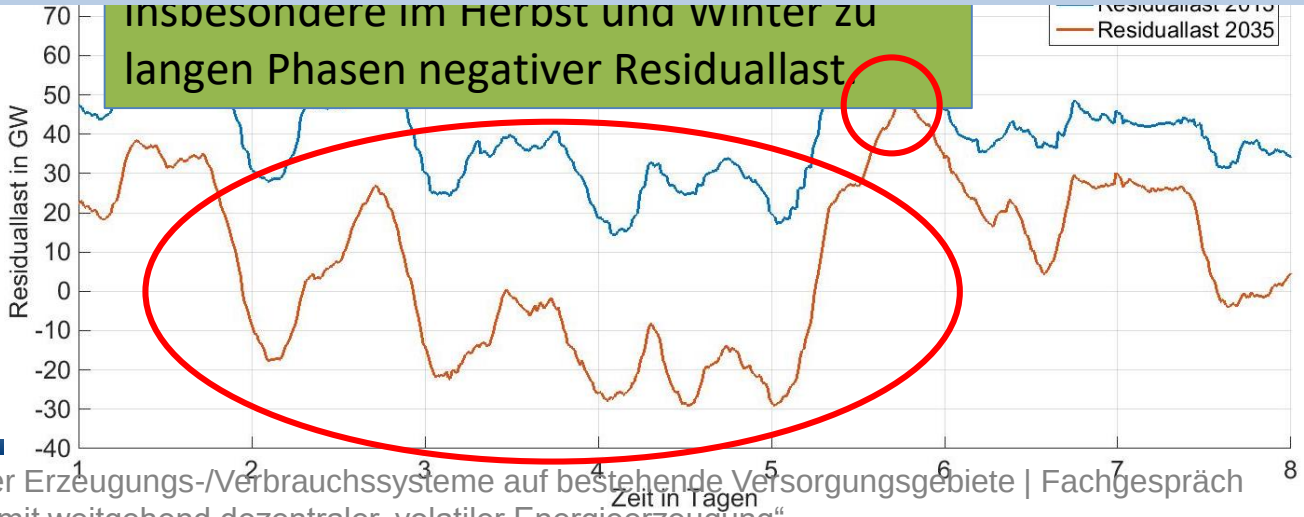
Veränderungen in der Residuallast

„Sommerwoche“



- Lastmanagement kann die Lastspitzen eventuell reduzieren.
- Konventionelle Kraftwerke und Flexibilitäten im System müssen Spitzenlast bereitstellen („hohe Versorgungssicherheit bei günstigen Preisen trotz geringer Vollaststunden“).

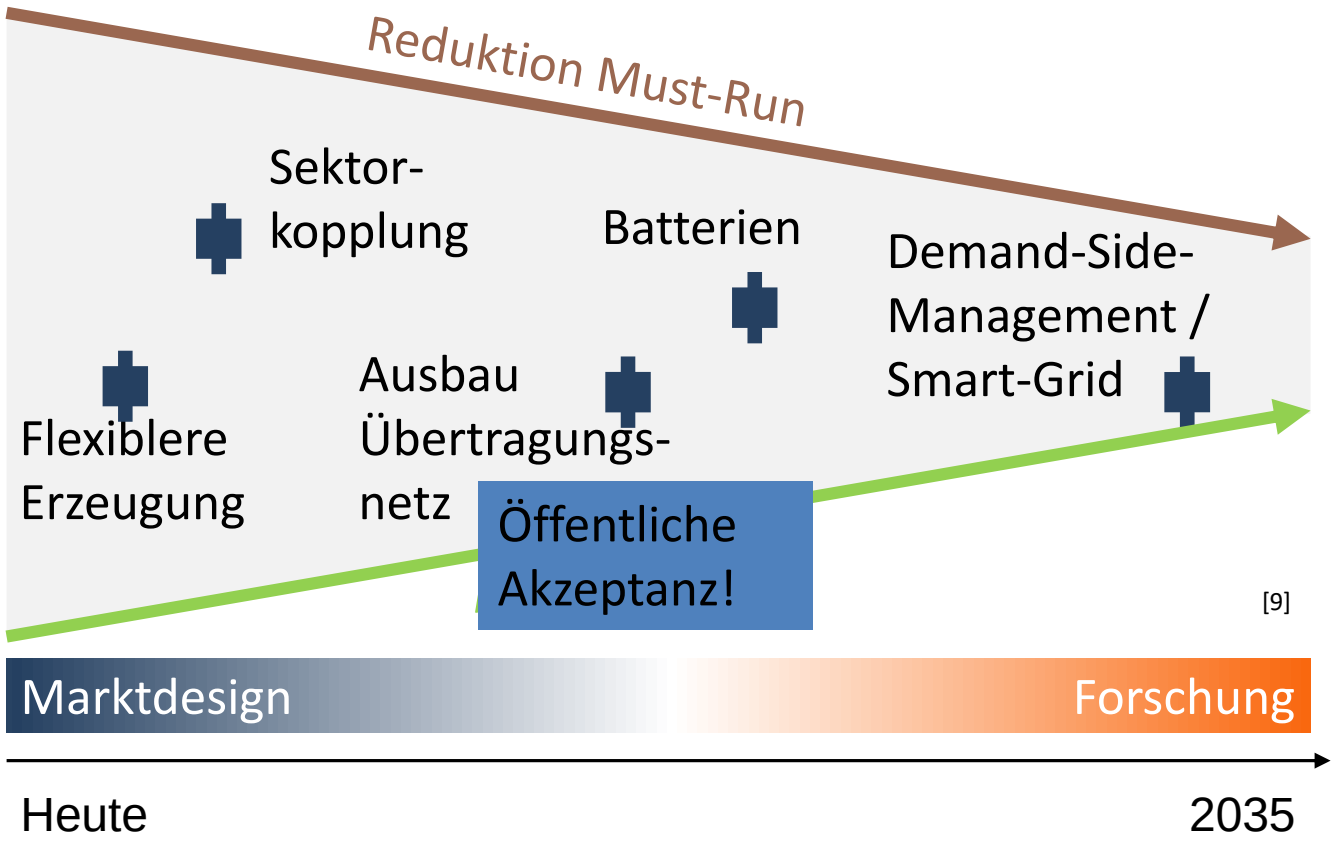
„Winterwoche“



HERAUSFORDERUNGEN IM ENERGIESYSTEM

- Veränderungen in der Residuallast
- Regionale Unterschiede im Wind- und Solarpotenzial
  - Ausreichende Transportkapazitäten im elektrischen Netz
- Netzbelastung in Verteilnetzen
  - Dezentrale Einspeisung von Wind- und Solaranlagen kann Spannungsabweichung und Netzüberlastung hervorrufen, insbesondere zu Zeiten von Energierückgewinnung

LÖSUNGSANSÄTZE: SEQUENTIELLE UMSETZUNG VON FLEXIBILITÄTSOPTIONEN



Ab wann sind welche Optionen relevant?

Das ist abhängig von:

- Technik
- Marktdesign
- Kosten
- Wirtschaftlichkeit
- Etc.

Exakte Vorhersage nicht möglich!

INHALT

1 Leipziger Institut für Energie GmbH

2 Herausforderungen im Energiesystem

3 Einsatz von Energiesystemmodellierungen und denkbare Entwicklungen

4 Exkurs: Dezentral optimierte Steuerung mehrerer flexibler Erzeuger/Verbraucher

EINSATZ VON ENERGIESYSTEMMODELLIERUNGEN

Stromversorgungssystem

Angebot ↔ Stromnetz ↔ Nachfrage

Systemische Maßnahmen, durch die das Stromversorgungssystem auf die fluktuierende Erzeugungscharakteristik der erneuerbaren Energien besser reagieren kann

Kopplung

Andere Energiesysteme (Gas, Wärme/Kälte, Mobilität)

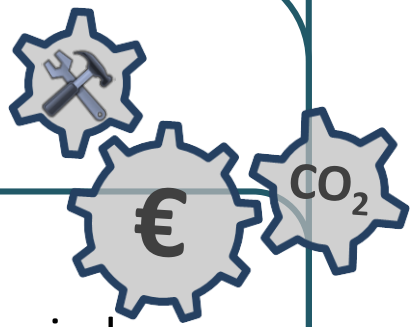
EINSATZ VON ENERGIESYSTEMMODELLIERUNGEN

Energiesystemmodell:

- Modelltechnische Abbildung des bestehenden Energiesystems und Optimierung der Einsatzplanung der Erzeuger
  - Blockscharfe Abbildung einzelner Erzeuger
  - Einsatzplanung in hoher zeitlicher und regionaler Auflösung
  - Übertragbarkeit auf verschiedene Versorgungsgebiete durch modularen Aufbau

Integration verschiedener Flexibilitätsoptionen:

- Bsp.: Regelleistungserbringung durch EE



Bewertung der Auswirkungen:

- hinsichtlich technischer, ökonomischer und ökologischer Kriterien
- Szenarienanalyse

OPTIMIERUNGSMODELL ZUR EINSATZPLANUNG DER ERZEUGER UND FLEXIBILITÄTSOPTIONEN

Optimierungsmodell:

Minimierung der Erzeugungskosten zur Deckung der Strom- und Regelleistungsnachfrage unter Berücksichtigung technischer Restriktionen

- **Software/Solver:** Matlab/CPLEX(IBM)
- **Methodik:** gemischt ganzzahlige lineare Optimierung
- **Lösungsvariablen**:
  - Erzeugte Leistung zur Grundlastdeckung: E [MWh/Erzeuger/Zeitschritt]
  - Erzeugte Leistung zur Regelleistungsvorhaltung: E_{RL} [MWh/Erzeuger/Zeitschritt/RL-Art]
- **Zielfunktion:** *Kostenminimierung*
  - $F_{min} = E\ [MWh] * OPEX\ \left[\frac{€}{MWh}\right] + E_{RL}\ [MWh] * LP_{RL}\ \left[\frac{€}{MWh}\right]$
  - Stromnachfragedeckung: grenzkostenbasiert
  - Regelleistungsvorhaltung: Opportunitätskostenansatz
- **Nebenbedingung:** *Berücksichtigung technischer Restriktionen*
  - Gleichungen: $\boldsymbol{A}*\boldsymbol{x} = \boldsymbol{b}$
  - Ungleichungen $\boldsymbol{A}*\boldsymbol{x} <= \boldsymbol{b}$

OPTIMIERUNGSMODELL ZUR EINSATZPLANUNG DER ERZEUGER UND FLEXIBILITÄTSOPTIONEN

Optimierungsmodell:

Minimierung der Erzeugungskosten zur Deckung der Strom- und Regelleistungsnachfrage unter Berücksichtigung technischer Restriktionen

- **Nebenbedingung (Fortsetzung):**
  - **Gleichungen:** $\boldsymbol{A} * \boldsymbol{x} = \boldsymbol{b}$
    - Deckung der Last
    - Einhaltung der KWK-Bedingungen und Revisionsanforderungen
    - Berücksichtigung von saisonalen und/oder Reservekraftwerken
    - Berücksichtigung der Angebotsdauer der Regelleistungsarten PRL / SRL / MRL
    - Max. Speicherfüllstand einhalten
    - …
  - **Ungleichungen** $\boldsymbol{A} * \boldsymbol{x} <= \boldsymbol{b}$
    - Einhaltung der Minimallast und maximalen Laständerungsbegrenzungen
    - Einhaltung von Mindeststillstandszeiten und Mindestbetriebszeiten
    - Vorhaltung der Regelleistung PRL / SRL / MRL
    - ….

OPTIMIERUNGSMODELL – EINORDNUNG INS GESAMTMODELL

Input → **Modellierung & Optimierung** → **Schlussfolgerungen**

Meteorologie
- Globalstrahlung
- Temperatur
- Druck
- Windgeschwindigkeit

Erzeugerpark
- Installierte Leistung
- Technische/ ökonomische/ ökologische Parameter
- Unsicherheiten/ Prognosegüte

Last
- Strom/ Wärme/ Verkehr
- Anteile GHD/ Haushalte/Industrie

Flexibilitäten
- Art und Parameter der Flexibilitäts-optionen

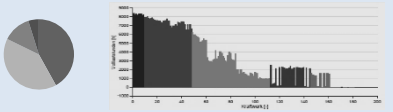
Bestimmung der Einspeisung aus Erneuerbaren

Abschätzung des Flexibilitäts- und Regelleistungs-bedarfs

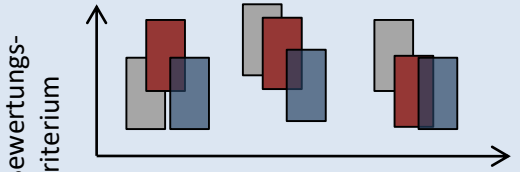
Optimierungsmodell zur Einsatzplanung der Erzeuger und Flexibilitätsoptionen

Zeitlich hochaufgelöster **Einsatzplan der Erzeuger und Verbraucher**

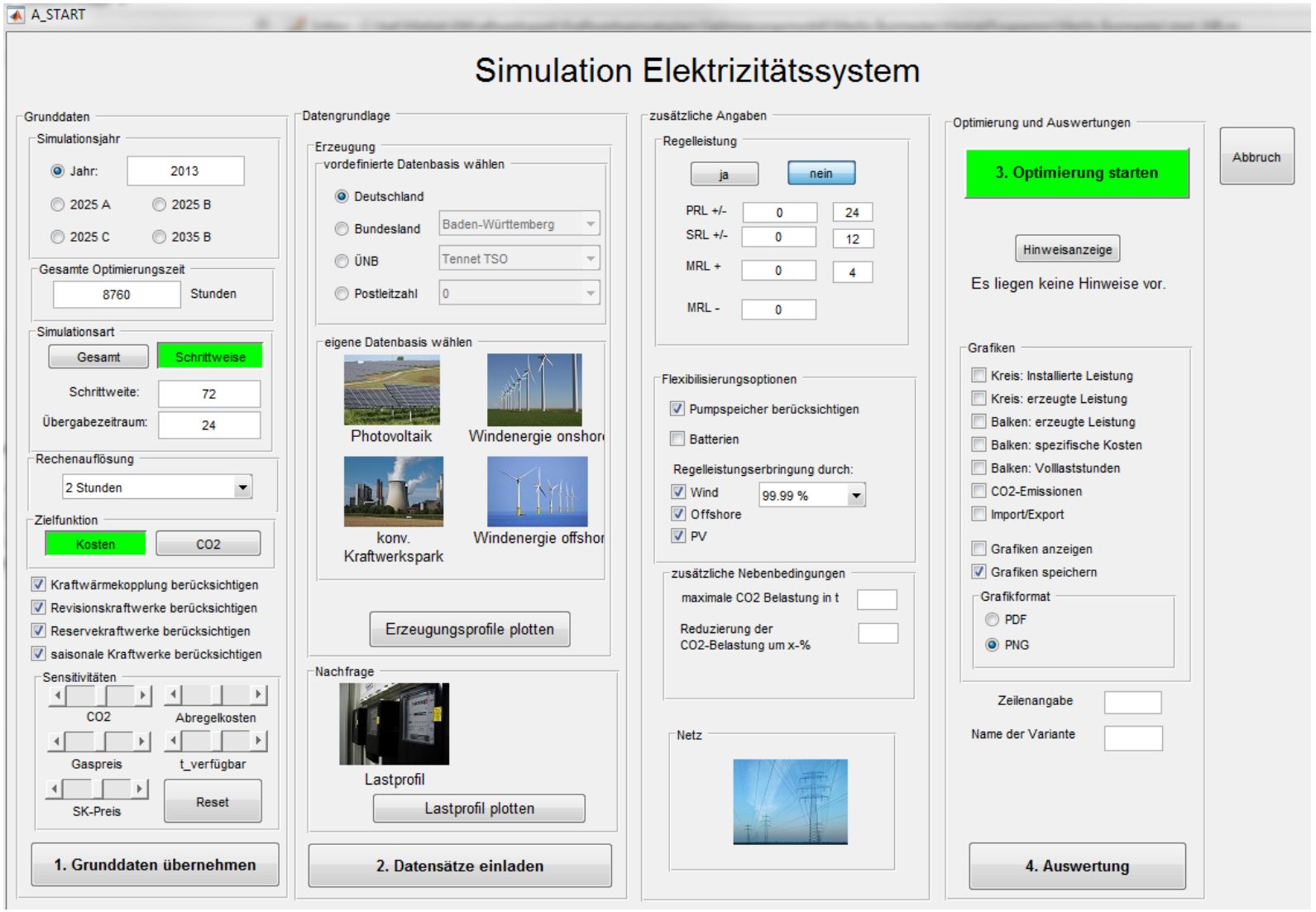
Ökonomische/ ökologische **Bewertung des Energiesystems**



Ökonomische/ ökologische/ technische **Bewertung der Flexibilitätsoptionen**



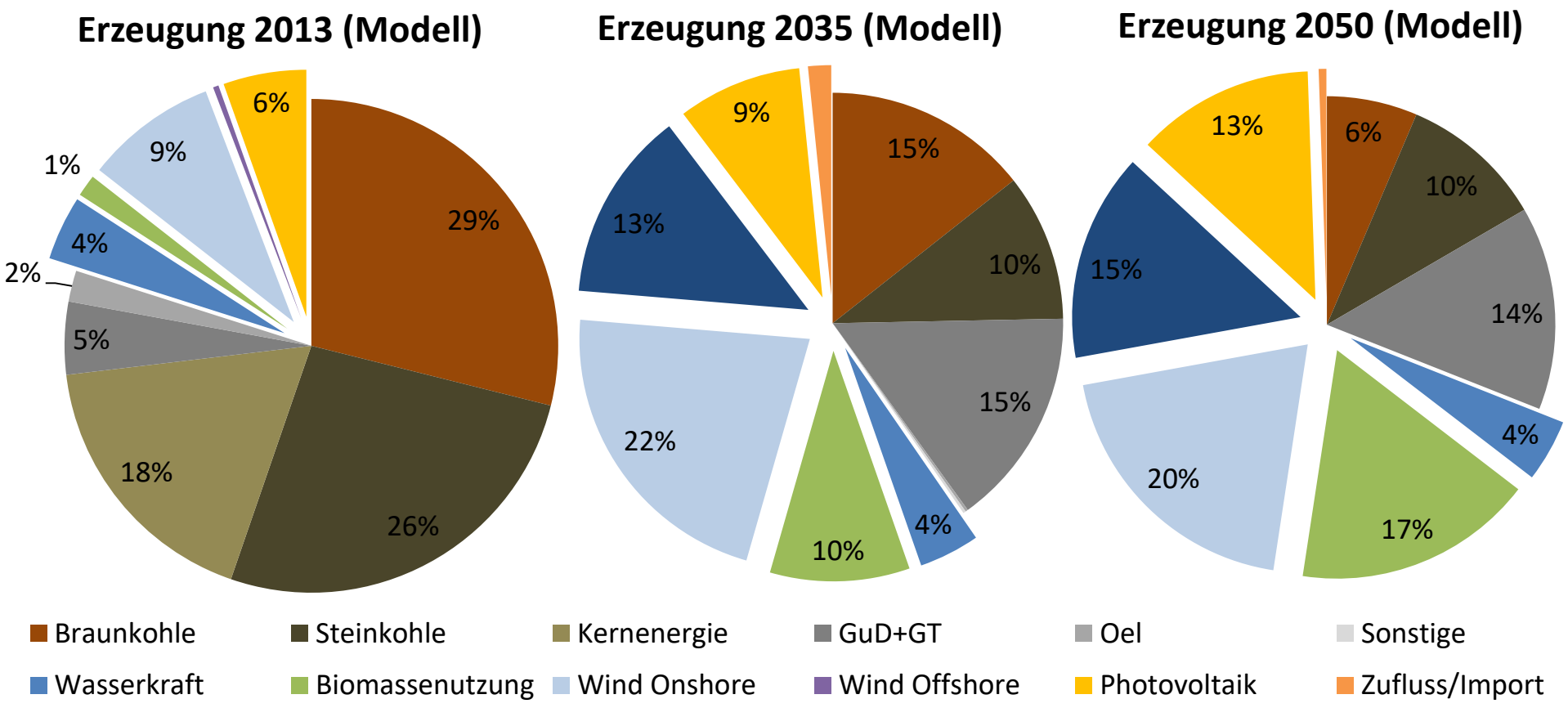
EINSATZ VON ENERGIESYSTEMMODELLIERUNGEN



EINSATZ VON ENERGIESYSTEMMODELLIERUNGEN/TENDENZEN

Beispielhafte Ergebnisse:

detaillierte Einsatzplanung der Erzeuger → Ausnutzungsgrade



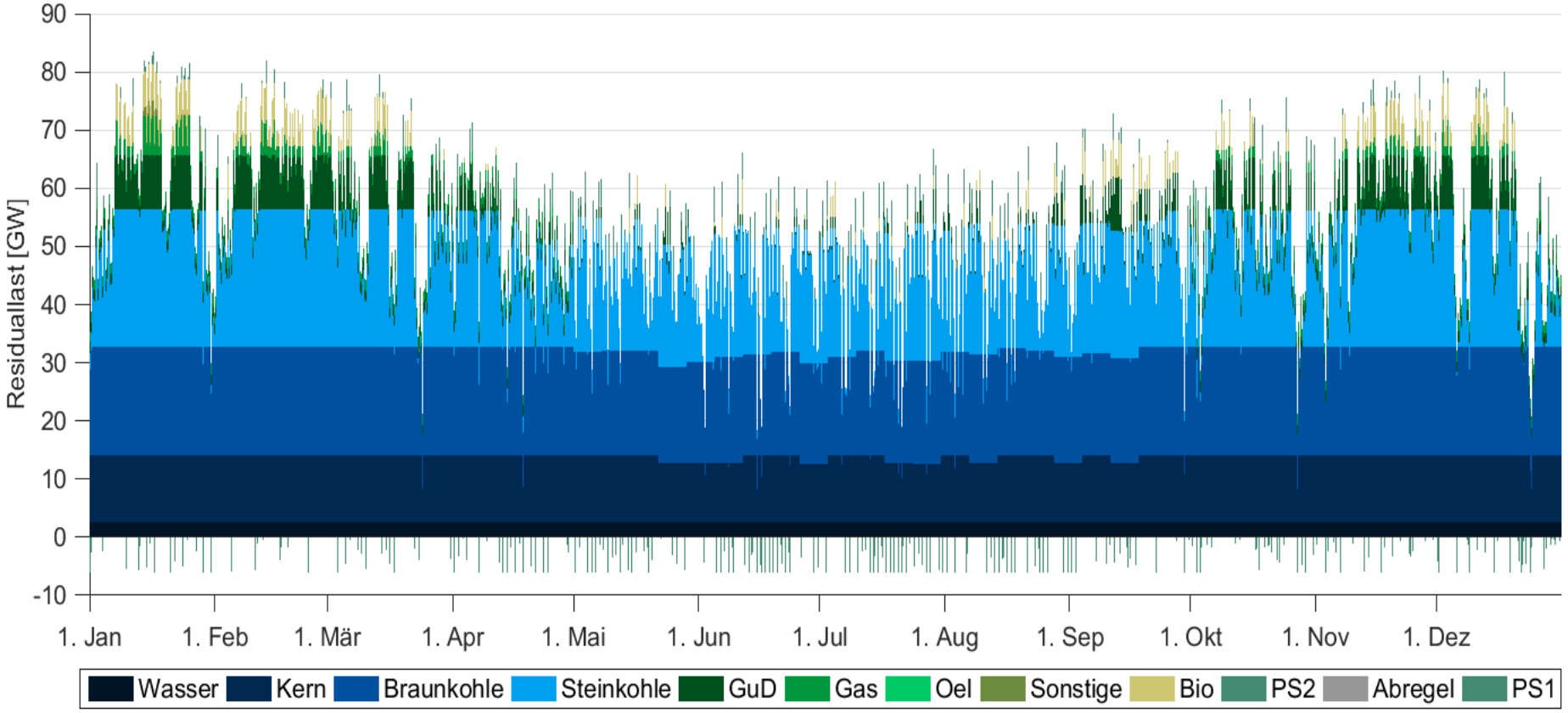
→ Kosten & CO_2-Emmisionen der Erzeugung

→ Optimale Ausbauszenarien

EINSATZ VON ENERGIESYSTEMMODELLIERUNGEN/TENDENZEN

Beispielhafte Ergebnisse:

Zeitlich hochaufgelöste Optimierung der Betriebsweise der Erzeuger (→ Berücksichtigung von Fluktuationen durch EE)



INHALT

1 Leipziger Institut für Energie GmbH

2 Herausforderungen im Energiesystem

3 Einsatz von Energiesystemmodellierungen und denkbare Entwicklungen

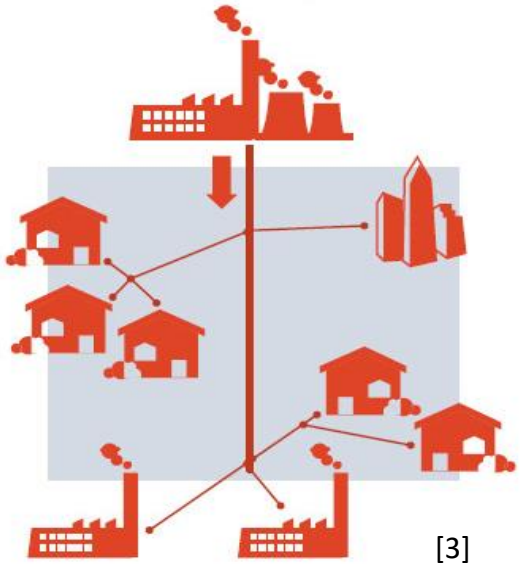
4 Exkurs: Dezentral optimierte Steuerung mehrerer flexibler Erzeuger/Verbraucher

DEZENTRAL OPTIMIERTE STEUERUNG MEHRERER FLEXIBLER ERZEUGER/VERBRAUCHER

Motivation:

Übergang des Versorgungssystems von zentralen zu dezentralen Strukturen

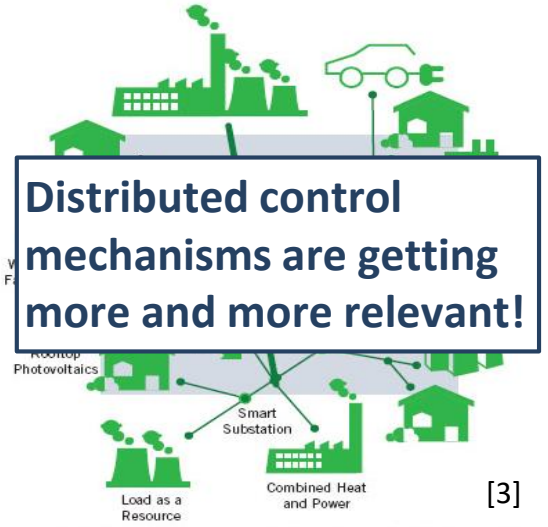
From



[3]

- Wenige große Firmen
- Millionen passiver Verbraucher
- Wenige große Technologien

To



[3]

- Vielzahl an kleinen Erzeugern
- Vielzahl an (aktiven) Verbrauchern
- Heterogener Mix an small-scale Technologien

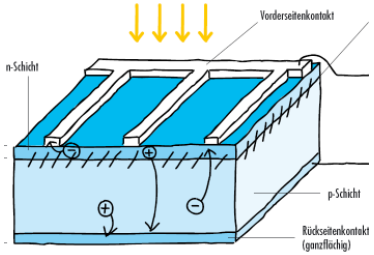
DEZENTRAL OPTIMIERTE STEUERUNG MEHRERER FLEXIBLER ERZEUGER/VERBRAUCHER

Beispiel:

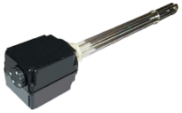
Steuerung des Wärmebedarfs mit dem Ziel der Sektorkopplung

Erneuerbare Energien

Nachfrage



Überschuss-energie



Wärmespeicher im privaten und gewerblichen Bereich

Brennwerttherme

- Prognoseungenauigkeiten
- Redispatch
- etc.

DEZENTRAL OPTIMIERTE STEUERUNG MEHRERER FLEXIBLER ERZEUGER/VERBRAUCHER

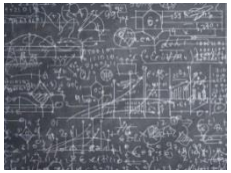
- Steuerung
  - 5 Anforderungen an mögliche Koordinationsmechanismen im Smart Grid

- Skalierbarkeit

- Effektivität

- Robustheit

- Sicherheit



- Einfachheit

Spieltheorie bietet in diesem Kontext ein **solides Grundgerüst**, mit welchem diese Punkte adressiert werden können!

KONTAKT

Leipziger Institut für Energie GmbH

Niederlassung Hamburg

Meyerstrasse 12
21075 Hamburg

Telefon 03 41 / 22 47 62 - 0
Telefax 03 41 / 22 47 62 - 10

E-Mail mail@ie-leipzig.com
Internet www.ie-leipzig.com

Ein Unternehmen der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
und der TuTech Innovation GmbH

Dr.- Ing. Sebastian Janczik
Niederlassungsleiter Hamburg

Telefon 01 75 / 9620787
E-Mail Sebastian.Janczik@ie-leipzig.com

MSc. Annika Magdowski
Projektleiterin

Telefon 040 / 42878 - 2809
E-Mail Magdowski@tuhh.de

USED SOURCES

[1] Homepage des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Erneuerbare Energien auf einen Blick (Stand 2016); http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/erneuerbare-energien-auf-einen-blick.html

[2] Eigene Simulation auf Basis des aktuellen Netzentwicklungsplans sowie öffentlich zugänglicher Daten der Übertragungsnetzbetreiber: 50Hertz Transmission GmbH Netzkennzahlen, www.50hertz.com, gesehen 25. Februar 2016;

[3] Wierman, A.; Ledyard, J.; Marden, J. R.; Introduction to game theoretic approaches to distributed optimization and control, Introduction to SISL: Topics in algorithmic game theory, lecture notes, 2008