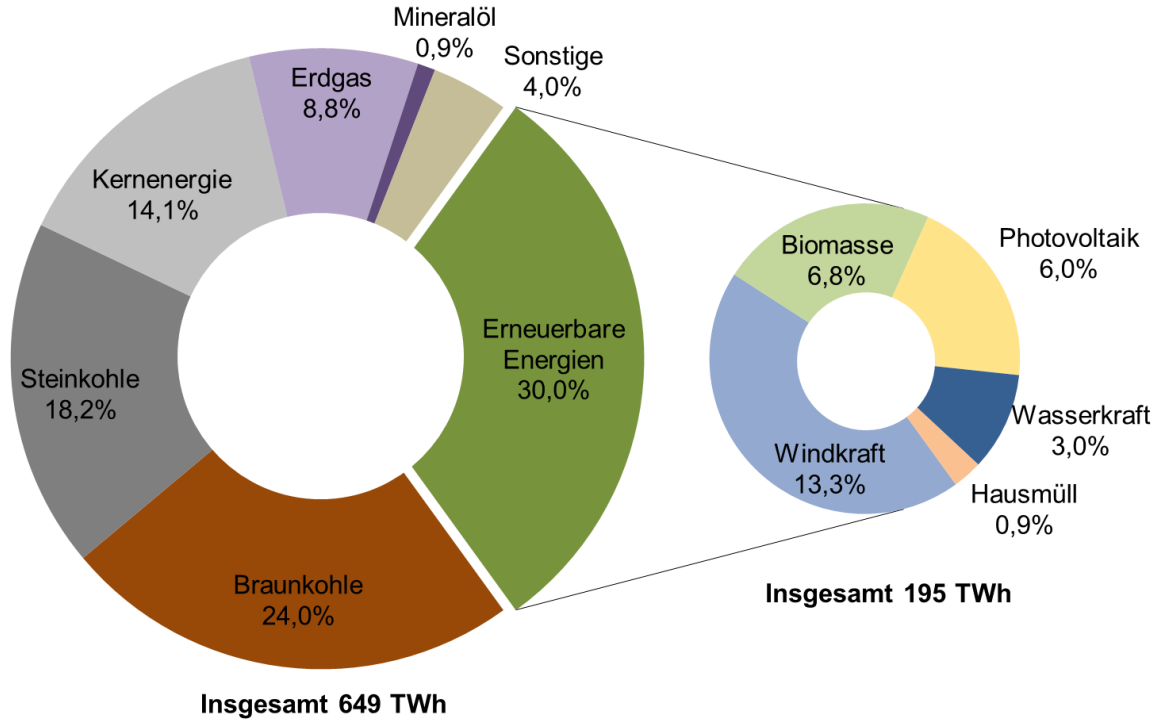


Stromversorgung im Wandel

– Entwicklungen und Herausforderungen –

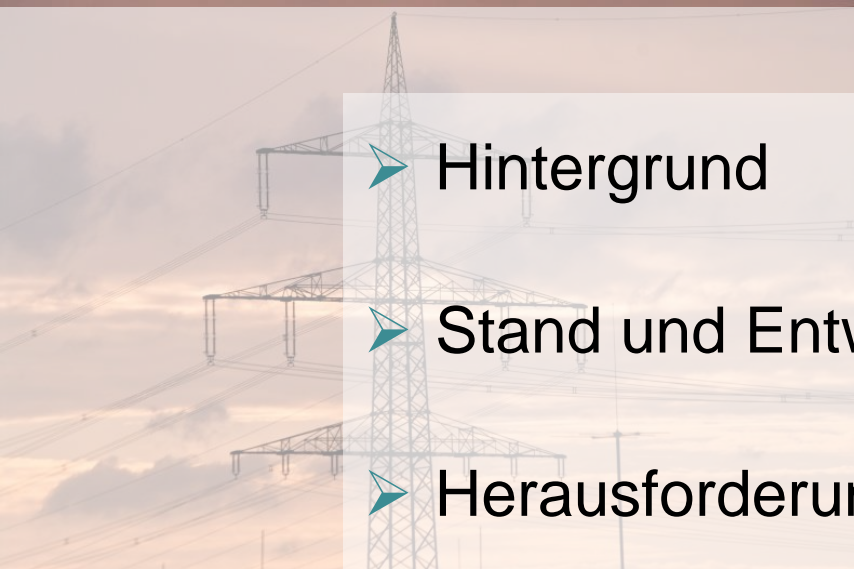
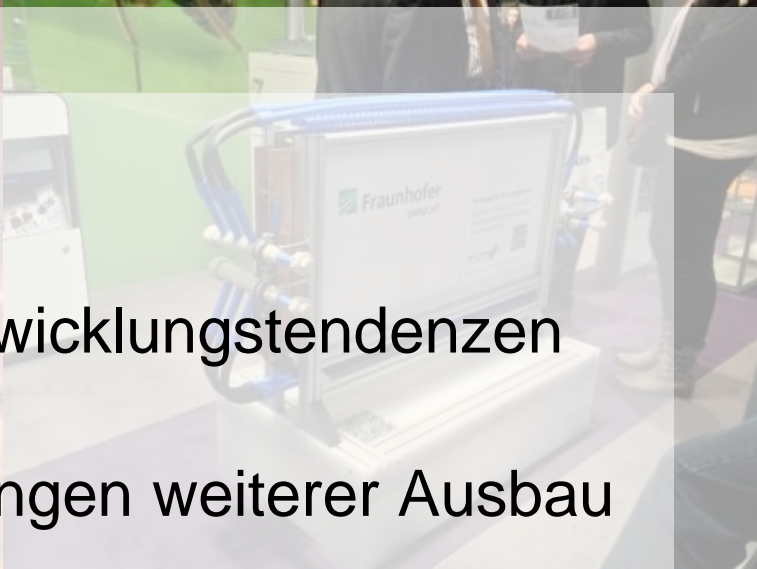

Martin Kaltschmitt, Philip Witte


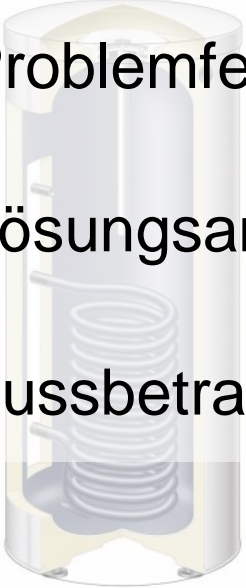





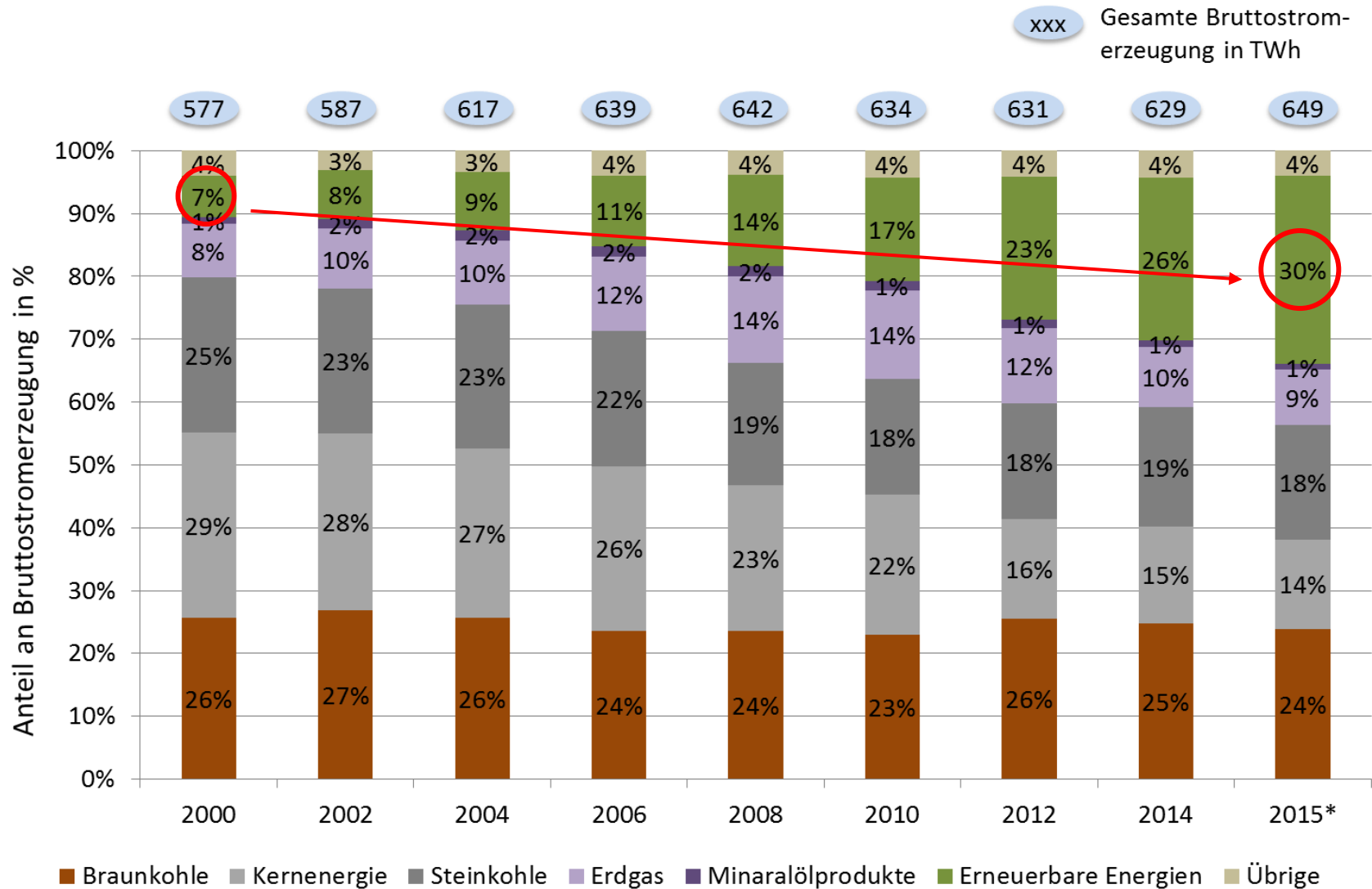
- ❖ 2015 trugen erneuerbare Energien (EE) mit ca. 30 % zur Brutto-stromerzeugung bei.
- ❖ EE-Strom stammt primär aus Wind und Sonne (PV) (ca. 64 %); der Rest resultiert im Wesentlichen aus Biomasse und Wasserkraft.
- ❖ Rund 42 % des deutschen Bruttostroms wurden 2015 aus Braun- und Steinkohle erzeugt.

*vorläufige Zahlen, ** regenerativer Anteil; Quelle: AG Energiebilanzen, Stand: Dezember 2015

- 
- 
- 
- Hintergrund
 - Stand und Entwicklungstendenzen
 - Herausforderungen weiterer Ausbau

- 
- 
- 
- Problemfelder
 - Lösungsansätze
 - Schlussbetrachtung

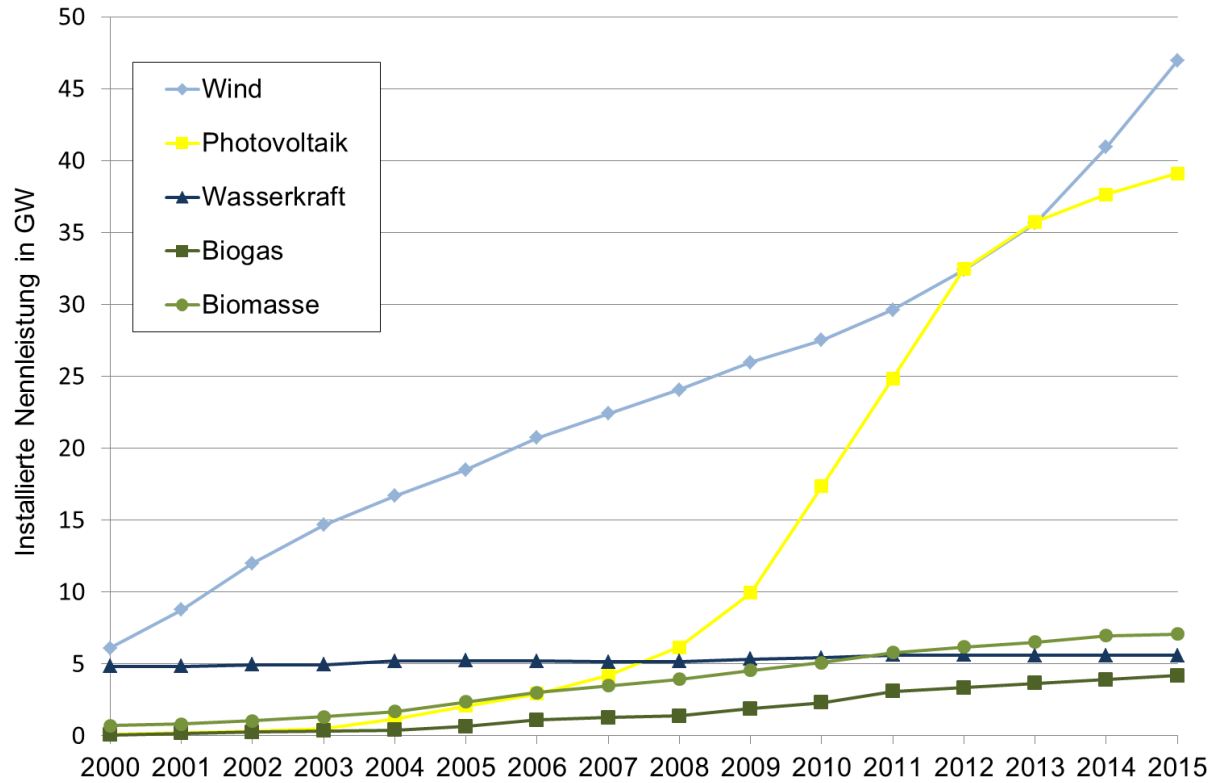
Entwicklung der Bruttostromerzeugung...



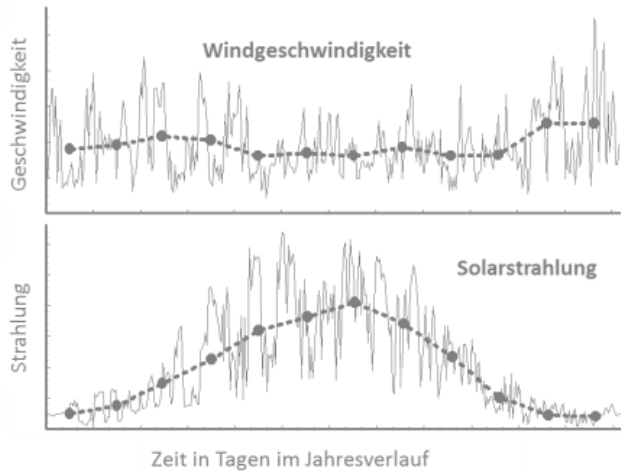
*vorläufige Zahlen, Stand: Dezember 2015

[2]

...ist primär getrieben durch den starken Ausbau von Wind- und PV-Anlagen



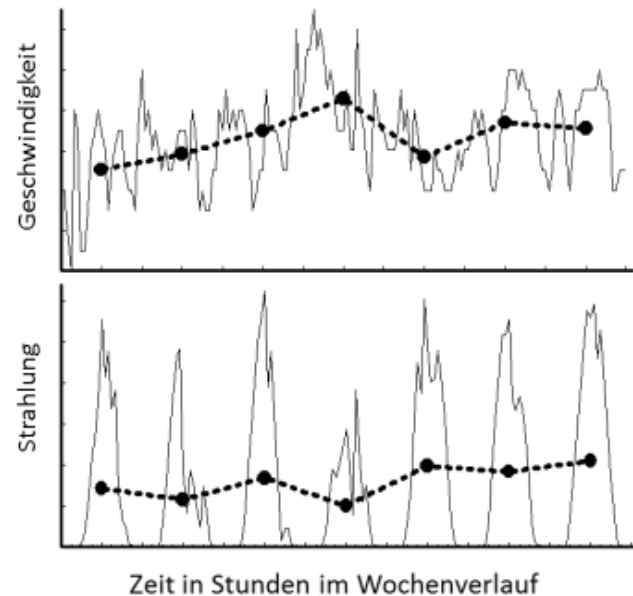
- ❖ Signifikanter Ausbau der installierten elektrischen Nennleistung primär bei den angebotsorientierten Stromerzeugungsoptionen.
 - Windleistung wurde seit 2000 um durchschnittlich 14 %/a ausgebaut – seit 2013 starker Ausbau von Offshore-Wind.
 - PV-Leistung zeigte 2008 bis 2013 einen mittleren Zubau von 42 %/a.



Jahresverlauf

- Solarstrahlung im Sommer maximal, im Winter sehr gering
- Mittlere Windgeschwindigkeiten im Winterhalbjahr am höchsten

Ausgleichseffekte
im Jahresverlauf!

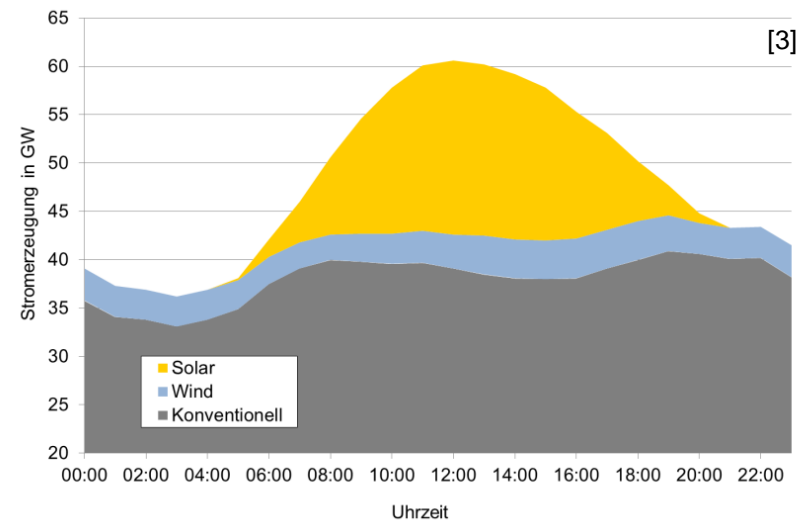
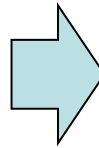
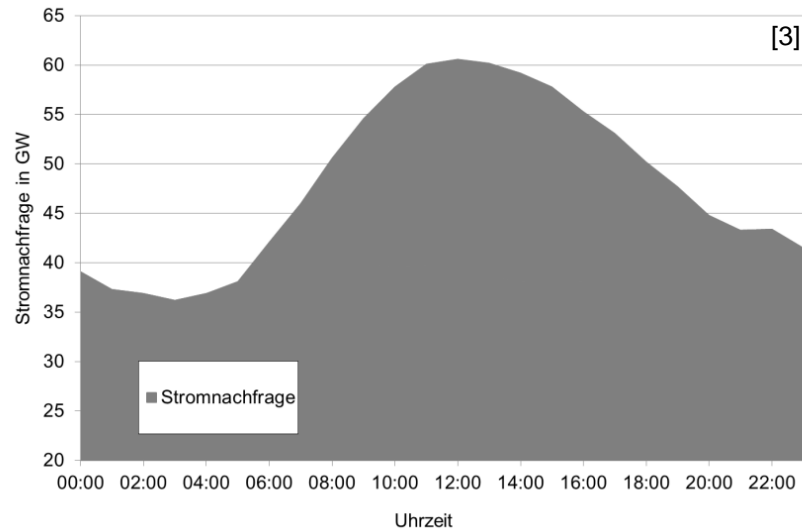


Tagesverlauf

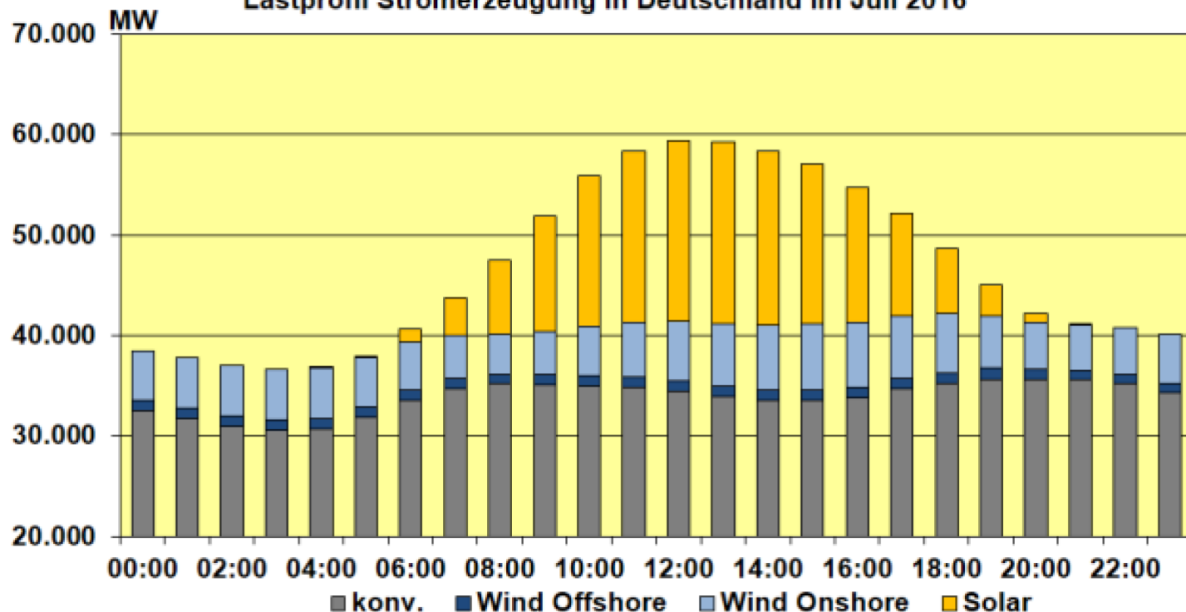
- Solarstrahlung ist relativ deterministisch – Sonnenstand ist bekannt und Schwankung der Bedeckung sind meist langsam und stetig
- (Böiger) Wind kann innerhalb weniger Stunden deutlich stärker variieren

... verändert die Reststromnachfrage

- Wind- und Solarstrom verändern durch ihre Angebotsabhängigkeit die noch vom konventionellen Kraftwerkspark zu deckenden Nachfrage; dies kann die Fahrweise der konventionellen Kraftwerksparks massiv beeinflussen
- Beispiel Peak-Shaving Effekt: Über Mittag wird die jahrzeitlich unterschiedlich ausgeprägte Mittagsspitze derzeit weitgehend durch PV-Strom gedeckt; die verbleibende Restnachfrage ist dadurch im Tagesverlauf ausgeglichener



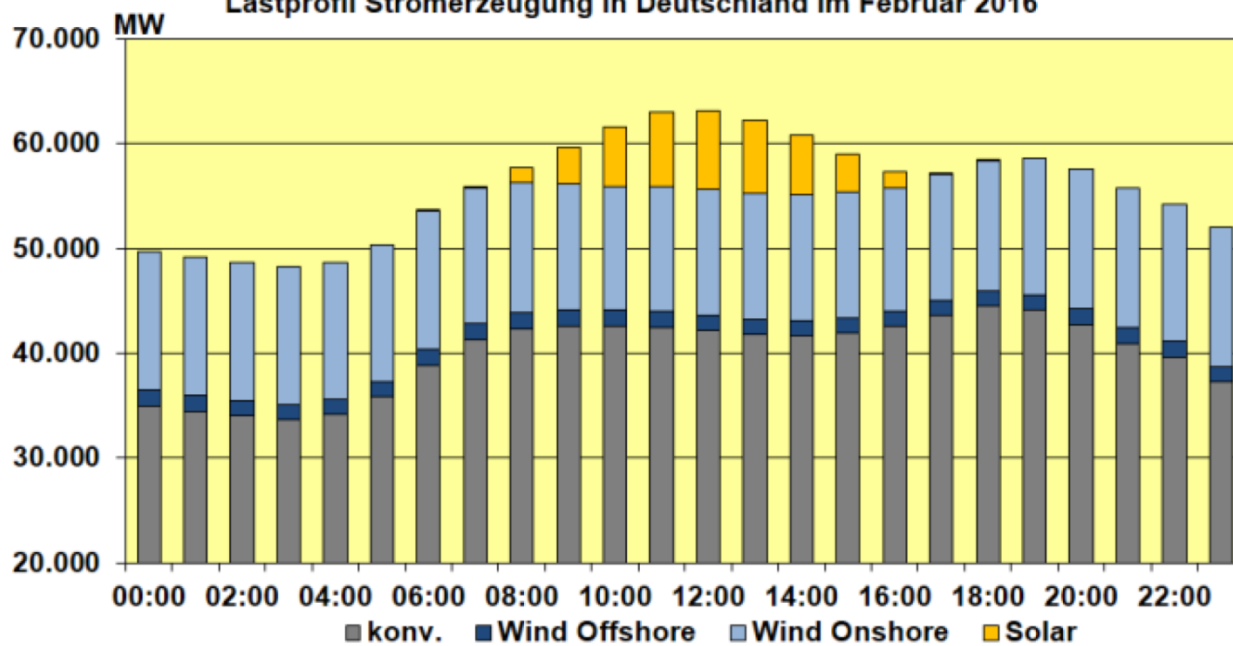
Lastprofil Stromerzeugung in Deutschland im Juli 2016



Quelle: IWR, Daten: IWR, Amprion, TenneT TSO, Transnet BW, 50 Hertz

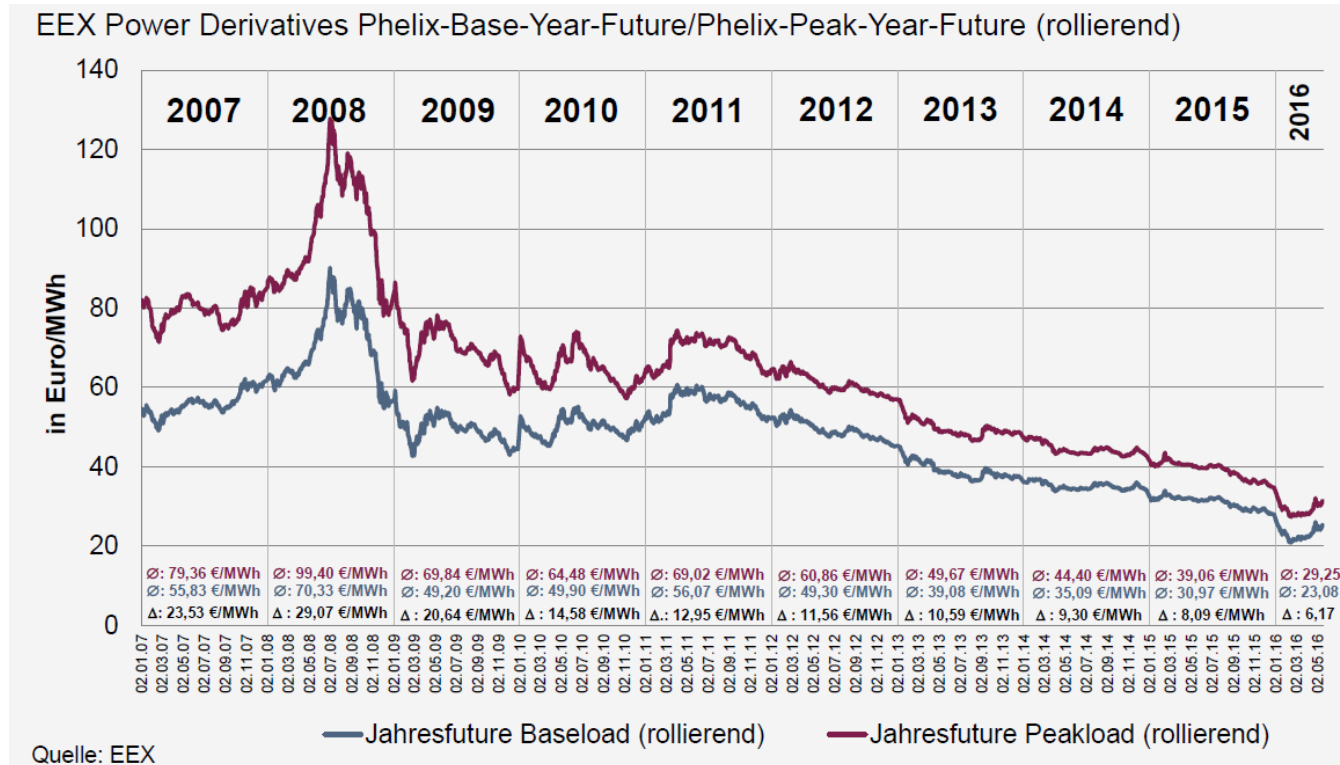
© IWR, 2016

Lastprofil Stromerzeugung in Deutschland im Februar 2016

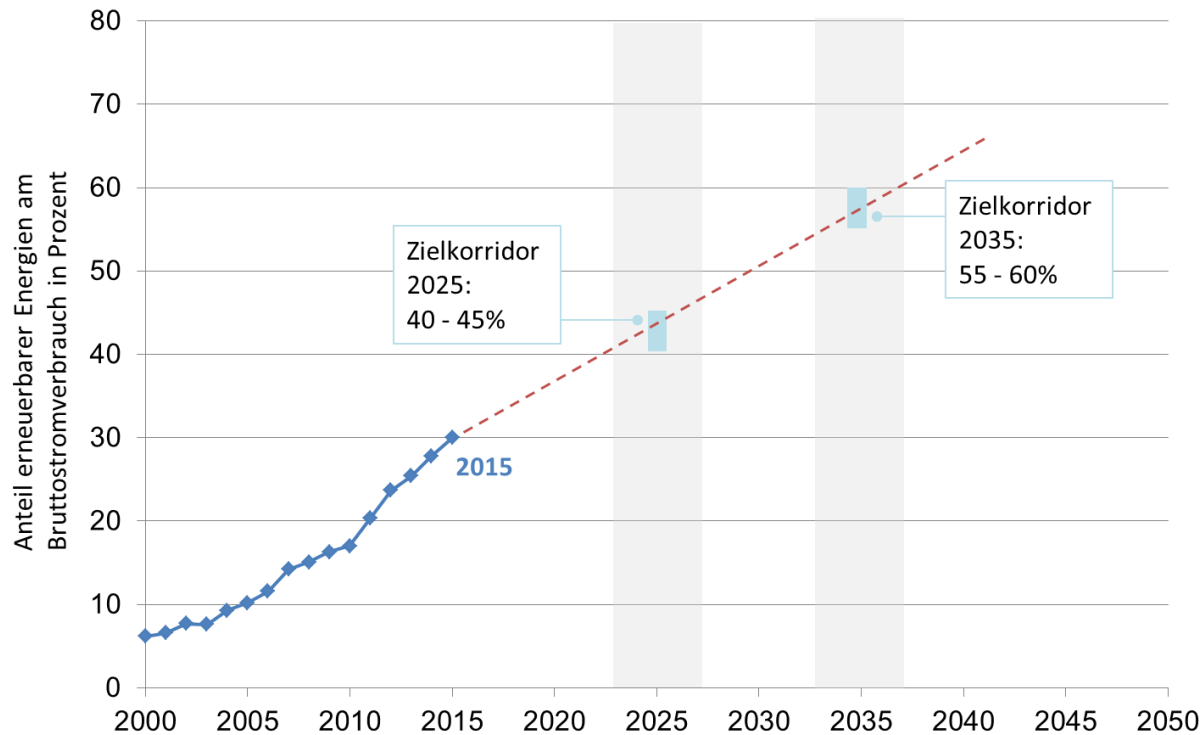


Quelle: IWR, Daten: IWR, Amprion, TenneT TSO, Transnet BW, 50 Hertz

© IWR, 2016



- ❖ Der Ausbau insb. der Solarstromerzeugung beeinflusst in einem erheblichen Ausmaß des Spread zwischen Baseload und Peakload.
- ❖ Auch der Ausbau der Windenergie führt nicht zu einer signifikanten Zunahme der Fluktuationen der vom konventionellen Kraftwerkspark zu deckenden Last.
- ❖ Insgesamt ist damit bisher genau das Gegenteil der ursprünglich erwarteten Entwicklung eingetreten.



- ❖ Zielkorridore der Bundesregierung für 2025 und 35 erfordern weiterhin einen starken Ausbau der Stromerzeugung aus reg. Energien.
- ❖ Dieses Wachstum wird auch aus Kostengründen potenziell durch eine stärkere Nutzung von Wind und insbesondere PV – und damit durch angebotsorientierte Erzeugungsoptionen – realisiert werden.

Herausforderungen: Residuallast – Woche

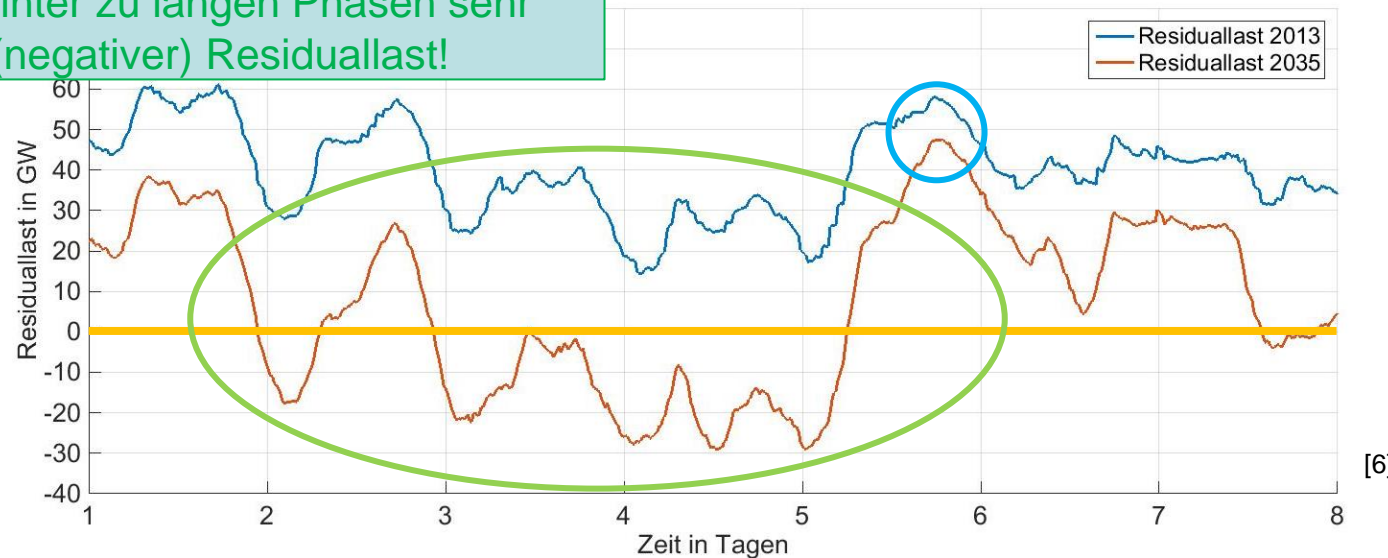
Zubau an PV-Leistung führt im Sommer in der Mittagszeit zu negativer Residuallast!

„Sommerwoche“



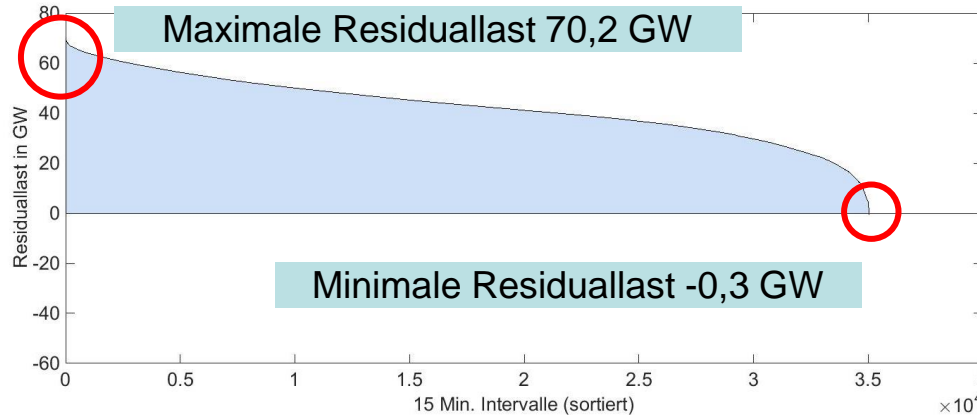
Zubau an Wind-Leistung führt insbesondere im Herbst und Winter zu langen Phasen sehr geringer (negativer) Residuallast!

„Winterwoche“



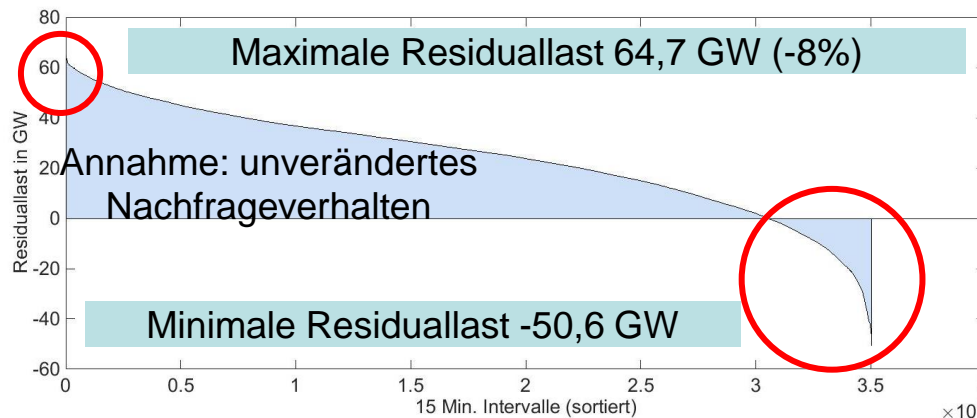
Geordnete Dauerlinie der Residuallast

2013



Residuallast in nur 2 der 15 Min. Intervalle negativ

2035

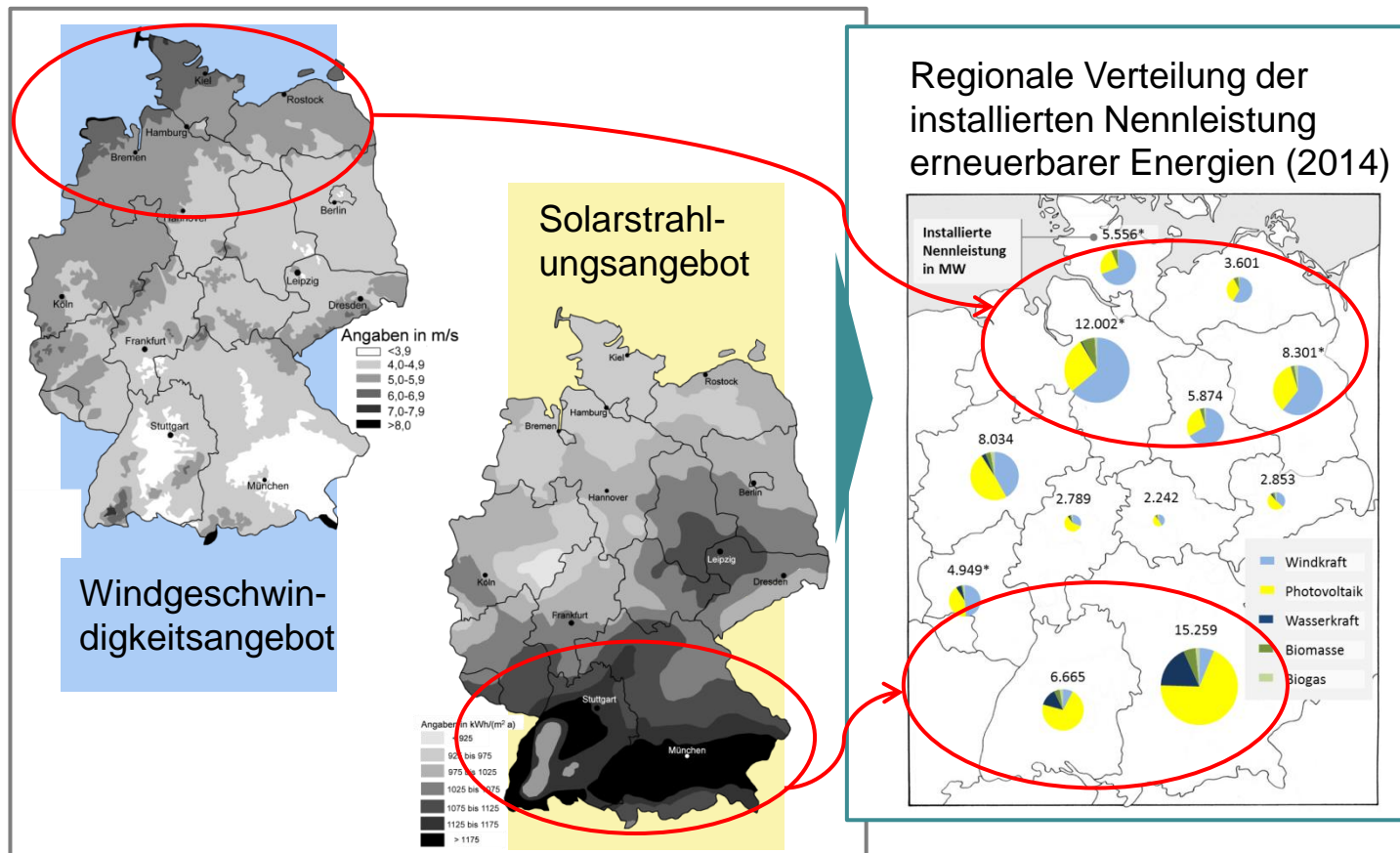


[6]

Residuallast in 12,8 % der Zeitintervalle negativ

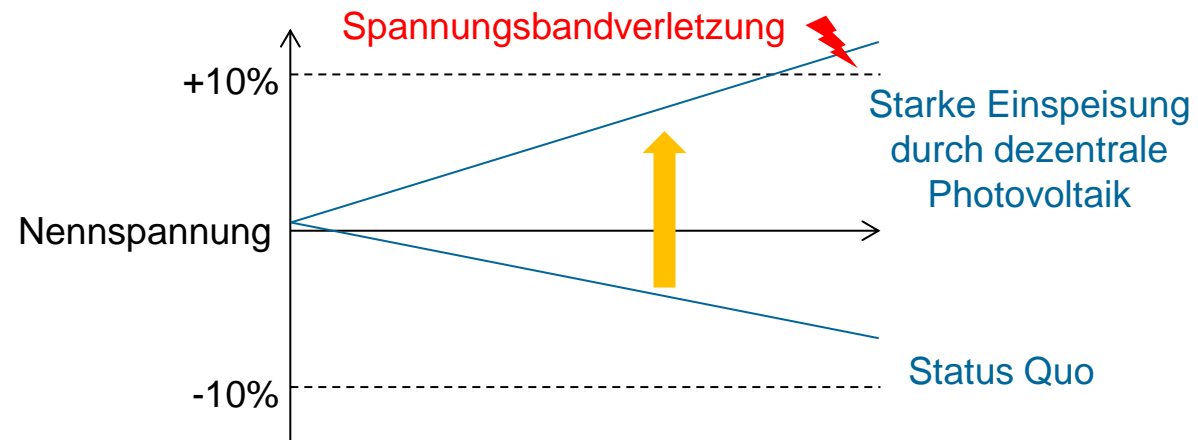
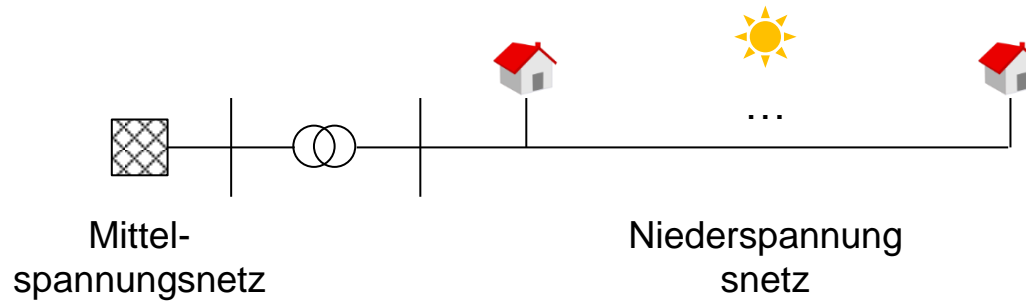
- ❖ Auch bei einem starken Ausbau an EE-Leistung sinkt die maximale Residuallast nur wenig; d. h. Zeiten mit hoher negativer Residuallast nehmen überproportional zu.
- ❖ Andere Kraftwerke und Speicher müssen die verbleibende zunehmend ungleichmäßigere Last decken („zuverlässig wie bisher und möglichst günstig“).

Herausforderungen: Regionale Unterschiede



- ❖ Im Norden sind im Mittel deutlich höhere Windgeschwindigkeiten als im Süden gegeben; im Süden ist die Solarstrahlung im Jahresverlauf höher als im Norden.
- ❖ Bisheriger und zukünftiger Ausbau der Wind- und Solarstromerzeugung orientiert sich an diesem Dargebot; d. h. es ergeben sich (je nach Jahres- und Tageszeit) regionale Leistungsunterschiede.
- ❖ Die Notwendigkeit eines überregionalen Stromtransports wird stark zunehmen.

Herausforderungen: Verteilnetz steht vor neuen Aufgaben (Beispiel PV-Einspeisung)



- ❖ Ausbau erneuerbarer Energien führt im Verteilnetz zu veränderter Netzbelastung; dies kann zur Folge haben
 - Spannungsbandverletzungen und
 - Leitungsüberlastungen (insbesondere im Rückspeisefall).

Stromversorgungssystem



Angebot



Stromnetz



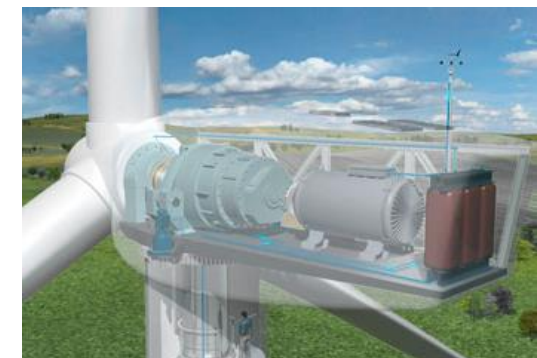
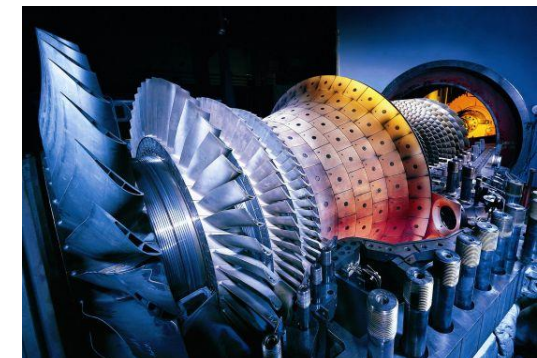
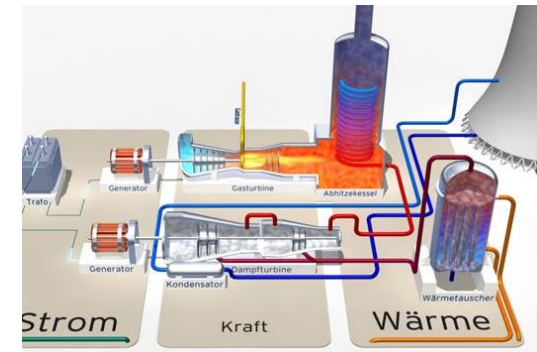
Nachfrage

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

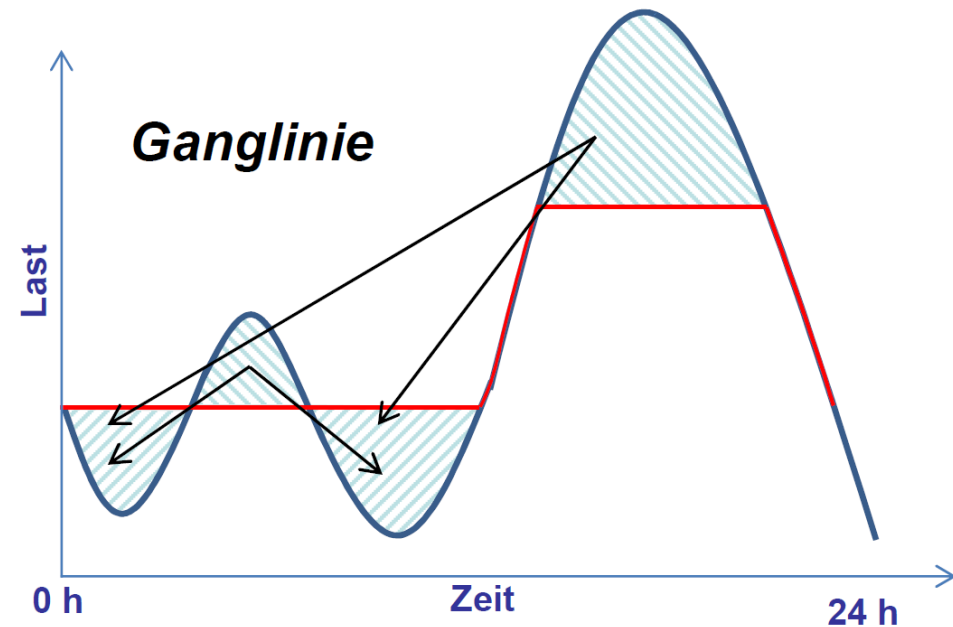
Kopplung

Anderen Energiesystemen (Gas, Wärme/Kälte, Mobilität)

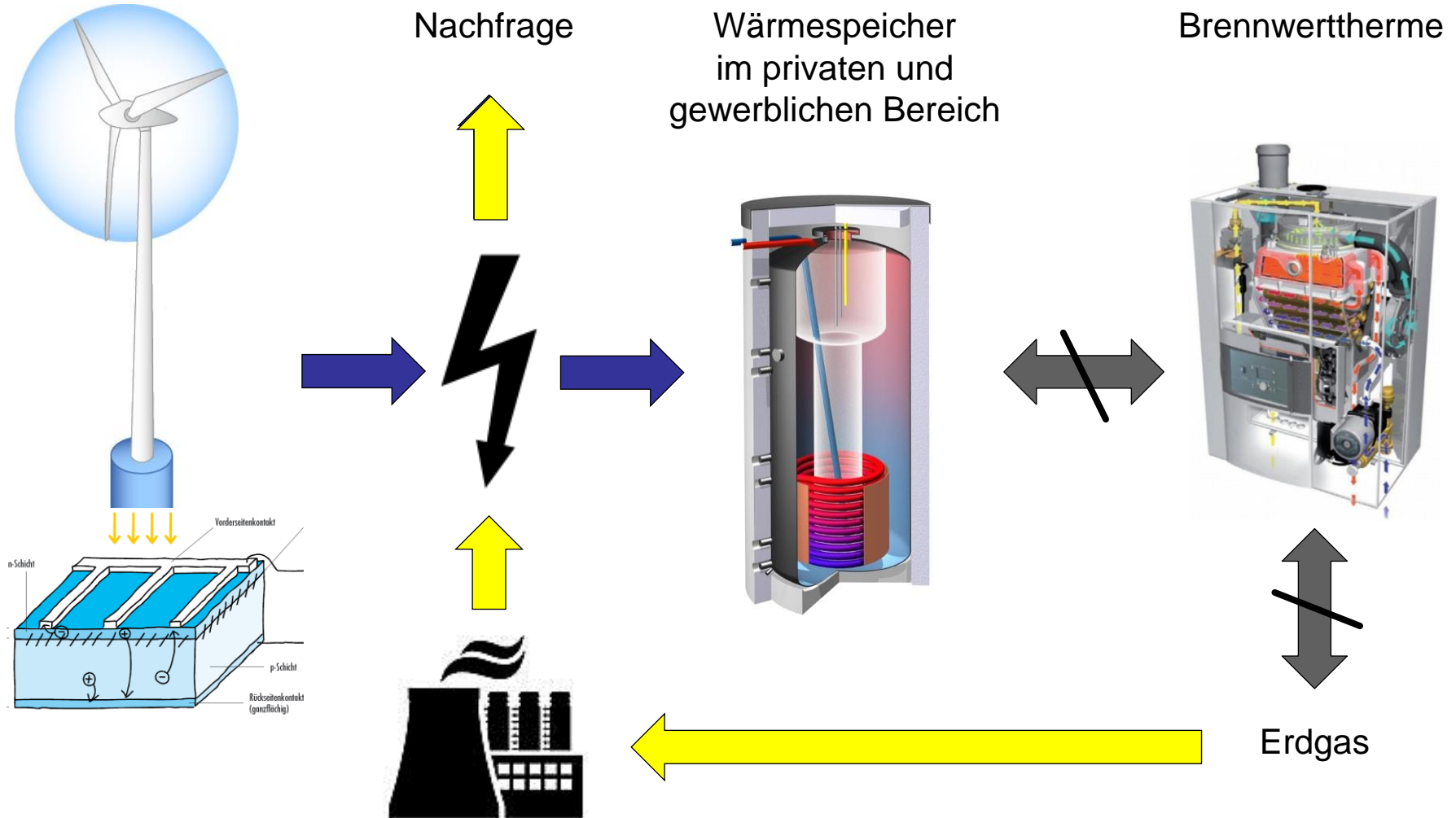
- Kraftwerke mit Gas und Dampf (GuD) Kreislauf können Lastgradienten von 3,5 %/min fahren
- Der Prozess hat einen hohen Wirkungsgrad (ca. 60 %)
- Eine Gasturbine kann die Leistung um etwa 12 %/min verändern
- Der Wirkungsgrad ist hier mit ca. 40 % jedoch deutlich niedriger
- Auch Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien können Systemdienstleistungen (z. B. Regelleistung) bereitstellen
- Technisch ist dies heute schon möglich – allerdings (noch) nicht am Markt bei den derzeitigen Rahmenbedingungen



- DSM (Demand Side Management) umfasst Maßnahmen zur Steuerung der Nachfrage und ermöglicht z. B. eine Anpassung der Last an die aktuelle Erzeugung
- Mögliche DSM-Maßnahmen sind:
 - Lastreduktion durch Abschalten von Anlagen
 - Lastverschiebung/pufferung durch die Nutzung von Speichern in Anlagen (u. a. auch Ausnutzen der thermischer Trägheit bei Gebäuden)
 - Lasterhöhung durch Zuschalten zusätzlicher Verbraucher



Lösungsansätze: Sektorkopplung (hier: mit Wärmesektor)



Wirkungsgrad > 60 %
Speicherkapazitäten > 100 TWh/a

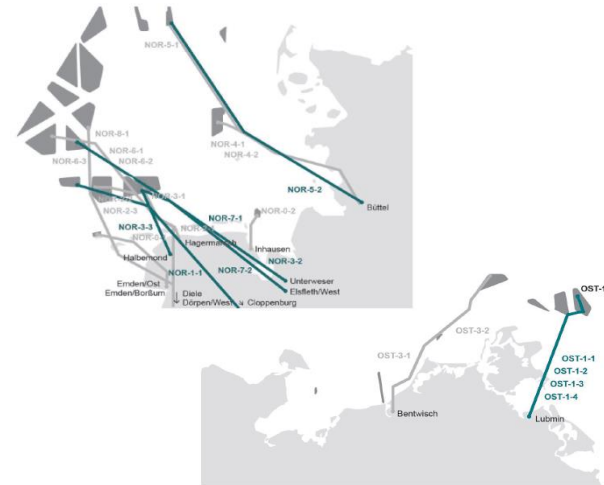
Lösungsansätze: Ausbau des Übertragungsnetzes

Geplante "Stromautobahnen"



- Überregionaler Netzausbau berücksichtigt Nord-Süd-Unterschiede bei der Einspeisung erneuerbarer Energien

Nordsee

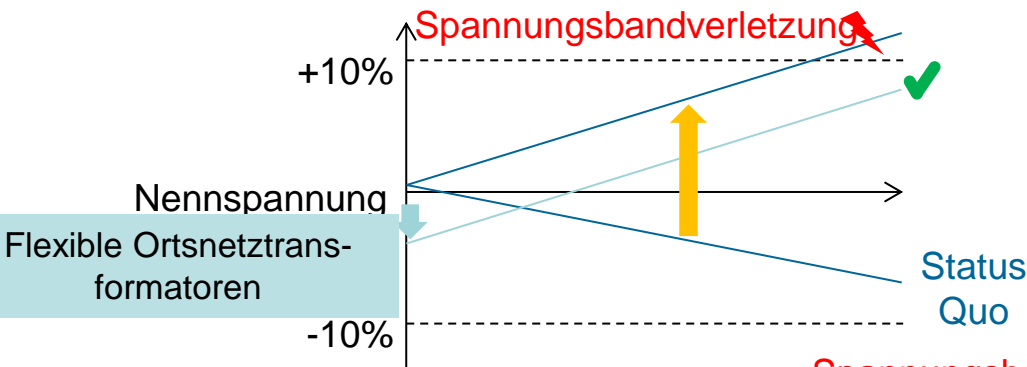
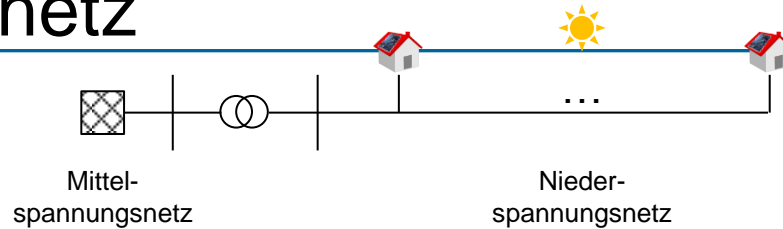


Ostsee

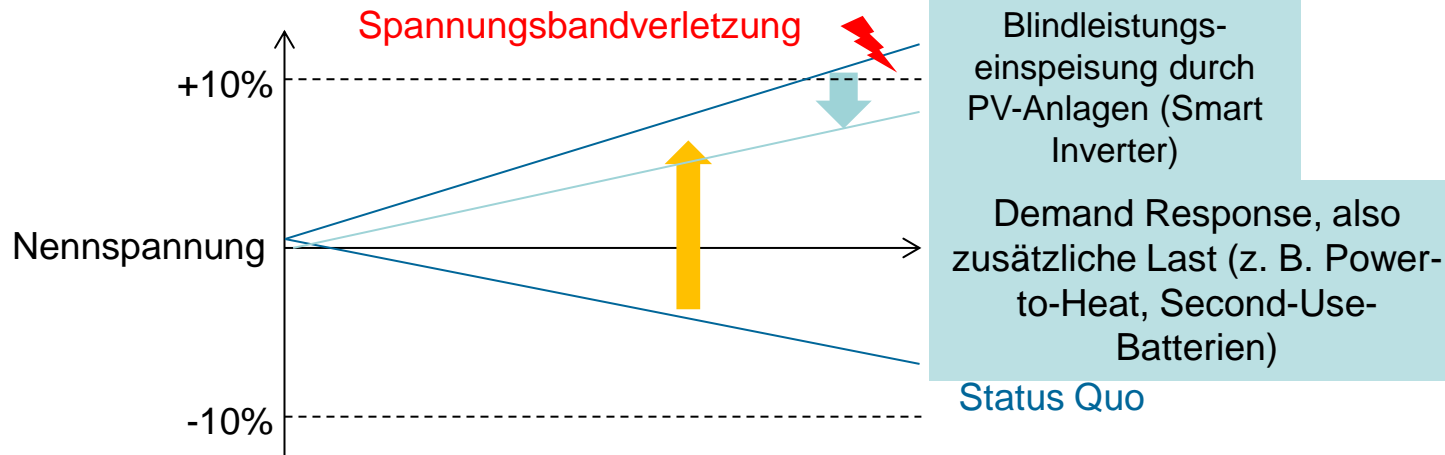


- ❖ Regional unterschiedliches Angebot an Wind und Sonne erzwingt eine bessere überregionale Energieübertragung.
- ❖ Für eine ganzheitliche (systemische) Optimierung sind
 - Netzausbauplanung und Kraftwerksinvestitionsplanung sowie die Kraftwerkseinsatzplanung optimaler zu koppeln und
 - Alternativen zum Netzausbau (z. B. Leiterseilenmonitoring zur optimale Auslastung des Netzes) besser zu berücksichtigen.

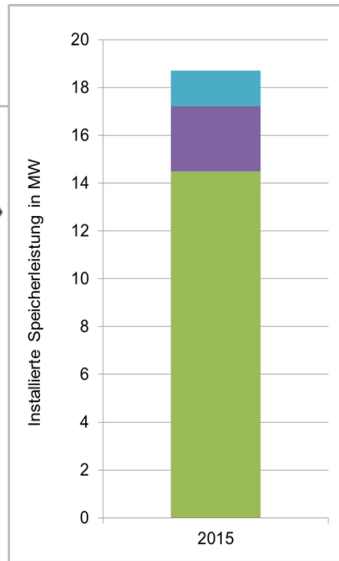
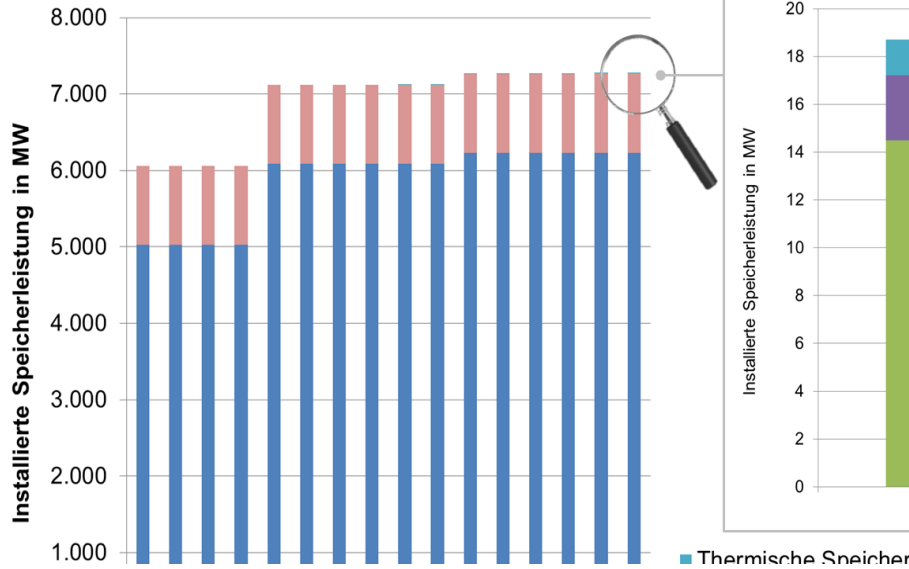
Lösungsansätze: Flexibilität im Niederspannungsnetz



Starke Einspeisung durch dezentrale Photovoltaik



- ❖ Ausbau erneuerbarer Energien führt im Verteilnetz zu veränderter Netzbelastung (Spannung, Leistung).
- ❖ Diesen neuen Netzbelastungen kann man mit vorhandener Technik begegnen und so den notwendigen Netzausbau verringern.

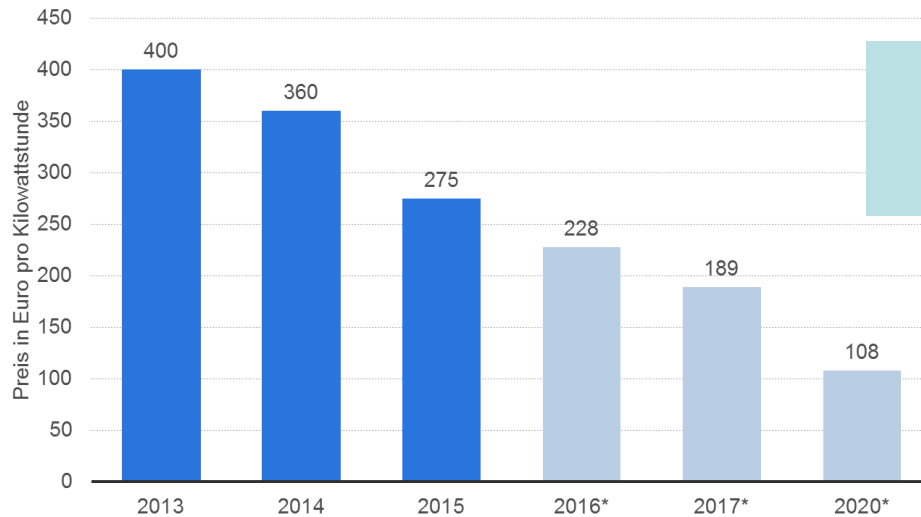


Speicher haben sehr vielseitige Nutzen

- Beitrag zur gesicherten Leistung
- Bereitstellung von Systemdienstleistungen
- Vermeidung von Netzengpässen
- Ausgleich der Fluktuationen erneuerbarer Energien

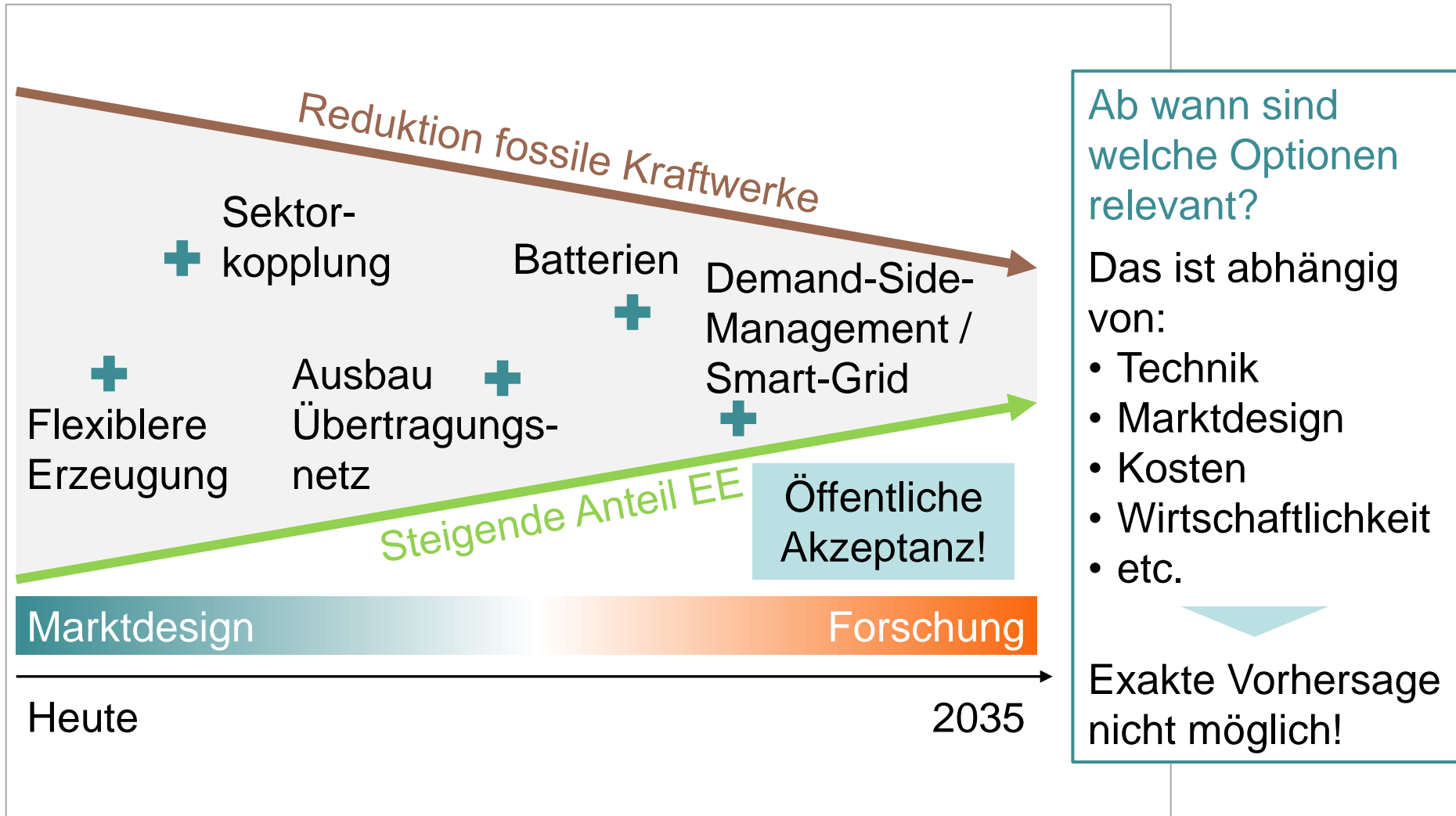
Bisher: Dominanz von Pumpspeicherkraftwerken, aber...

...fallende Batteriepreise und Second-Use Batterien könnten das verändern



[10]

Fazit: Sequentielle Umsetzung von Flexibilitätsoptionen



Schlussfolgerungen: notwendiger Paradigmenwechsel in der Elektrizitätswirtschaft

Bisher

- Unterstützung der Erzeugung und Einspeisung von Strom aus regenerativen Energien ins Netz der öffentlichen Versorgung (Stromeinspeisegesetz, bisherige EEG-Philosophie)
- Forcierte technische Entwicklung von Konversionstechnologien zur Stromerzeugung aus regenerativen Energien
- Beitrag zur Kostenreduktion (Investitionen, Betriebskosten) von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien

Zukünftig

- Unterstützung des Beitrags von Strom aus regenerativen Energien zur sicheren Versorgung Deutschland mit elektrischer Energie (d. h. der Versorgung einer Versorgungsaufgabe)
- Forcierte Entwicklung von Konversionstechnologien und Systemkonzepten, die zur sicheren elektrischen Versorgung Deutschlands beitragen
- Beitrag zur Kostenstabilisation /-reduktion im gesamten deutschen Energie- bzw. Elektrizitätsversorgungssystem

Schlussfolgerungen: notwendiger Paradigmenwechsel in der Elektrizitätswirtschaft

Bisher

- Singuläre, weitgehend unabhängige Betrachtung des Strom-, Wärme- und Kraftstoffmarkts und deren näherungsweise unabhängige optimale Weiterentwicklung
- Maximierung der Erzeugungssicherheit einzelner Anlagen zur Nutzung regenerativer Energien
- (Nahezu) ausschließliche Betrachtung der Klimagas-Emissionen bzw. des Klimagas-reduktionspotenzials der Optionen zur Nutzung regenerativer Energien

Zukünftig

- Integrative Optimierung aller (Teil-) Energiemärkte im gesamten Energiesystem unter Ausnutzung möglicher Synergieeffekte
- Maximierung der Systemsicherheit im Hinblick auf eine möglichst hohe Stromversorgungssicherheit
- Weitergehende, integrative Betrachtung möglichst vieler (aller) Umwelteffekte mit dem Ziel einer zukünftig umfassenden Nachhaltigkeitsbetrachtung

Stromversorgung im Wandel

– Entwicklung und Herausforderungen –



Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE)

Technische Universität Hamburg (TUHH)

Eißendorfer Str. 40; D-21073 Hamburg; Tel. / Fax: 040 – 42878 – 3008 / 2315

Ansprechpartner: Prof. Dr.-Ing. Martin Kaltschmitt

- [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] Statista auf Datenbasis von DEWI, BSW, BMU, Bundesnetzagentur, EEX, BMWI, Fachverband Bio-gas, AGEB und AGEE-Stat; <http://de.statista.com/>
- [3] www.iwr.de; Monatsreport regenerative Energiewirtschaft 07/14 und 12/14
- [4] BDEW-Strompreisanalyse Mai 2016
- [5] Homepage des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Erneuerbare Energien (Stand 2016), <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/eeg-2014,did=623088.html>
- [6] Eigene Simulation auf Basis des aktuellen Netzentwicklungsplans sowie öffentlich zugänglicher Daten der Übertragungsnetzbetreiber: 50Hertz Transmission GmbH Netzkennzahlen, www.50hertz.com, gesehen 25. Februar 2016; Amprion GmbH Netzkennzahlen, www.amprion.de, gesehen 25. Februar 2016; TenneT TSO GmbH Netzkennzahlen, www.tennetso.de, gesehen 25. Februar 2016; TransnetBW GmbH Netzkennzahlen, www.transnetbw.de, gesehen 25. Februar 2016; ENTSO-E - European Network of Transmission System Operators for Electricity, gesehen 25. Februar 2016
- [7] Darstellung des DIW Berlin basierend auf den Netzentwicklungsplänen, „Netzsituation in Deutschland bleibt stabil“, DIW Wochenbericht Nr. 20+21.2013
- [8] Sterner M. und Stadler I.: Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration, Springer (2014)
- [9] Jansen, M.; Richts, C. und Gerhardt, N. et al.: Strommarkt-Flexibilisierung – Hemmnisse und Lösungskonzepte, 2015
- [10] DOE Global Energy Storage Database
- [11] Statista Webpage, Weltweite Preisentwicklung für Lithium-Ionen-Batterien von 2013 bis 2020 (in Euro/kWh), <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/>
- [12] Homepage Westfälische Wilhelms-Universität Münster, EOL-IS Projekt, <http://www.eol-is.de/en/project>, Abruf September 2016