

Modellbasierte Abschätzung des zukünftigen Ausbau- und Einsatzpotenzials für elektrische Wärmeerzeugung in der KWK-Versorgung in Deutschland

Erneuerbare Energie erfolgreich integrieren durch „Power to Heat“
Dialogplattform „Power to Heat“

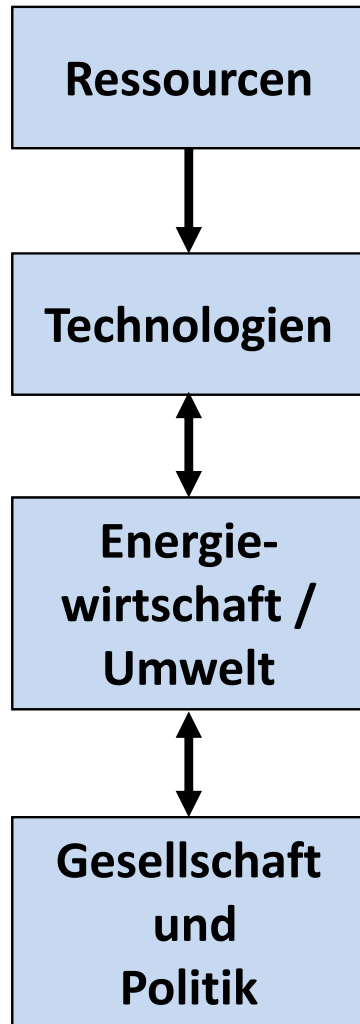
Goslar, 5.-6. Mai 2015

Hans Christian Gils

Wissen für Morgen



DLR-Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung



- Analyse der EE-Ressourcen mit Satellitendaten
- GIS-basierte Bewertung von Standorten/Potenzialen

- Lebenszyklusanalysen, Lernraten
- Kostenanalysen und Kostenminderungspotenziale

- **Modellgestützte Entwicklung und Validierung von Szenarien technologischer Entwicklungspfade unter verschiedenen Rahmenbedingungen**

- Makroökonomische Effekte (z.B. Arbeitsplätze)
- Analysen zur Politikberatung: Marktgestaltung, Markteinführungsstrategien, Förderinstrumente



Einleitung: Motivation und Forschungsfragen

Hintergrund

- Fluktuierende EE-Stromerzeugung benötigt Lastausgleich (Leistung und Arbeit)
- Stromgeführter Betrieb von KWK und Wärmepumpen (WP) kann dazu beitragen
- Technische Voraussetzung sind thermische Speicher (TES)
- Zur Zeit am günstigsten für Niedertemperaturwärme und große Volumina
- Eine mögliche Nutzung von EE-Erzeugungsspitzen ist elektrische Wärme

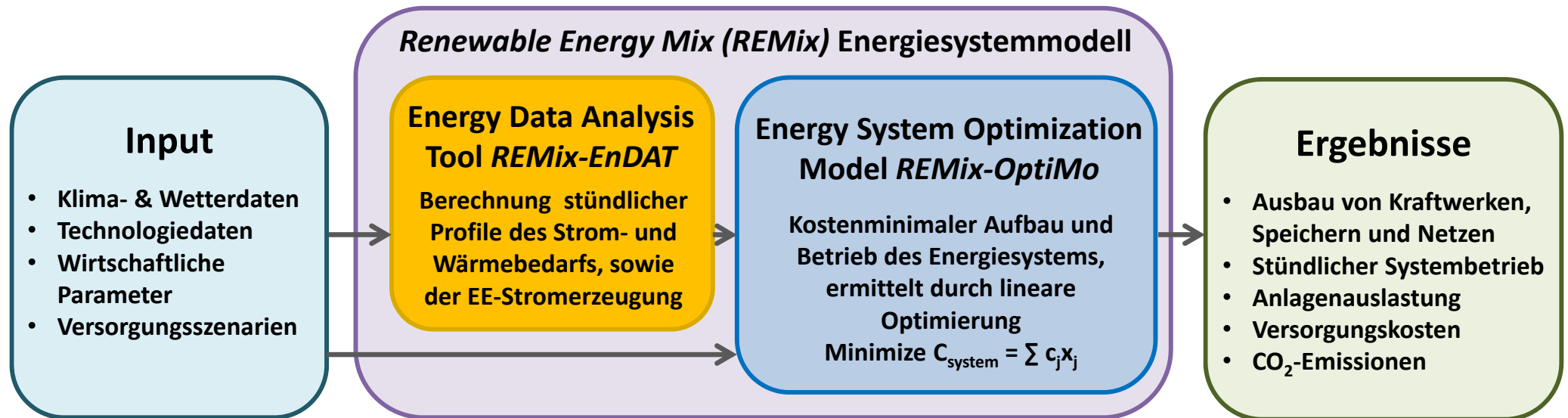
Forschungsfragen

- Ist stromgeführte Wärmeerzeugung volkswirtschaftlich günstiger als Alternativen?
- Welche Rolle spielt dabei zusätzliche elektrische Wärmeerzeugung?
- Wie sind ihre Lastausgleichswirkung und typisches Betriebsverhalten?
- Wie ist die Wechselwirkung mit anderen Lastausgleichsoptionen?
- Welche Kosten- und Emissionsreduktionen sind möglich?



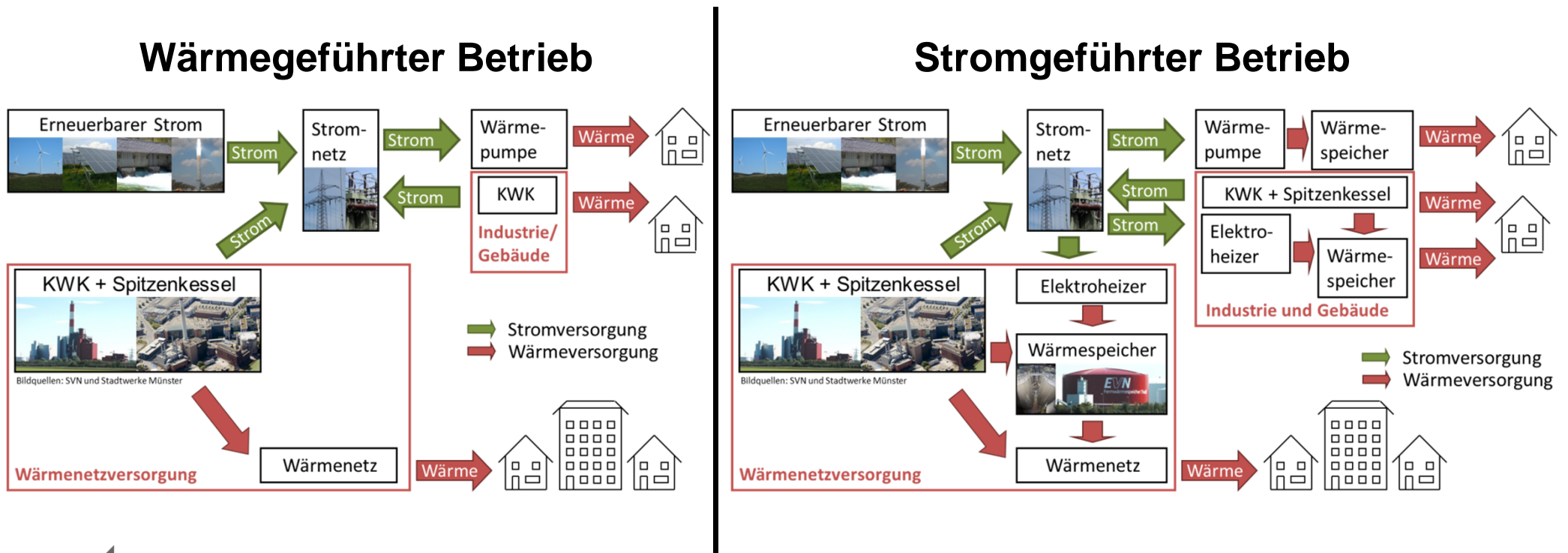
Methodik: DLR-Energiesystemmodell REMix

- Lineares Optimierungsmodell zur Untersuchung von Energieszenarien
- Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten
- Sektorenübergreifende Betrachtung von Strom, Wärme und Verkehr
- Bewertung des stündlichen Systembetriebs während eines Jahres
- Einfache und flexible Handhabung durch graphische Benutzeroberfläche



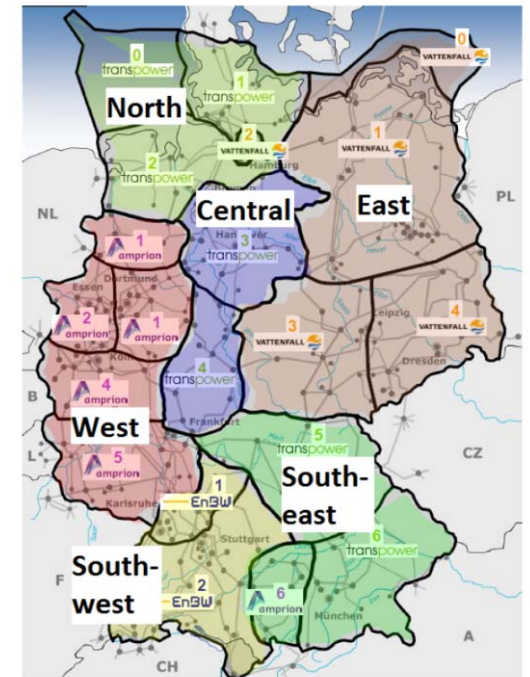
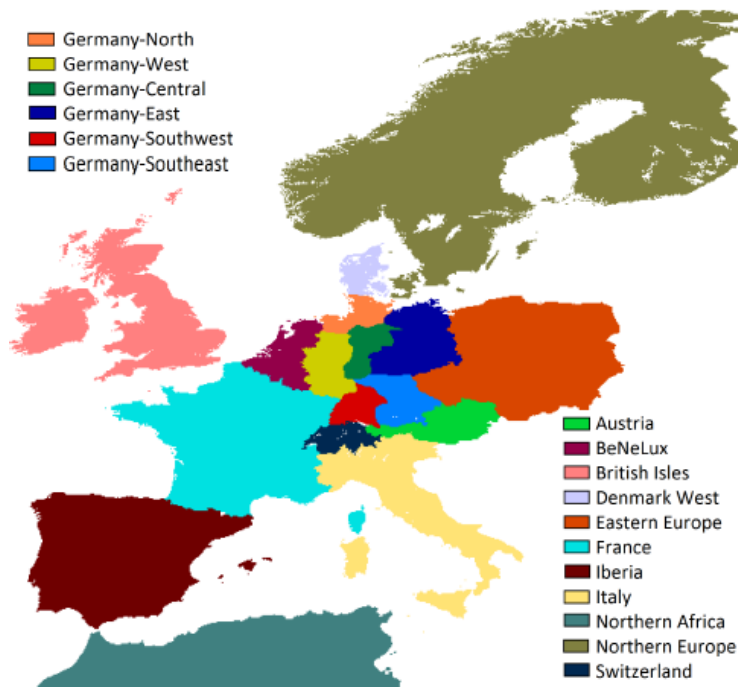
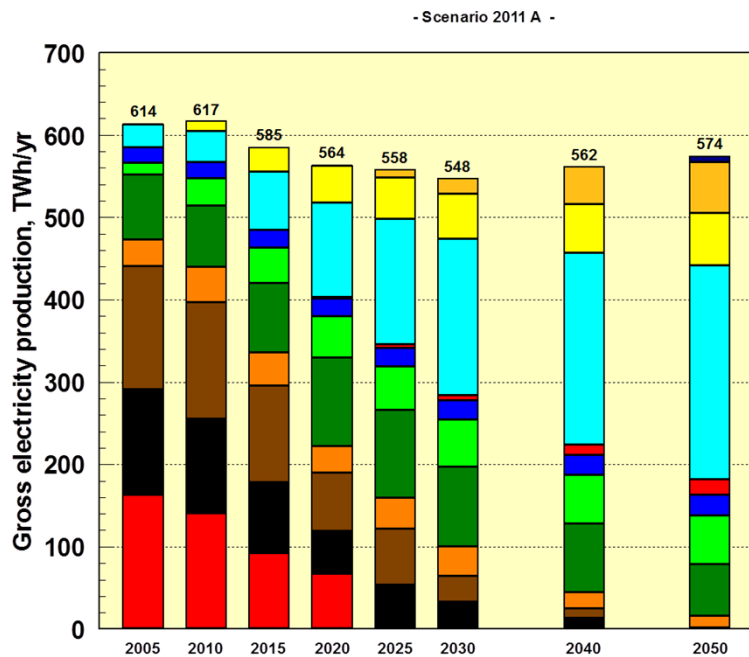
Fallstudie: Vorgehensweise

- Ziel: Analyse des Beitrags stromgeführter Wärmeerzeugung zum Lastausgleich
- Modellendogener Ausbau thermischer Speicher und elektrischer Boiler
- Berücksichtigung eines breiten Spektrums an KWK- und WP-Technologien
- Getrennte Berücksichtigung von Wärmenetzen, Industrie- und Gebäude-KWK
- Beschränkt auf Niedertemperaturwärme ($\vartheta < 100^\circ\text{C}$)



Fallstudie: Untersuchungsrahmen

- Bewertung verschiedener Szenarien
- Fokus auf ein europäisches Stromversorgungssystem mit 80% EE-Anteil
- Betrachtung Deutschlands als Teil eines europäischen Verbunds
- Aufteilung Deutschlands in sechs Regionen für erweiterte Netzbetrachtung
- Analyse basierend auf aktualisierter „*BMU Leitstudie*“ 2012, Szenarien A & C



Fallstudie: betrachtete Szenarien

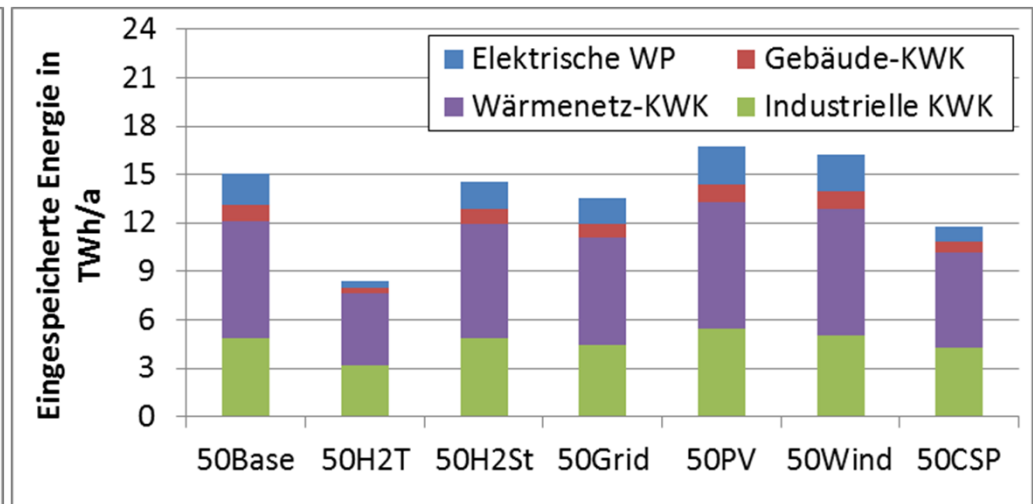
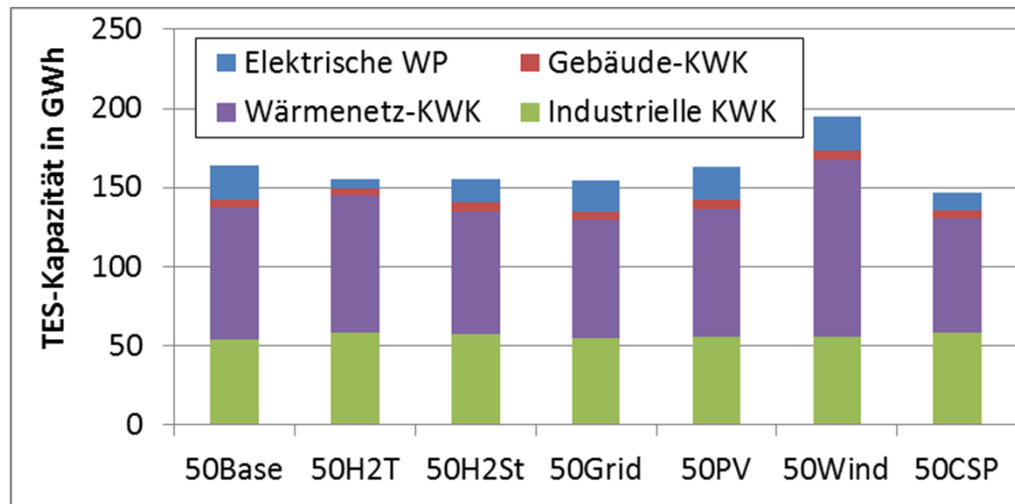
- EE-Leistungen in DE in 2050: PV 76 GW, Wind onshore 55 GW, offshore 35 GW
- Versorgungsanteile: Wärmepumpen 16%, KWK ~25% (Strom) / ~40% (Wärme)
- Variationen hinsichtlich Wind- und PV-Anteilen, Kfz-Antrieben, sowie der Verfügbarkeit von Langzeitspeichern, Netzausbau und regelbarem EE-Stromimport

50Base	50H ₂ T	50H ₂ St	50Grid	50PV	50Wind	50CSP
Referenz-szenario Leitstudie Szenario C 2050	Leitstudie Szenario A 2050 (H ₂ -Nutzung im Verkehr)	Modell- endogener Ausbau von H ₂ - Speichern	Modell- endogener Ausbau zusätzlicher Stromüber- tragungs- leitungen	Erhöhte PV- Leistung von 114 GW, Offshore reduziert auf 25 GW	Erhöhte Onshore- Leistung von 83 GW, Offshore reduziert auf 19 GW	Import regelbaren EE-Stroms aus CSP- Kraftwerken



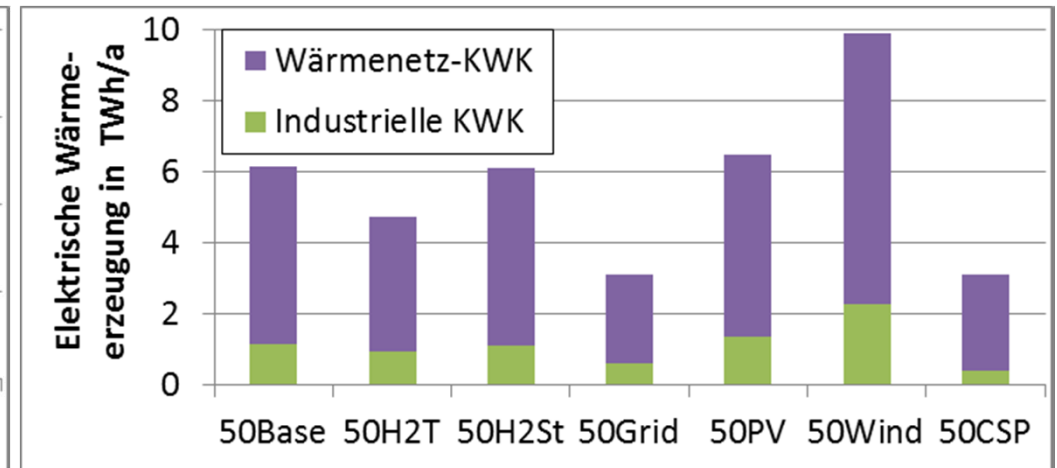
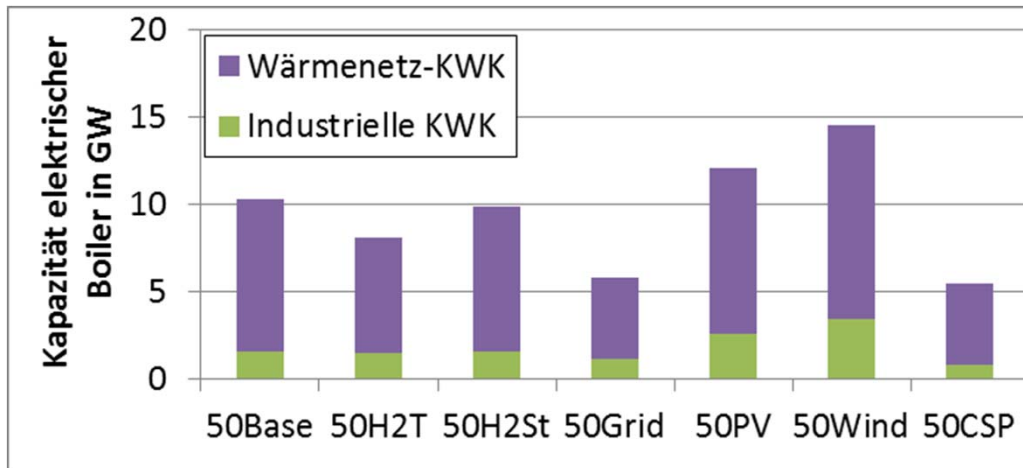
REMix-Ergebnisse: Wärmespeicherausbau und -einsatz

- Über alle KWK/WP-Technologien hinweg werden 150-200 GWh installiert
- Geringe Sensitivität gegenüber Szenariovariationen
- Spezifische Speichergrößen:
 - 4-6 h für industrielle KWK
 - 2-10 h für Wärmenetz-KWK
 - 0.5-3 h für Gebäude-KWK/-WP
- Jährliche Energieeinspeisung zwischen 8 und 17 TWh
- Entsprechend 6-10% des KWK-Wärmebedarfs und 2-4% des WP-Bedarfs
- Deutlich mehr durch andere Ausgleichsoptionen beeinflusst



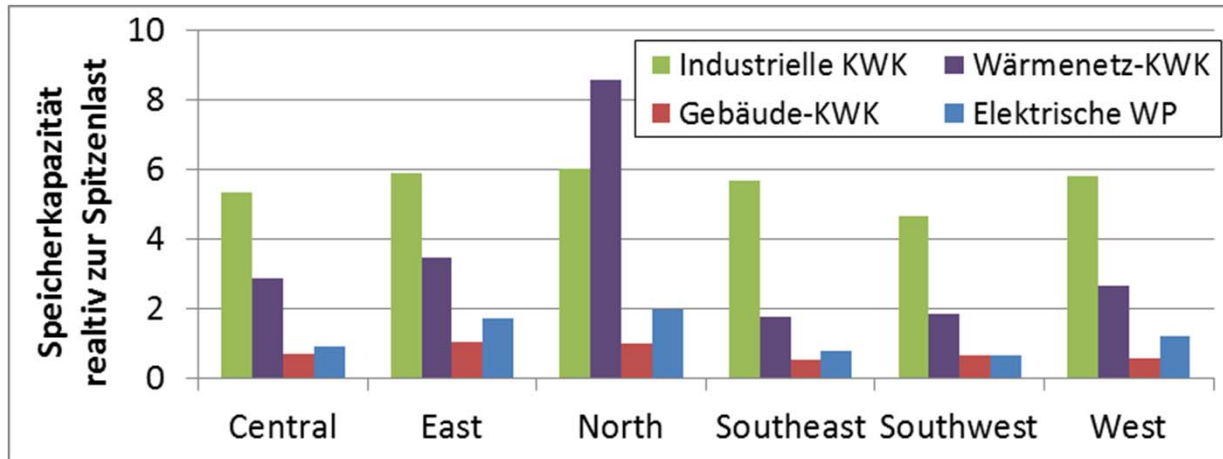
REMix-Ergebnisse: Nutzung elektrischer Wärme

- Gesamtkapazität elektrischer Boiler zwischen 5 und 15 GW
- Deutliche Unterschiede zwischen Szenarien
- Überwiegend in Wärmenetz-KWK
- Jährliche Wärmeerzeugung zwischen 3 und 10 TWh
- Deutlich reduziert durch zusätzliche Netzübertragungskapazität
- Besonders hoch bei erhöhtem Onshore-Windenergieanteil
- Mittlere Volllaststunden von 600 h/a

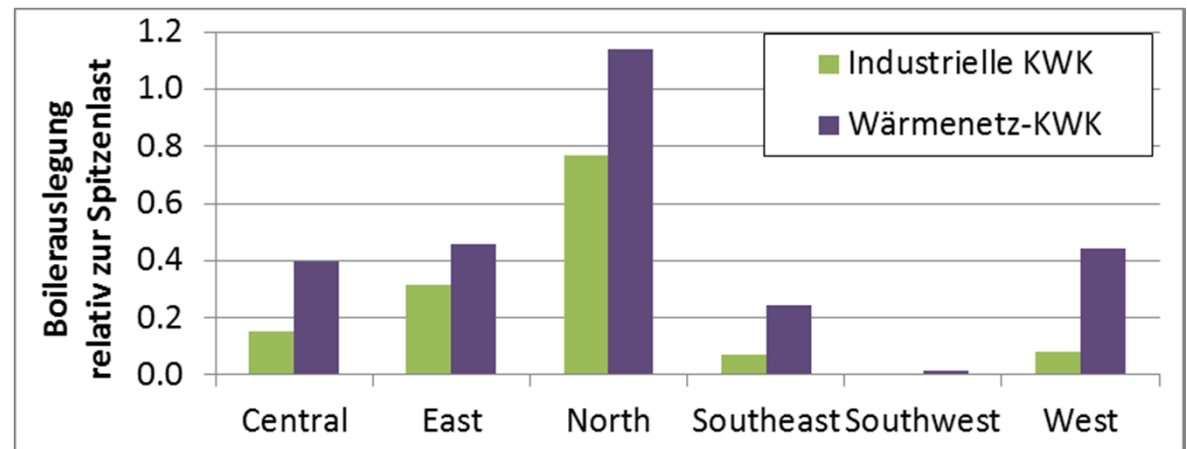


REMix-Ergebnisse: Regionale Effekte

- Regionaler Fokus auf Regionen hoher Windkraftnutzung
- Hohe Kapazitäten im Norden und Osten, geringe im Süden
- Besonders ausgeprägt bei Nutzung elektrischer Wärme

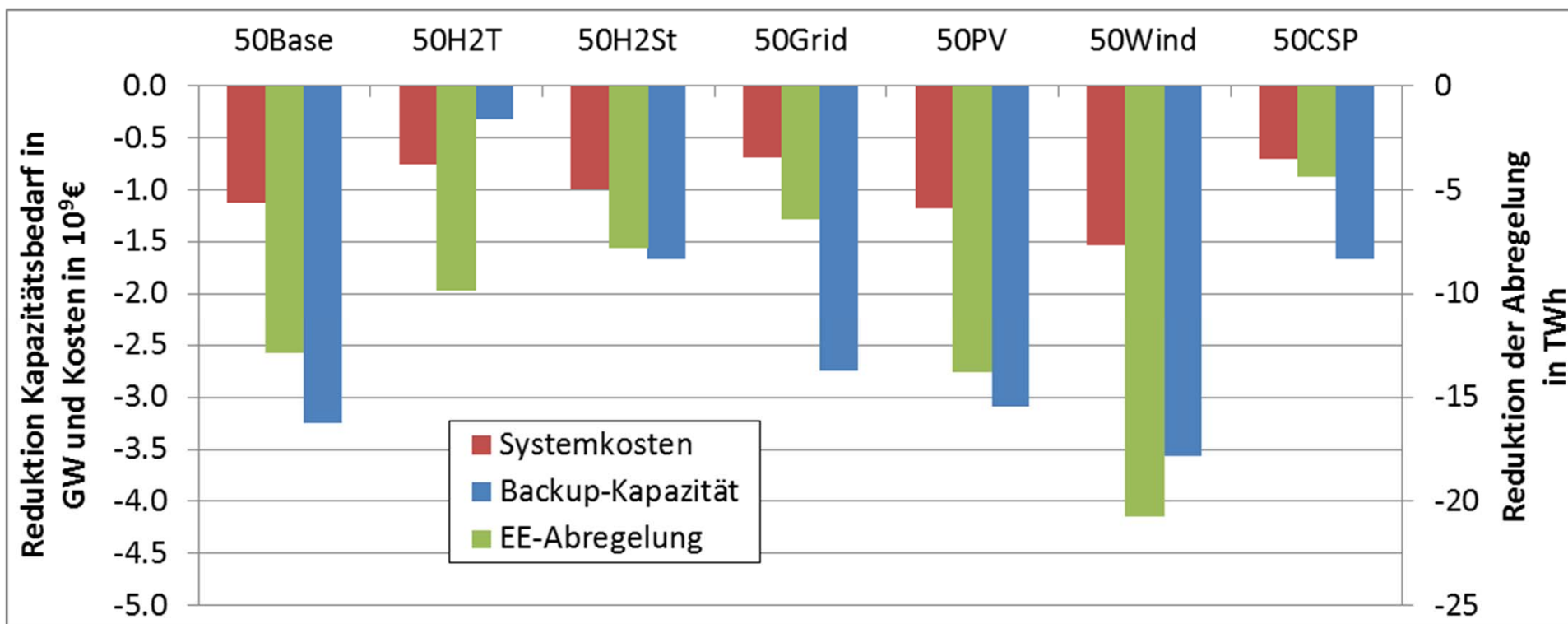


Ergebnisdarstellung für Szenario 50Base



REMix-Ergebnisse: Auswirkungen auf das Gesamtsystem

- Veränderter Betrieb von KWK- und WP-Systemen reduziert...
 - ...jährliche Abregelung um bis zu 21 TWh,
 - ...residuale Spitzenlast und somit Kraftwerksbedarf um bis zu 3.6 GW,
 - ...jährliche Systemkosten um bis zu 1.5 Mrd. € und
 - ...jährliche CO₂-Emissionen um bis zu 4 Mt



Zusammenfassung

- Modellendogener Ausbau von TES und elektrischen Kesseln in allen Szenarien
- Kapazität von TES in geringem, jene von elektrischen Kesseln in hohem Maße abhängig von EE-Versorgungsstruktur und Verfügbarkeit von Netzen/Speichern
- Bis zu 6% der jährlichen Wärmeproduktion werden gespeichert
- Bis zu 5% der jährlichen Erzeugung kommen aus elektrischen Kesseln
- REMix bildet nicht ab, was innerhalb der Regionen passiert. Dort könnte elektrische Wärmeerzeugung zusätzliche Netzentlastung bieten
- Starke Konzentration auf die windreichen Regionen Deutschlands: HGÜ-Verbindungen machen elektrische Wärmeerzeugung im Süden nahezu obsolet
- Nutzung am höchsten im Frühling und Herbst, wenn Windfluktuationen hoch sind, und der Wärmebedarf auf dem Niveau der KWK-/WP-Auslegung ist
- Stromgeführte Wärme senkt Kraftwerksbedarf, Abregelung, Kosten & Emissionen
- REMix-Ergebnisse zeigen weiterhin:
 - Kaum Potenziale in 2020, in 2030 etwa auf dem Niveau von Szenario 50H2T
 - Starke Abhängigkeit von Typ, Größe und Brennstoff der dazugehörigen KWK
 - Nutzung elektrischer Kessel nur gering sensitiv hinsichtlich Investitionskosten
 - Zusätzliche Nutzung elektr. Wärme bei Einsatz von WP in Wärmenetz-TES



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Hans Christian Gils

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung

Wankelstraße 5, 70563 Stuttgart

Tel: +49-(0)711-6862-477, Email: hans-christian.gils@dlr.de



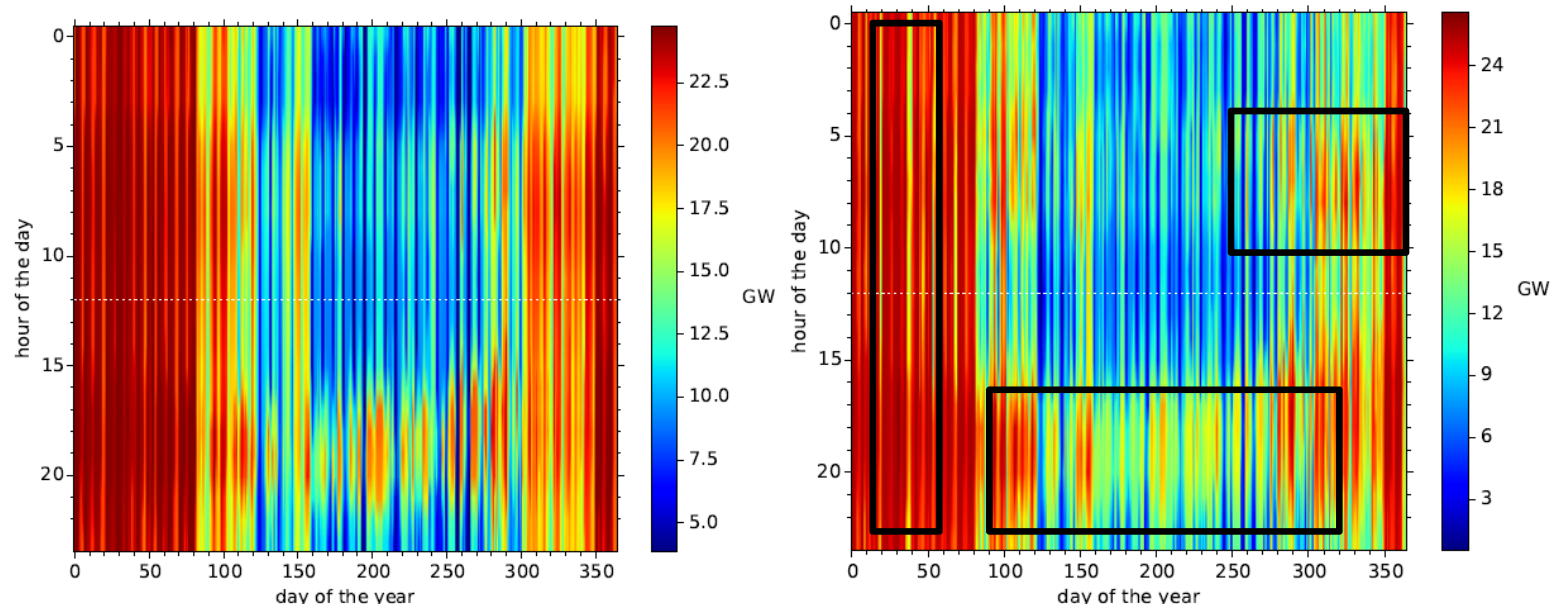
Veröffentlichungen

- Gils, Hans Christian (2015) *Balancing of Intermittent Renewable Power Generation by Demand Response and Thermal Energy Storage*, Dissertation, Universität Stuttgart, submitted.
- Scholz, Yvonne; Gils, Hans Christian; Pregger, Thomas; Heide, Dominik; Cebulla, Felix; Cao, Karl-Kiên,; Hess, Denis; Borggrefe, Frieder (2014) *Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung*. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), DLR-Institut für Technische Thermodynamik Stuttgart.
- Pregger, Thomas; Luca de Tena, Diego; O'Sullivan, Marlene; Roloff, Nils; Schmid, Stephan; Propfe, Bernd; Hülsebusch, Dirk; Wille-Haussmann, Bernhard; Schwunk, Simon; Wittwer, Christof; Pollok, Thomas; Krahl, Simon; Moormann, Andreas (2012) *Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen in einem Versorgungssystem mit hohem Anteil dezentraler und erneuerbarer Energiequellen*. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), DLR-Institut für Technische Thermodynamik Stuttgart. <http://elib.dlr.de/77130/1/BMWi0328005A-C.pdf>
- Nitsch, Joachim; Pregger, Thomas; Naegler, Tobias; Heide, Dominik; Luca de Tena, Diego; Trieb, Franz; Scholz, Yvonne; Nienhaus, Kristina; Gerhardt, Norman; Sterner, Michael; Trost, Tobias; von Oehsen, Amany; Schwinn, Rainer; Pape, Carsten; Hahn, Henning; Wickert, Manuel; Wenzel, Bernd (2012) *Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global*. Gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt (BMU), DLR-Institut für Technische Thermodynamik Stuttgart. http://elib.dlr.de/76043/1/leitstudie2011_bf.pdf
- Gils, Hans Christian (2012) *A GIS-based Assessment of the District Heating Potential in Europe*. 12. Symposium Energieinnovation, 15.-17. Feb. 2012, Graz, Österreich. http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2012/files/lf/LF_Gils.pdf
- Scholz, Yvonne (2012) *Renewable energy based electricity supply at low costs - Development of the REMix model and application for Europe*. Dissertation, Universität Stuttgart. http://elib.dlr.de/77976/1/REMIX_Thesis_YS.pdf



REMix Ergebnisse: Stündlicher Betriebsverhalten

Stündliche KWK-Stromerzeugung in wärmegeführtem (links) und stromgeführtem (rechts) Modus



Stündliche Wärmebereitstellung aus elektrischen Boilern (links) und Wärmespeichern (rechts)

