

Modellgestützte Analyse der Potenziale und Wechselwirkung von Sektorenkopplungstechnologien

Strommarkttreffen, 25.11.2016

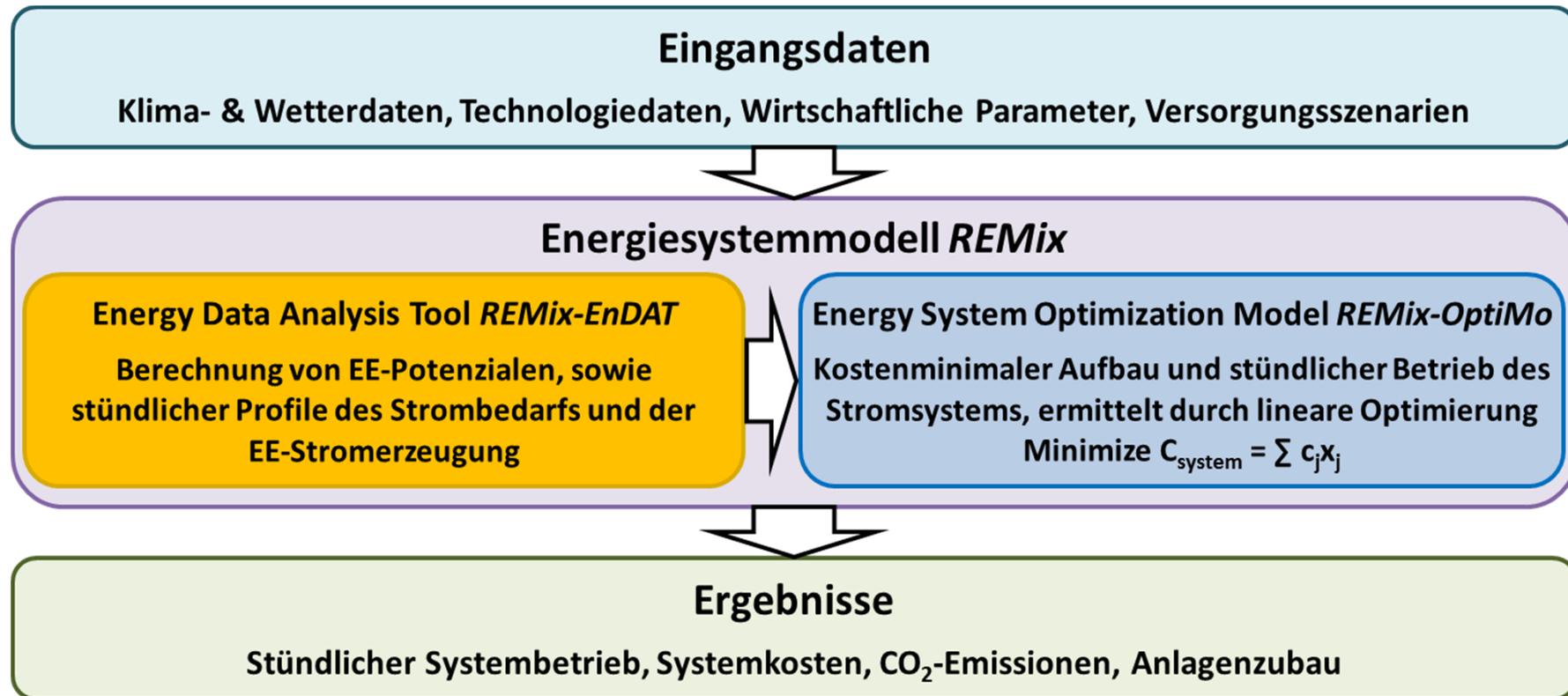
Hans Christian Gils



Wissen für Morgen



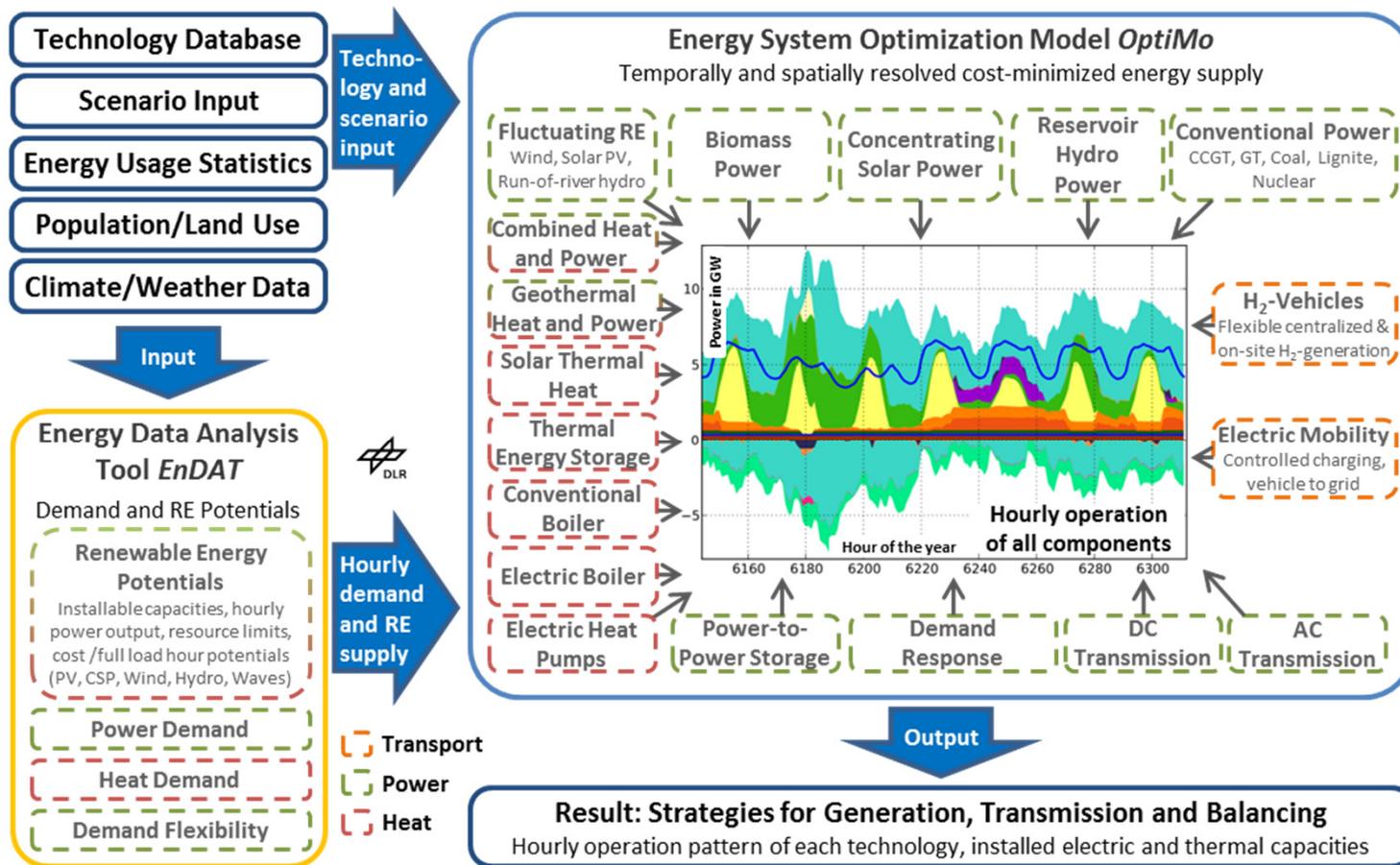
Überblick REMix



- Kostenminimierung, LP-Formulierung in GAMS, Lösung mit CPLEX
- Stündliche Auflösung, typischerweise perfect-foresight für ein Jahr
- Optimierung des Betriebs und Zubaus aller Systemkomponenten
- Zunehmend internationale Anwendung: Kanarische Inseln, Brasilien, USA



Abbildung der Sektorenkopplung in REMix

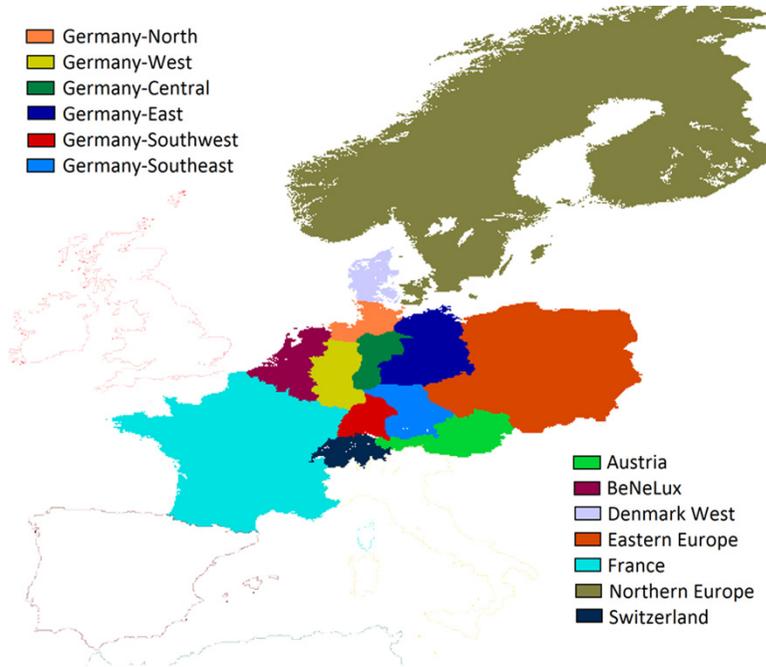


- Vollständige Abbildung des Wärmesektors (Industrie/GHD/Haushalte)
- Batteriefahrzeuge mit Ladesteuerung und Vehicle-to-grid
- Brennstoffzellenelektromobilität mit flexibler Elektrolyse und H₂-Speicher



Fallstudie – Fokus und Ziele

- Fokus: Flexibilisierung von KWK-Versorgung und elektrischen Wärmepumpen
- Analyse der Wirtschaftlichkeit von thermischen Speichern und Elektroheizern
- Bewertung der Wechselwirkung mit alternativen Ausgleichsoptionen
- Quantifizierung der Auswirkung auf Kosten, Abregelung und Back-up-Bedarf



Reine Strom- erzeugung	Öffentliche KWK	Industrie-KWK	Ausgleichs- optionen
Feste Biomasse	Biogas-BHKW	Feste Biomasse	Wechselstromnetz
Geothermie	Erdgas-BHKW	Steinkohle	Gleichstromleitungen
CSP	Feste Biomasse	Braunkohle	Pumpspeicher
Photovoltaik	Entnahme-GuD	Gasturbinen	Wasserstoffspeicher
Offshore Wind	Gegendruck-GuD	Erdgas-BHKW	Flexible Elektrolyse
Onshore Wind	Steinkohle		Lastmanagement
Laufwasser	Braunkohle		Steuerebare E-Mobile
Speicherwasser	Müllverbrennung		Thermische Speicher
Erdgas-GuD	Biogas μ -BHKW		Elektrokessel
Gasturbine	Erdgas μ -BHKW		

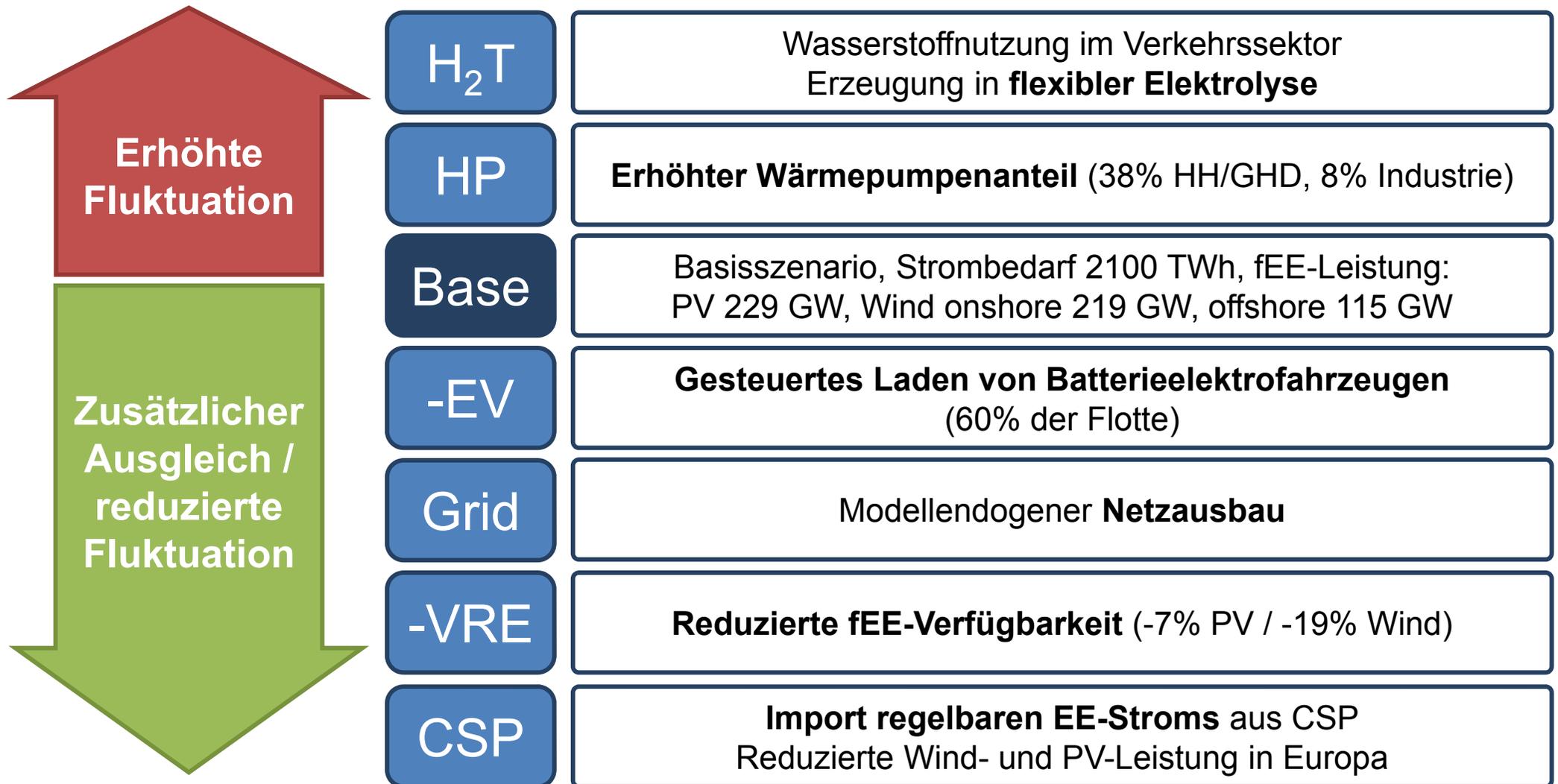


Fallstudie – Vorgehensweise

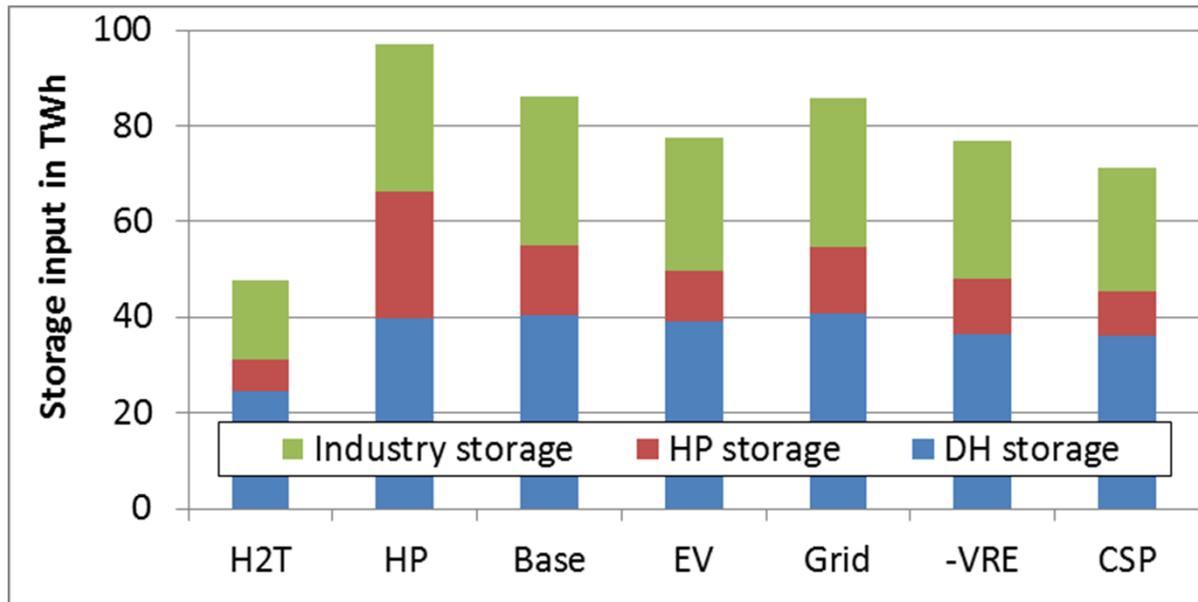
- Szenarioanalyse mit überwiegend vorgegebenem Kraftwerkspark
 - Strom: >80% EE, >60% fEE, ~20% KWK, ~9% Gaskraftwerke
 - Endogener Zubau von Gaskraftwerken als Back-up
- Wärmeversorgung ebenfalls vorgegeben:
 - HH/GHD: 30% Wärmenetze, 5% Objekt-KWK, 21% Wärmepumpen
 - Industrie ($\vartheta < 500^{\circ}\text{C}$): 62% KWK, 4% Wärmepumpen
- Fokus auf dem Ausgleich von EE-Erzeugungsfuktuationen
 - Vergleich von Systemen mit/ohne stromgeführter Wärmeerzeugung
 - Ausbauoptimierung von thermischen Speichern und Elektroheizern



Fallstudie – Varianten zu alternativen Ausgleichsoptionen



REMIX-Ergebnisse – Wärmespeichernutzung

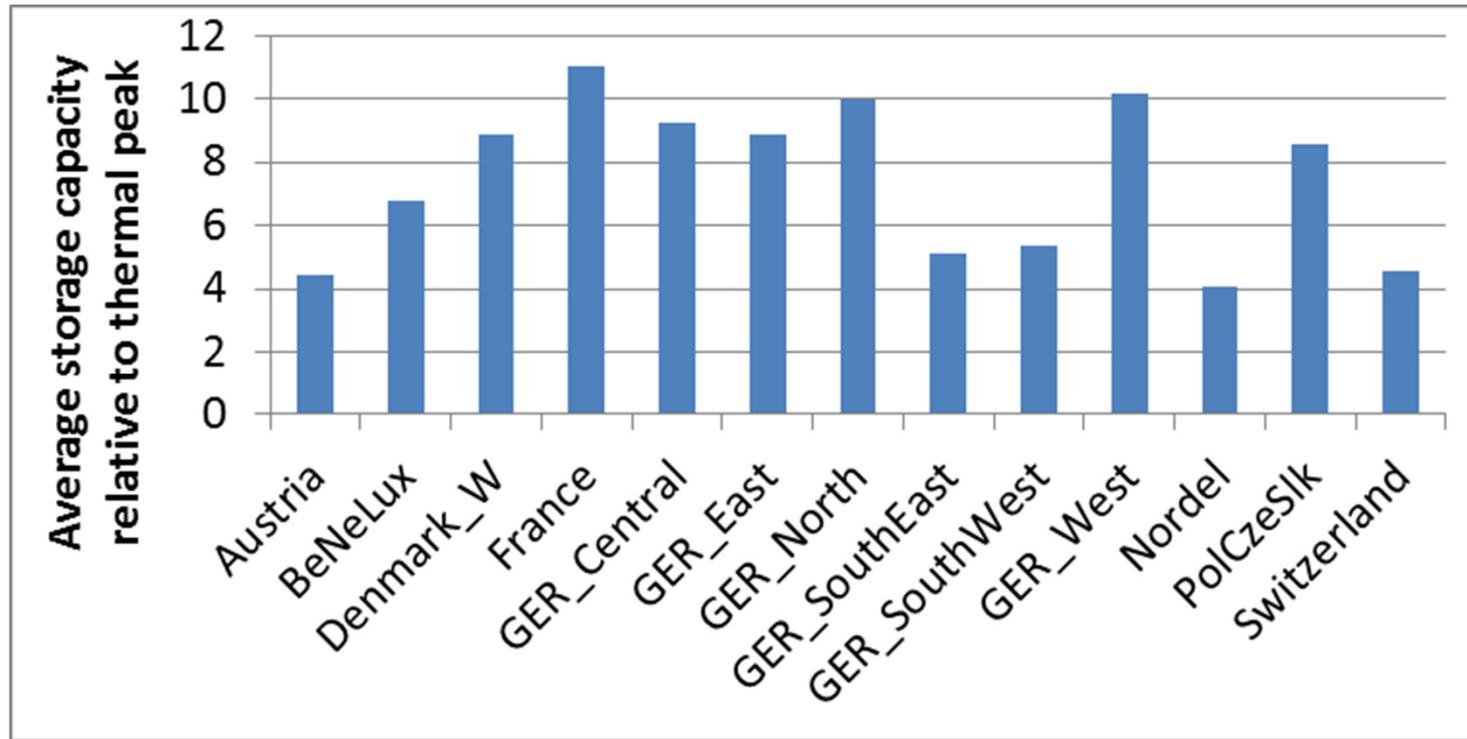


H2T – Flexible Elektrolyseure
 HP – Zusätzliche Wärmepumpen
 Base – Basisszenario
 EV – Ladesteuerung E-Mobilität
 Grid – Netzausbau
 -VRE – Reduzierte fEE-Erzeugung
 CSP – CSP-Import

- Endogenes Investment in Wärmenetzspeicher von 500-600 GWh
- Exogen: weitere 200 GWh in der Industrie, 140 (260) GWh mit Wärmepumpen
- Etwa 10% des jährlichen Wärmenetzbedarfs gehen durch den Speicher
- CSP und Lastmanagement (Elektrolyseure, Batterie-Fzg.) senken Potential
- Zusätzliche Wärmepumpen wirken sich nicht auf Wärmenetzspeicher aus



REMix-Ergebnisse – Wärmespeicherauslegung

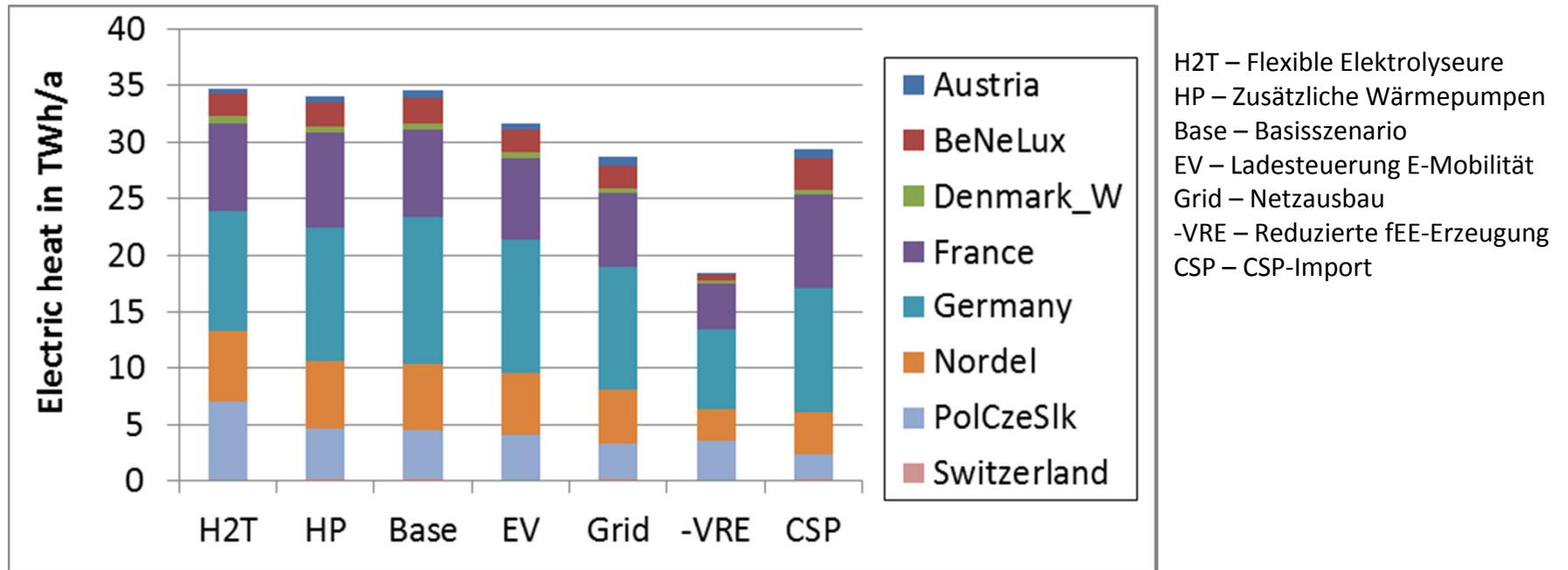


Ergebnisse des Basisszenarios

- Potenzial beeinträchtigt durch Wasserkraft und begünstigt durch Windkraft



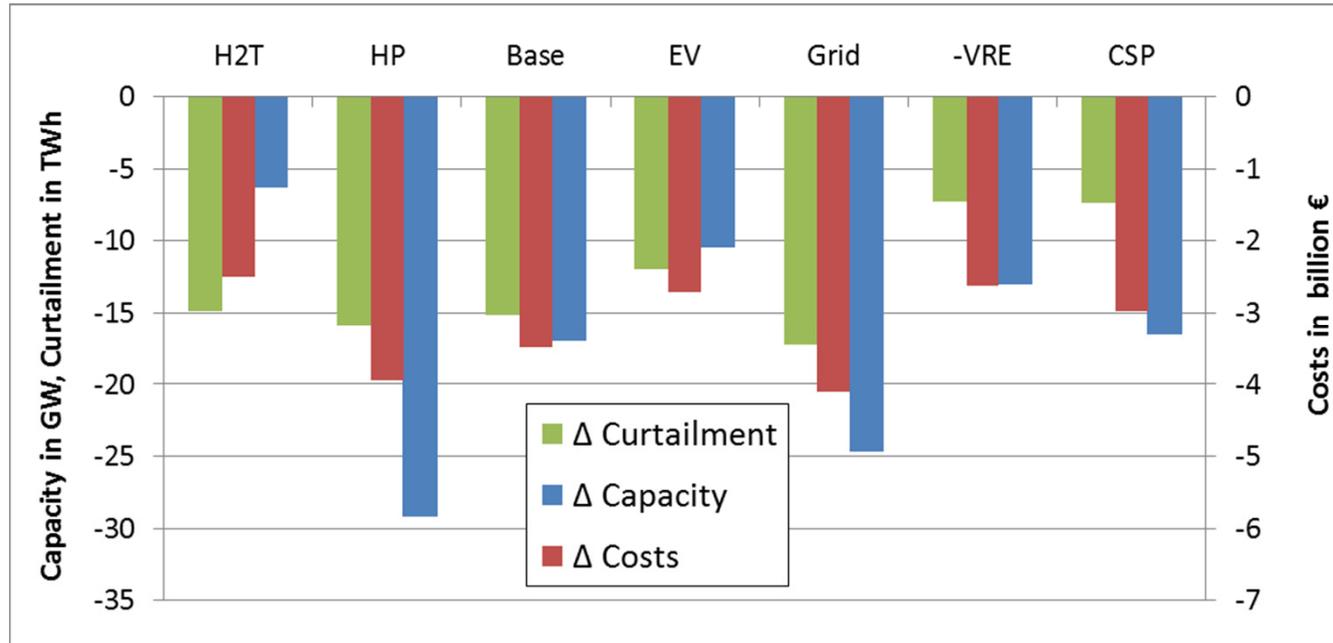
REMIX-Ergebnisse – Elektroheizer in Wärmenetzen



- Endogenes Investment in Elektrokessel von bis zu 43 GW (el)
- Deutliche geringere Werte nur in Szenarien mit weniger fEE (CSP/-VRE)
- Einsatz geringfügig beeinträchtigt durch CSP, Netzausbau und Ladesteuerung
- Elektrolyseure und Wärmepumpen nehmen zusätzliche fEE vollständig auf
- Wahl des Wetterjahres hat wesentlichen Einfluss



REMix-Ergebnisse – Systemeffekte



H2T – Flexible Elektrolyseure
 HP – Zusätzliche Wärmepumpen
 Base – Basisszenario
 EV – Ladesteuerung E-Mobilität
 Grid – Netzausbau
 -VRE – Reduzierte fEE-Erzeugung
 CSP – CSP-Import

- Referenz: Kosten 86-107 Mrd. €, Abregelung 11-23 TWh, Back-up 96-163 GW
- Maximale Reduktionen
 - Kosten: 4,1 Mrd. € (4,3%) in *Grid*
 - Abregelung: 17 TWh (71%) in *Grid*
 - Back-up: 29 GW (18%) in *HP* (v.a. durch Wärmepumpenflexibilisierung)
 - Emissionen (~2%)



Fazit und Diskussion

- Stromgeführte Wärme kostensenkend in allen Szenarien
- Kostenoptimale Wärmespeicherauslegung abhängig vom KWK-System
- Wechselwirkung mit Erzeugung und Ausgleich
 - Netzausbau wirkt positiv auf stromgeführte Wärme
 - Ladesteuerung und flexible Elektrolyse verdrängen Wärmespeicher nicht
 - Starker Einfluss des Wetterjahrs
- Sektorenkopplung begünstigt fEE-Integration
 - Wärmespeicherausbau parallel zu fEE-Ausbau vorantreiben
 - Hohes Potential elektrischer Wärmeherzeugung aus EE-Spitzen
- Keine umfassende Betrachtung aller Sektorenkopplungsoptionen
- Einsatz auf kleineren räumlicher oder zeitlichen Skalen nicht bewertet
- Erweiterung auf 100% EE-Szenarien nötig



Ausblick: Modellbasierte Analyse der Integration erneuerbarer Stromüberschüsse durch die Kopplung der Stromversorgung mit Wärme-, Gas- und Verkehrssektor (Multi-Sektor-Kopplung, MuSeKo)

- REMix-Erweiterung mit Fokus Sektorenkopplung
- Einbindung des Gassektors
- Kombination mit Modell zu betriebswirtschaftlicher Optimierung (MuGriFlex)
- Analyse von Wirtschaftlichkeit, regulatorischen Rahmenbedingungen, Investitionsanreizen, Systemeffizienz, CO₂-Emissionen, Gestehungskosten...
- Laufzeit 07/2016-06/2019

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



MuSeK



Kontakt:

Hans Christian Gils

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung

Wankelstraße 5 | 70563 Stuttgart

0711 6862-477 | hans-christian.gils@dlr.de

www.DLR.de/tt



Veröffentlichungen

Gils, H. C. (2012). A GIS-based Assessment of the District Heating Potential in Europe. Proceedings of the 12th Symposium Energy Innovation. https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/Events/Eninnov2012/files/lf/LF_Gils.pdf

Naegler, T., Simon, S., Klein, M., and Gils, H. C. (2015). Quantification of the European industrial heat demand by branch and temperature level. International Journal of Energy Research, 39:2019–2030. <http://dx.doi.org/10.1002/er.3436>

Gils, H. C. Balancing of intermittent renewable power generation by demand response and thermal energy storage (2015), PhD thesis, University of Stuttgart, <http://dx.doi.org/10.18419/opus-6888>

Scholz, Y.; Gils, H.C.; Pietzcker, R. (2016) Application of a high-detail energy system model to derive power sector characteristics at high wind and solar shares, Energy Economics, in Press. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2016.06.021>

Gils, H.C, Scholz, Y., Pregger, T., Luca de Tena, D. and Heide, D. (2017) Integrated capacity expansion and operation modelling for variable renewable energy based power supply in Europe,” Energy, submitted for publication.

Gils, H. C. Economic potential for future demand response in Germany – Modelling approach and case study. Applied Energy, 2016, 162, 401 – 415. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.083>

Gils, H.C.; Simon, S. (2017) Carbon neutral archipelago – 100% renewable energy supply for the Canary Islands, Applied Energy, submitted for publication.

Pregger, T., Luca de Tena, D., O’Sullivan, M., et al. Perspektiven von Elektro-/Hybridfahrzeugen in einem Versorgungssystem mit hohem Anteil dezentraler und erneuerbarer Energiequellen, Projektbericht für das BMWi, 2012

Scholz, Y., Gils, H.C., Pregger, T., et al. Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender Stromerzeugung, Projektbericht für das BMWi, 2014

