Entwicklung von Szenarien einer vollständig erneuerbaren Energieversorgung mit räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Modellierung

10. Internationale Energiewirtschaftstagung

Wien, 15. Februar 2017

Hans Christian Gils, Sonja Simon, Tobias Fichter



DLR

Zielsetzung

- Entwicklung von konsistenten Entwicklungspfaden zu einer (fast) vollständig auf 100% erneuerbarer Energie (EE) basierenden Energieversorgung in 2050
- Anwendung der Methodik auf die Kanarischen Inseln und Brasilien



Methodik der Szenarienentwicklung: Integration von Simulation (MESAP) und Optimierung (REMix)

Gemeinsame Eingangsdaten und Technologieabbildung

Input: Energiestatistiken, Bevölkerung, BIP, Landnutzung, Wetterdaten

Technologien: Strom- und Wärmeerzeugung, Transport, Lastausgleich

REMix-EnDAT

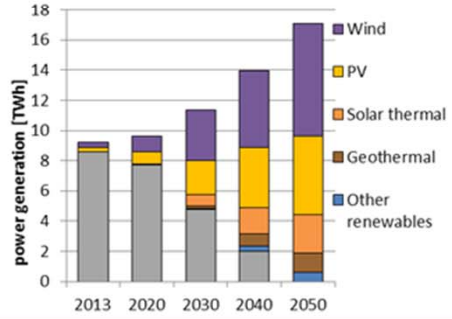
EE-Potenziale

Stündlicher Energiebedarf

MESAP-PlaNet

Energiesystemsimulation für normative Szenarien

Transformationspfade



Energiebedarfsentwicklung

Anlagenpark im Zieljahr

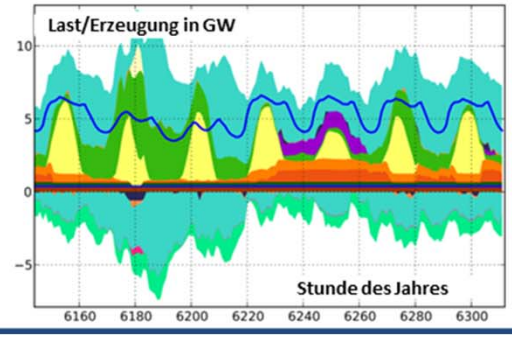
Modellkopplung

DLR

REMix-OptiMo

Optimierung der Versorgung in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung

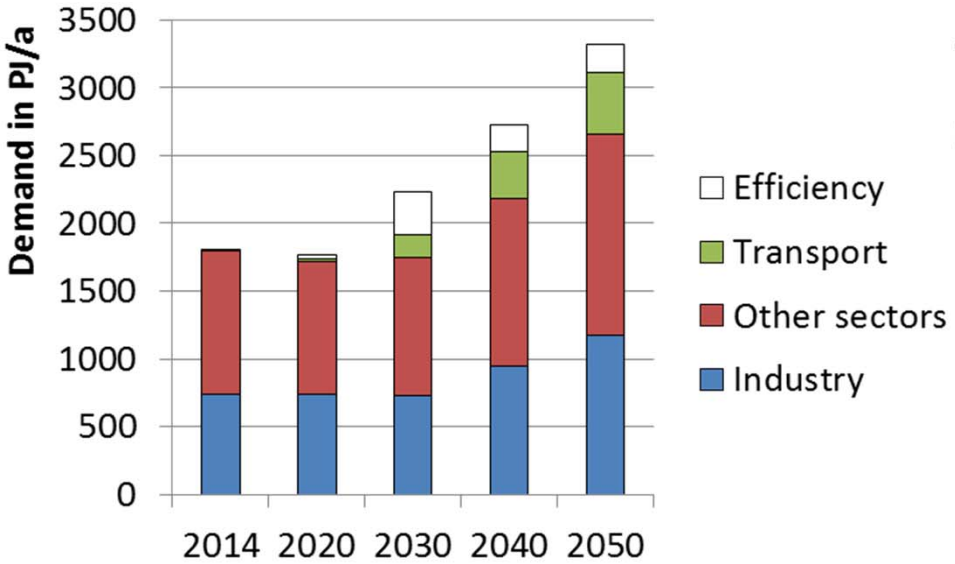
Anlagenzubau und -einsatz

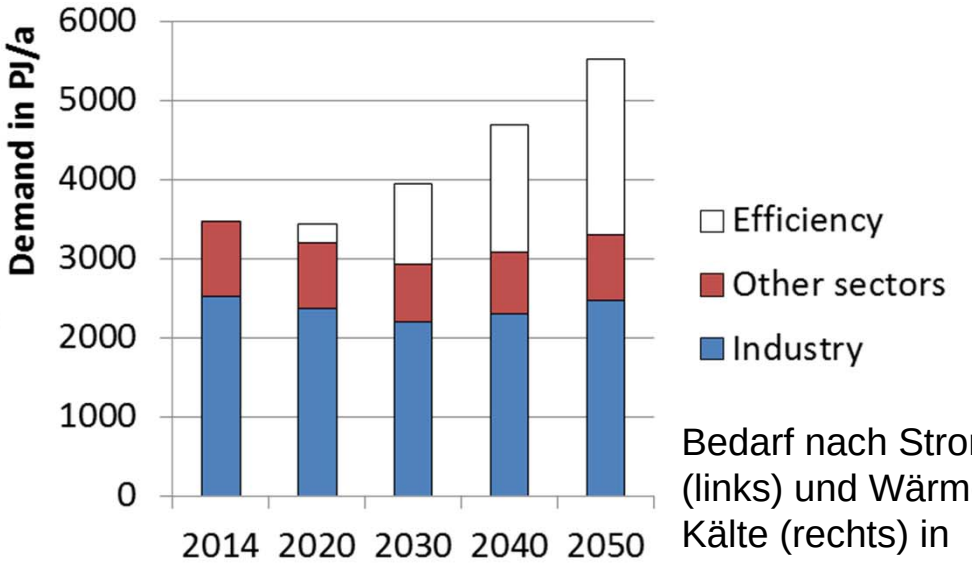


DLR



Abschätzung der Entwicklung des Energiebedarfs





Bedarf nach Strom (links) und Wärme/ Kälte (rechts) in Brasilien

- Berücksichtigung von Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung
- Effizienzpotenziale bei Nutzung heutiger Best-Available-Technologies
- Abschätzung zukünftigen Strom-, Wärme-, und Mobilitätsbedarfs
- Festlegung der Rolle von Strom und synthetischem H_2 in Wärme und Verkehr
- Vergleich mit Business-as-usual Referenzszenario

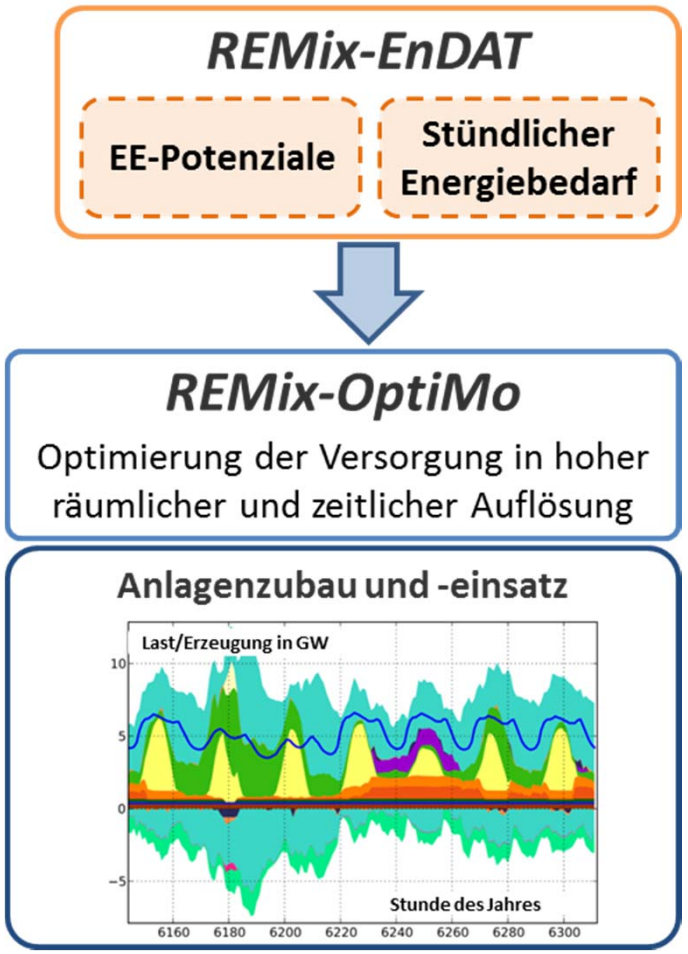


Sektorenübergreifende Optimierung für Zieljahr 2050

- Globales EE-Ressourcenarchiv in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung

- Minimierung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten mit linearer Optimierung: **min $C_{system} = \sum c_j x_j$**
- Integrale Optimierung des Betriebs und Zubaus aller Systemkomponenten

- Anlagenzubau, stündlicher Systembetrieb, Systemkosten, CO_2-Emissionen





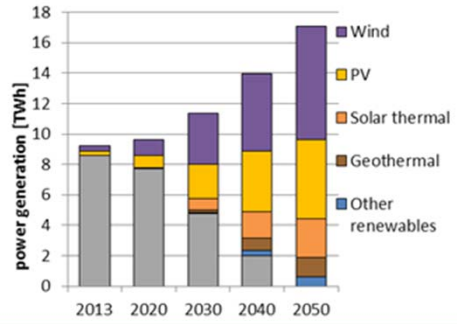
Zielorientierte Ableitung des Ausbaupfades

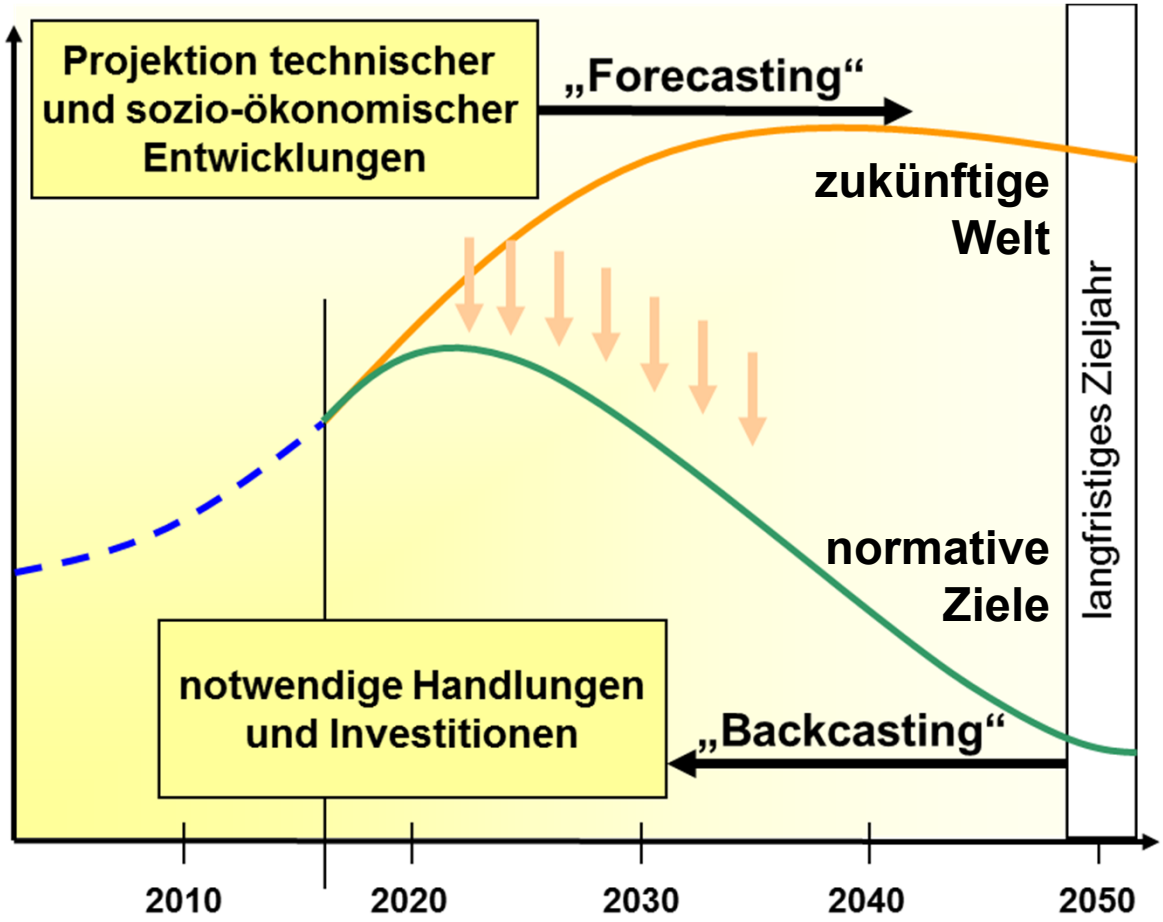
- Entwicklung eines Pfads vom aktuellen zum kostenoptimalen System in 2050
- Separate Betrachtung von Strom-, Wärme- und Verkehr

MESAP-PlaNet

Energiesystemsimulation für normative Szenarien

Transformationspfade





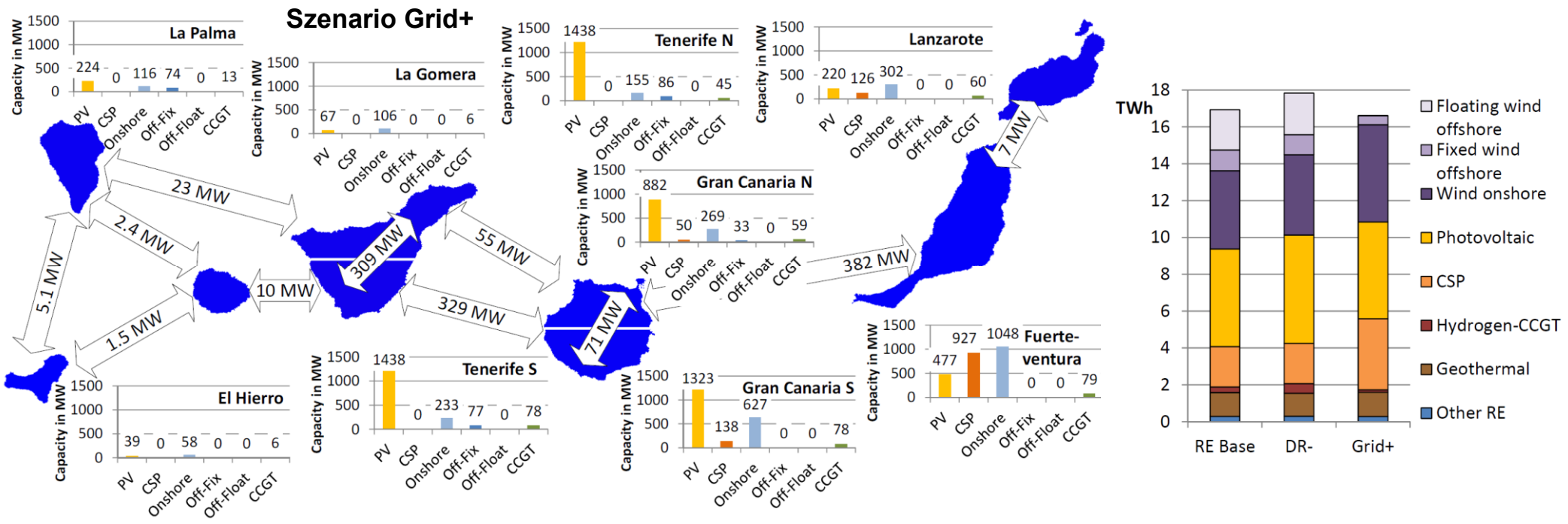


Fallstudien: Kanarische Inseln und Brasilien

	Kanarische Inseln	Brasilien
Biomassepotenziale	-	+++
PV-Potenziale	+	++
CSP-Potenziale	+	++
Windpotenziale	+	++
Wasserkraftpotenziale	-	+++
Geothermiepotenziale	+	-
Lastmanagement	++	+
Stromnetzausbau	o	+
Flexibles Power-to-Heat	+	+
Flexible H_2-Elektrolyse	+	o



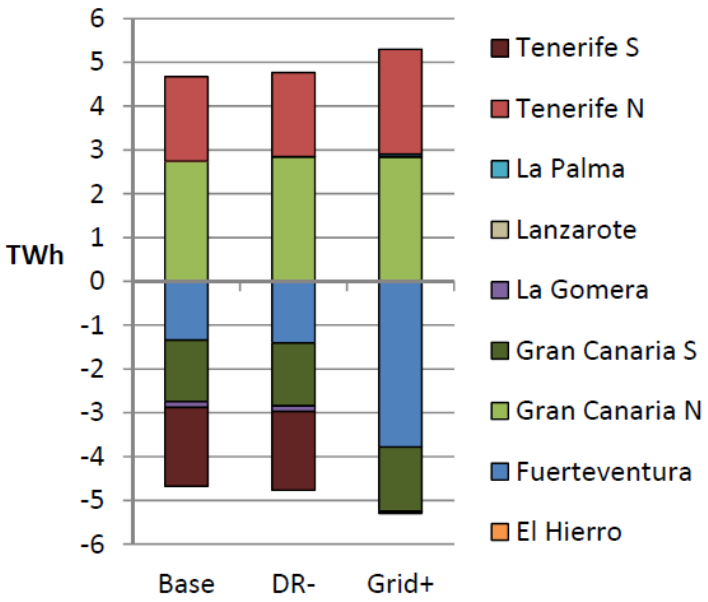
Ergebnisse: Stromversorgung Kanaren in 2050

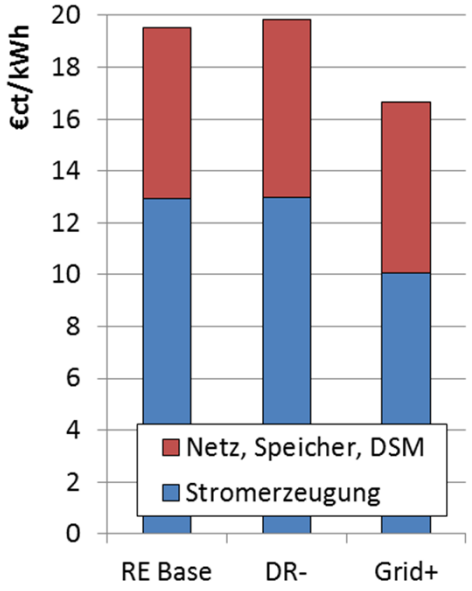


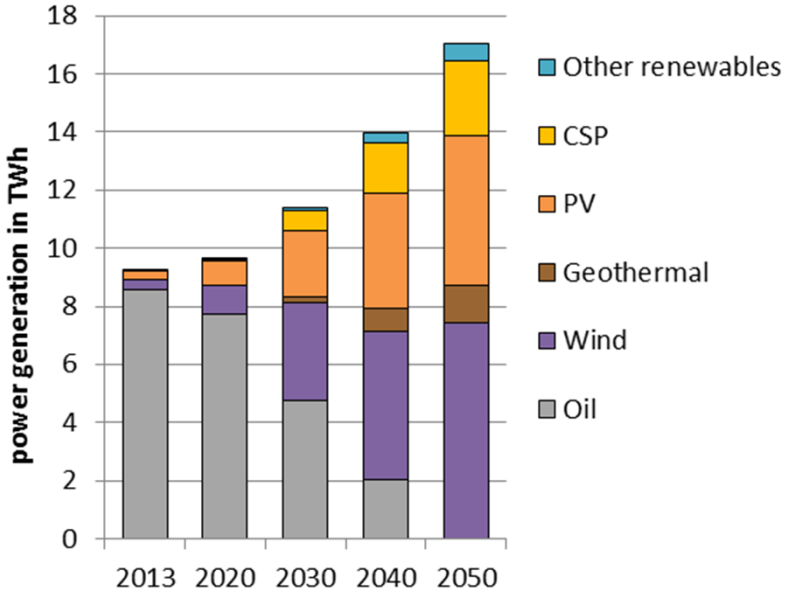
- PV und Onshore-Wind-Potenziale werden auf fast allen Inseln ausgeschöpft
- Netzverfügbarkeit begünstigt CSP und Onshore-Wind (Szenario Grid+)
- Rückverstromung von H_2 benötigt
- Deutlich höherer Strombedarf, wenn kein DR nutzbar (Szenario DR-)



Ergebnisse: Stromversorgung Kanarische Inseln



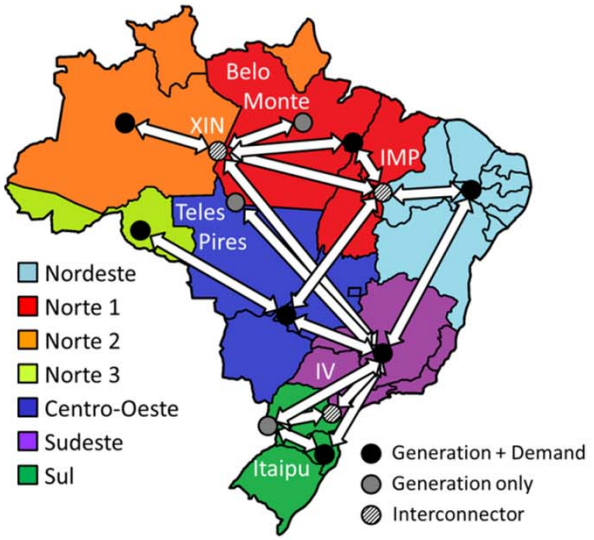


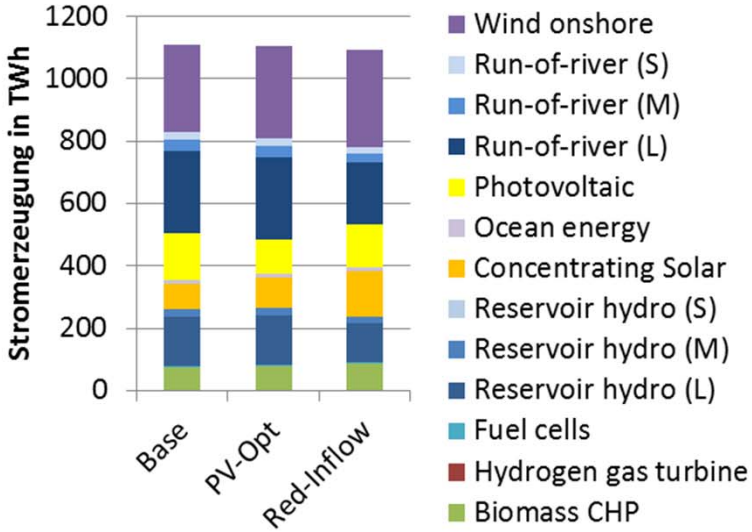


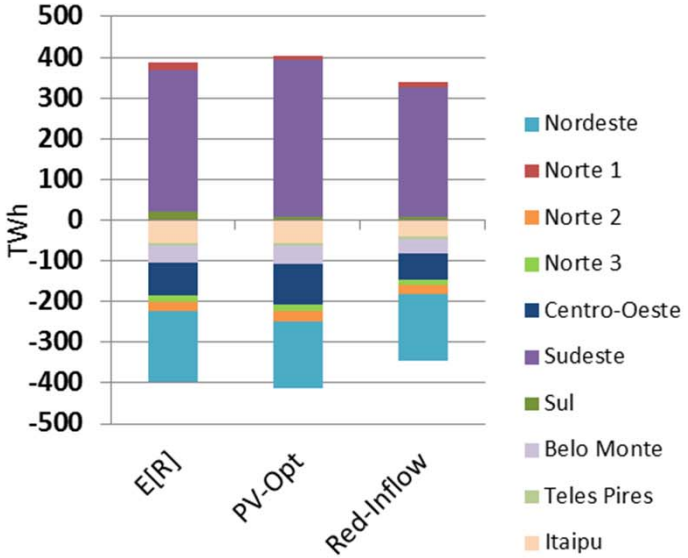
- Etwa 25% der Erzeugung wird in einer anderen Region genutzt
- Lastmanagement und Speichernutzung erreichen etwa 15% der Erzeugung
- Kostensenkung: 15% durch zusätzliche Seekabel, 2% durch Lastmanagement



Ergebnisse: Stromversorgung in Brasilien in 2050







- Kein modellendogener Ausbau von Wasserkraftwerken
- Vielfältiger Mix aus Wasser, Biomasse, Wind und Solar kostenoptimal
- Hoher Import aus dem Nordosten in den Südosten
- Flaches Kostenminimum bzgl. Anteilen und Verteilung von Wind, PV und CSP
- Reduzierte Wasserverfügbarkeit begünstigt vor allem CSP (Szen. Red-Inflow)



Schlussfolgerungen

- Verbesserte Szenarienentwicklung durch Modellkopplung
- Modellierung der Sektorenkopplung erhöht Aussagekraft
- Vorteil der Nutzung eines hoch aufgelösten globalen EE-Ressourcenarchiv

- EE-Potenziale ausreichend für 100%-Versorgung von den Kanaren und Brasilien

- Netzverbindungen wesentlich für Kosteneffizienz der Versorgung der Kanaren
- Gesicherte Leistung aus CSP, Geothermie und H_2-Rückverstromung

- Wind, PV und CSP in Brasilien günstiger als Wasserkraftausbau
- Technologiewahl und räumliche Verteilung muss nicht kostenbestimmt erfolgen



Relevante Veröffentlichungen:

Krewitt, W., Simon, S., Graus, W., Teske, S., Zervos, A., Schäfer, O. (2007) The 2°C scenario - A sustainable world energy perspective. Energy Policy;35: 4969-80. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.04.034

Krewitt, W., Teske, S., Simon, S., Pregger, T., Graus, W., Blomen, E., et al. (2009) Energy [R]evolution 2008 - a sustainable world energy perspective. Energy Policy;37: 5764-75. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.042

Stetter, D. (2014) Enhancement of the REMix energy system model: global renewable energy potentials, optimized power plant siting and scenario validation. PhD thesis, University of Stuttgart; 2014, http://dx.doi.org/10.18419/opus-6855

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

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

Gils, H.C. and Simon, S. (2017) Carbon neutral archipelago – 100% renewable energy supply for the Canary Islands, Applied Energy, 188: 342-355. http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.023

Fichter, T., Soria, R., Szklo, A., Schaeffer, R., Lucena, A.F.P. (2017) Assessing the Potential Role of Concentrated Solar Power (CSP) for the Northeast Power System of Brazil Using a Detailed Power System Model. Energy, 121: 695-715. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.012

Gils, H.C, Scholz, Y., Pregger, T., Luca de Tena, D., Heide, D. (2017) Integrated modelling of variable renewable energy-based power supply in Europe. Energy, 123: 173-188. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.115

Simon, S., Naegler, T., Gils, H.C. (2017) Transformation towards a renewable energy system in Brazil and Mexico – an overview of technological and structural options for Latin America, Renewable and Sustainable Energy Reviews, submitted for publication.

Kontakt:

Dr. Hans Christian Gils

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Institut für Technische Thermodynamik
Systemanalyse und Technikbewertung | Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart
Telefon 0711 6862-477 | hans-christian.gils@dlr.de

