Resilienz von Klimaschutzstrategien und ihre Implikationen für Klimaschutzszenarien

Dr. Larissa Doré | Wuppertal Institut
Dr. Danial Esmaeili Aliabadi | Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Dr. Bernhard Stoevesandt | Fraunhofer IWES
Christine Krüger | Wuppertal Institut

Hintergrund & Motivation







- Klimaschutzszenarien dienen als Entscheidungsgrundlage für den Umbau zu einem THG-neutralen Energiesystem
- Klimawandelfolgen haben Einfluss auf die Resilienz des Energiesystems, werden jedoch nicht umfassend und systematisch in Klimaschutzszenarien berücksichtigt

→ Wie beeinflusst Klimawandel die Gestaltung eines resilienten, THG-neutralen Energiesystems?

→ Wo besteht Forschungsbedarf zur Verbesserung von Klimaschutzszenarien unter Klimawandel?

Themen für den Vortrag heute

Wuppertal Institut

Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem und Forschungsbedarf zur Verbesserung von Klimaschutzszenarien

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung unter Klimawandel: Implikationen für das deutsche Energiesystem

Fraunhofer IWES

Exkurs:
Resilienz über Klimawandelfolgen hinaus – Beispiel Offshore-Windenergie

Themen für den Vortrag heute

Wuppertal Institut

Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem und Forschungsbedarf zur Verbesserung von Klimaschutzszenarien

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung unter Klimawandel: Implikationen für das deutsche Energiesystem

Fraunhofer IWES

Exkurs:
Resilienz über Klimawandelfolgen hinaus – Beispiel Offshore-Windenergie

Wuppertal Institut

Veränderungen in der Erzeugung und Umwandlung von Energie durch Wettercharakteristika

Veränderungen im Energiesystem durch den Klimawandel

- Veränderte Windmuster
- Höhere Solarstrahlung
- Kühlwassermangel
- Hitze ändert Wirkungsgrade von energietechnischen Anlagen

Forschungsbedarfe für Klimaschutzszenarien

- Verwendung meteorologischer Datensätze aus Klimamodellen in Energiesystemmodellen
- Abbildung von Temperaturabhängigkeiten
- Untersuchung von gleichzeitigen Extremen (Wirkung Hitze auf Nachfrage, Erzeugung und Netze; Windstille bei Hitze; ...)

Gefördert durch STIFTUNG MERCATOR

Physische Zerstörungen durch Hitze, Dürren, Extremniederschläge, Überschwemmungen, Brände, ...

Veränderungen im Energiesystem durch den Klimawandel

- Erosions- und Unterspülungsschäden an Straßen und Schienenwegen durch Starkregen und Hochwasser
- Beschädigung von Brücken und querenden Pipelines durch Hochwasser
- Zerstörung von Freileitungen, Masten und Windenergieanlagen durch Stürme
- Beschädigung von Solaranlagen durch Hagel
- …

Forschungsbedarfe für Klimaschutzszenarien

- Systematische Analyse der potenziellen Schäden
- Systematische Analyse, welche Schäden relevante Auswirkungen auf die Systemauslegung haben
- Bessere Abbildung von Verletzlichkeiten in Modellen

Gefördert durch STIFTUNG MERCATOR

Wuppertal Institut

Veränderungen in den natürlichen Ressourcen und Kohlenstoffsenken

Veränderungen im Energiesystem durch den Klimawandel

- Veränderte Biomasse-Erträge
- Limitierte Verfügbarkeit von Wasser
- Einfluss auf die Senkenleistung von Wäldern & Mooren

Forschungsbedarfe für Klimaschutzszenarien

- Bessere Abbildung von Biomasseverfügbarkeit
- Berücksichtigung von Wasserverfügbarkeit
- Analyse und Berücksichtigung von Kohlenstoffsenken

Gefördert durch STIFTUNG MERCATOR

Themen für den Vortrag heute

Wuppertal Institut

Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem und Forschungsbedarf zur Verbesserung von Klimaschutzszenarien

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung unter Klimawandel: Implikationen für das deutsche Energiesystem

Fraunhofer IWES

Exkurs:
Resilienz über Klimawandelfolgen hinaus – Beispiel Offshore-Windenergie

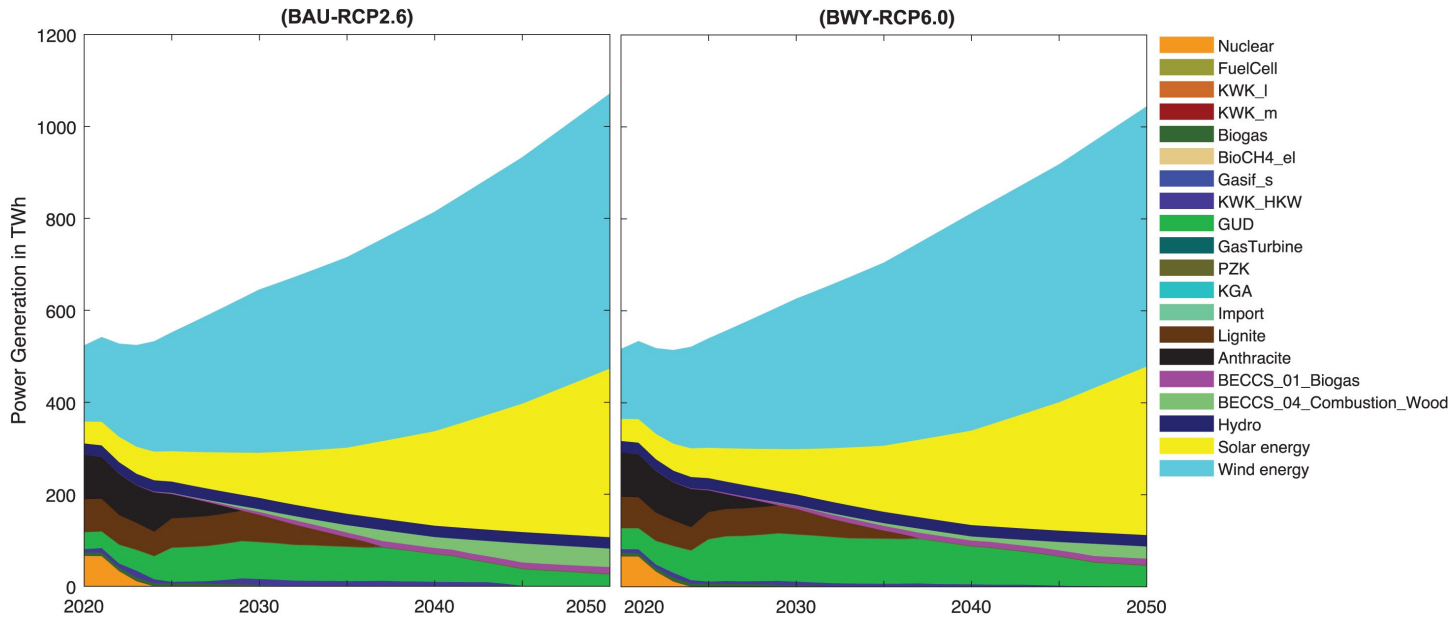
UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Verfügbarkeit von Onshore-Wind- und Bioenergie zur Stromerzeugung unter Klimawandel: Implikationen für das deutsche Energiesystem

Methodischer Ansatz zur Berücksichtigung von Klimawandel:

- Auswirkungen von Klimawandel auf den Ertrag von Energiepflanzen unter 2 Klimaszenarien (*RCP2.6* und *RCP6.0*)
- Auswirkungen unterschiedlicher Wetterszenarien für Onshore-Windenergie (*BAU* und *BWY*)

Ausgewählte Ergebnisse: Technologie-Mix im Stromsektor von 2020 bis 2050 unter zwei gegensätzlichen Szenarien



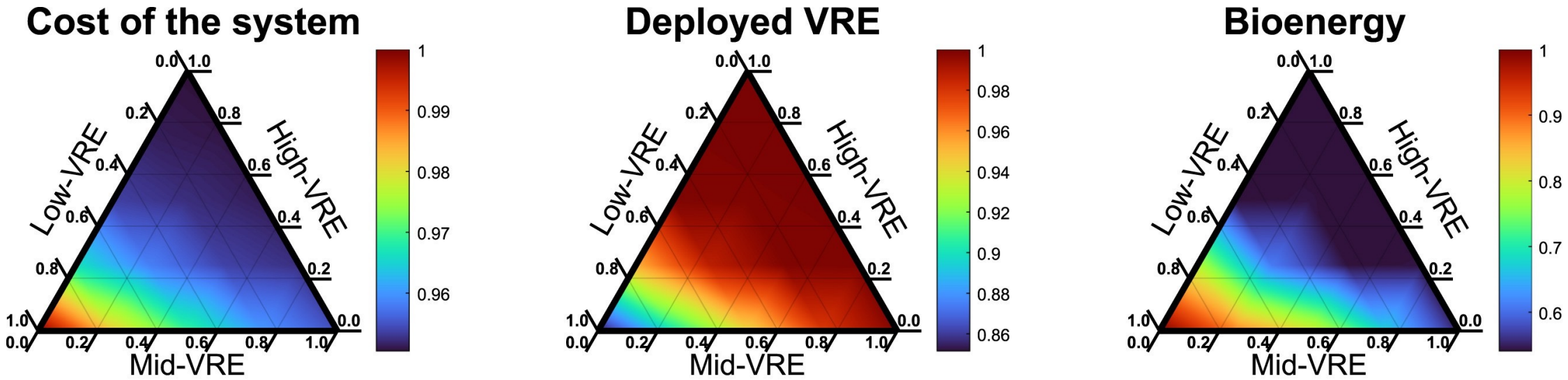
D. E. Aliabadi, et al. „Climate change may impair the transition to a fully renewable energy system: A German case study.“ *Energy* (2025): 138684.

Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie zur Stromerzeugung unter Klimawandel: Implikationen für das deutsche Energiesystem

Methodischer Ansatz zur Berücksichtigung von Klimawandel:

- Definition von 3 Clustern – *Low-VRE*, *Mid-VRE* und *High-VRE* – zur Repräsentation der Verfügbarkeit der VREs (fluktuierende erneuerbare Energien) Onshore-Wind, Offshore-Wind und Solar

Ausgewählte Ergebnisse: Kosten und Stromerzeugung durch VRE bzw. Bioenergie (gesamter Planungshorizont)



S. Gutjahr, D. Thrän, und D. E. Aliabadi. „Tango of renewables in the triangle of uncertainty: A German case study.“ *Advances in Applied Energy* (2026): 100281.

Themen für den Vortrag heute

Wuppertal Institut

Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem und Forschungsbedarf zur Verbesserung von Klimaschutzszenarien

UFZ HELMHOLTZ Zentrum für Umweltforschung

Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung unter Klimawandel: Implikationen für das deutsche Energiesystem

Fraunhofer IWES

Exkurs:
Resilienz über Klimawandelfolgen hinaus – Beispiel Offshore-Windenergie

Resilienz über Klimawandelfolgen hinaus – Beispiel Offshore-Windenergie

Gefährdungsfaktoren

- Potenzielle Bedrohung aus Luft, über und unter Wasser & Cyberangriffe
- Verfügbarkeit von (kritischen) Rohstoffen

Verschärft durch die Herausforderungen bei Offshore Windenergie:

- Offshore Windparks sind da, wo niemand ist
- Jede Schifffahrt, jeder Flug ist teuer
- Personal Offshore wie auch zusätzliche Infrastruktur ist ebenfalls teuer
- Kapazitäten enorm: Jetzt fast 11 GW, Planung bisher 70 GW

→ Gesucht werden effektive, wenig kostenintensive Lösungen, die das große Gebiet überwachen und Gefahren abwehren können.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Larissa Doré | larissa.dore@wupperinst.org
Dr. Danial Esmaeili Aliabadi | danial.esmaeili@ufz.de
Dr. Bernhard Stoevesandt | bernhard.stoevesandt@iwes.fraunhofer.de
Christine Krüger | christine.krueger@wupperinst.org

Zum Projekt „ScenClimPact“ gefördert von der Stiftung Mercator

Zu den Papern, welche die Verfügbarkeit von EE unter Klimawandel modellieren

Bilderverzeichnis

- **Folie 2:**
  - Händel, D. (2017): Kaputtes Windrad bei Münchberg 20170304 DSC 7926. Wikimedia Commons, CC BY 2.0.
  - PJeganathan (2016): Forest fire in uttarkhashi JEG8058. Wikimedia Commons, CC BY 4.0.
  - Kranz, R. (2026): Niedrigwasser Mittelrhein 2026 – GMS Danimex 2 vor Kaub. Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0.
- **Folie 9:**
  - D. E. Aliabadi, et al. „Climate change may impair the transition to a fully renewable energy system: A German case study.“ *Energy* (2025): 138684.
- **Folie 10:**
  - S. Gutjahr, D. Thrän, und D. E. Aliabadi. „Tango of renewables in the triangle of uncertainty: A German case study.“ *Advances in Applied Energy* (2026): 100281.