

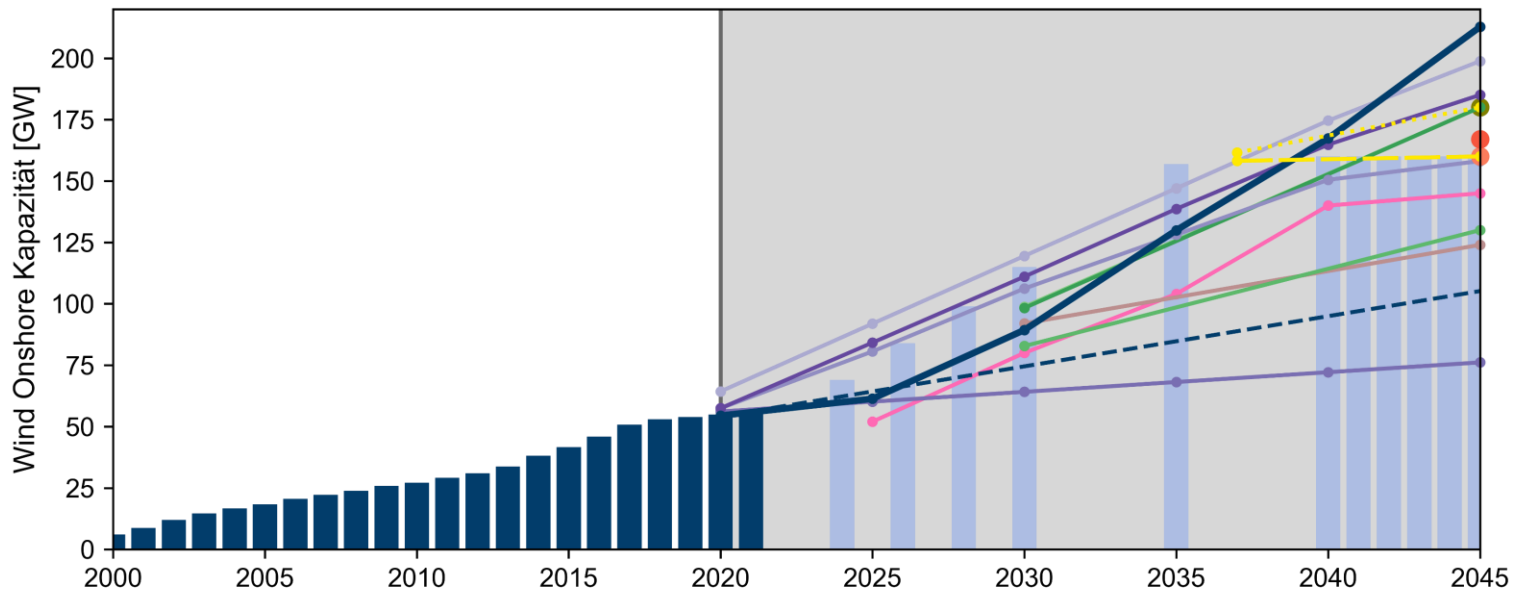
Einfluss der Onshore-Windenergiepotenziale auf die Transformationsstrategie zur Treibhausgasneutralität in Deutschland

Rachel Maier, Felix Kullmann, Jochen Linßen, Detlef Stolten
ra.maier@fz-juelich.de

13. Internationale Energiewirtschaftstagung
Wien, 16.02.2023

IEK-3: Institute of Techno-economic Systems Analysis

Historischer und zukünftiger Ausbau für Wind Onshore in Deutschland



- Kapazität von Wind Onshore variiert zwischen 76 GW bis 212 GW in 2045
- Osterpaket übertreffen derzeitige Szenarienwerte für 2035

Studien zur Treibhausgasneutralität bis 2045 in Deutschland

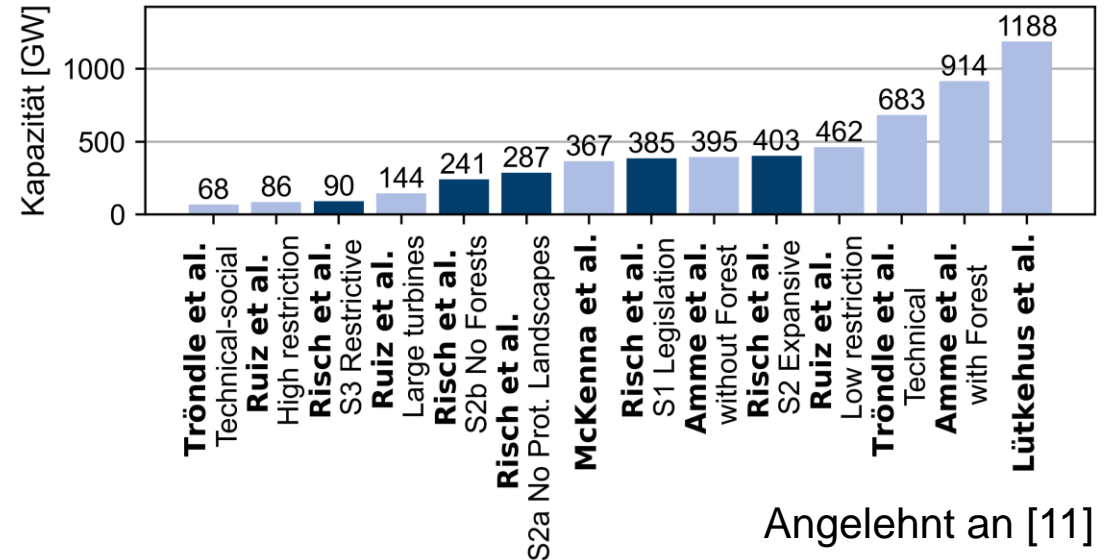
Studie	Erneuerbare		
	Anzahl Szenarien	Onshore Potenzial	Bewertung Methodik
Agora - Klimaneutrales Deutschland 2045 [1]	1	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Boston Consulting Group - Klimapfade 2.0 [2]	1	130 GW	-
dena - Aufbruch Klimaneutralität [3]	1	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Ariadne - Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 [4]	2	<i>n/a</i>	+
Fraunhofer ISE - Wege zu einem klima-neutralen Energiesystem [5]	2	80 GW / 230 GW	o
BMWK - Langfristszenarien 3 [7]	1	<i>n/a</i>	o
FZJ IEK-3 - Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis 2045 [6]	1	364 GW	+

- Wenige Szenarien zu den Potenziale erneuerbarer Energien
- Wind Onshore: Fehlende Informationen, unterschiedliche Qualität der Potenziale

Wind Onshore Potenziale für Deutschland

Literatur

- Unterschiedliche Methodik und Datenquellen
- Starke Variation der Ergebnisse
- Geringe regionale Auflösung der Ergebnisse



Paper: Potentials of Renewable Energy Sources in Germany and the Influence of Land Use Datasets [11]

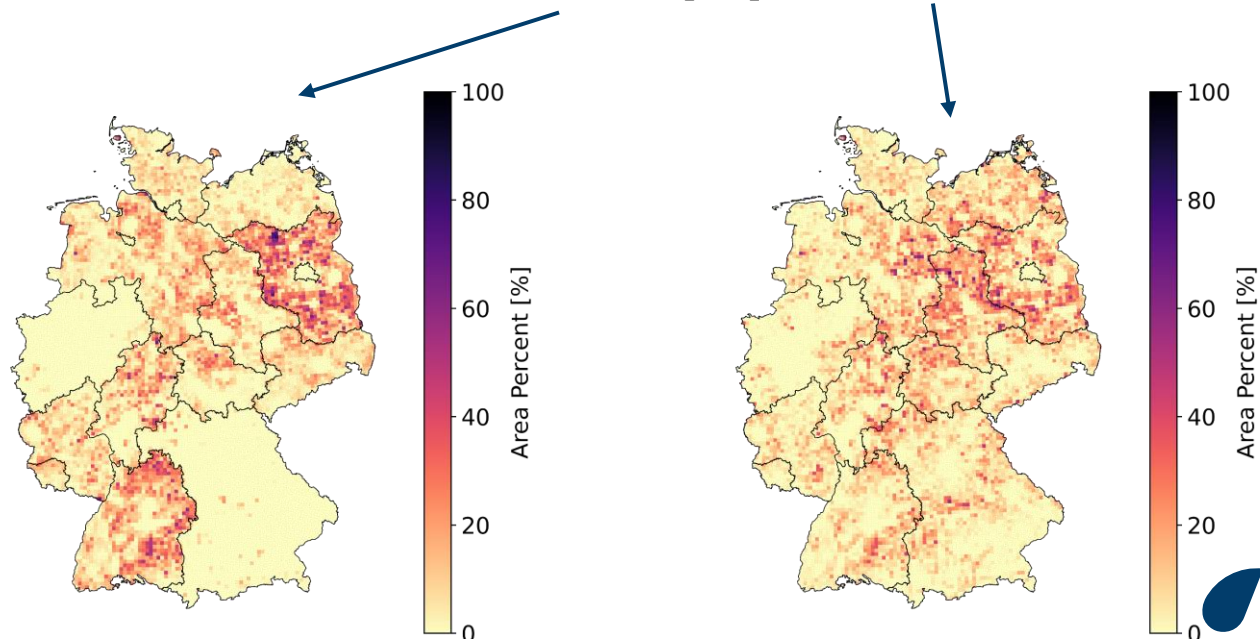
- Landverfügbarkeitsanalysen mit GLAES [12] für Wind und Freiflächen PV, Dachflächen PV über 3D Daten und regional aufgelöste Ergebnisse veröffentlicht [13]
- Wind Onshore Potenzialanalyse
 - 5 Szenarien mit Variation der Ausschlussdefinition
 - Bis zu 44 Ausschlüsse in der Landverfügbarkeitsanalyse

[11] Risch, S. Maier R. et al., „Potentials of Renewable Energy Sources in Germany and the Influence of Land Use Datasets“. *Energies* 15, Nr. 15 (30. Juli 2022): 5536. <https://doi.org/10.3390/en15155536>., [12] GLAES, <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/glaes>, [13] Tool for Renewable Energy Potentials - Database <https://zenodo.org/record/6414018#.Y9d-3a2ZPFf>

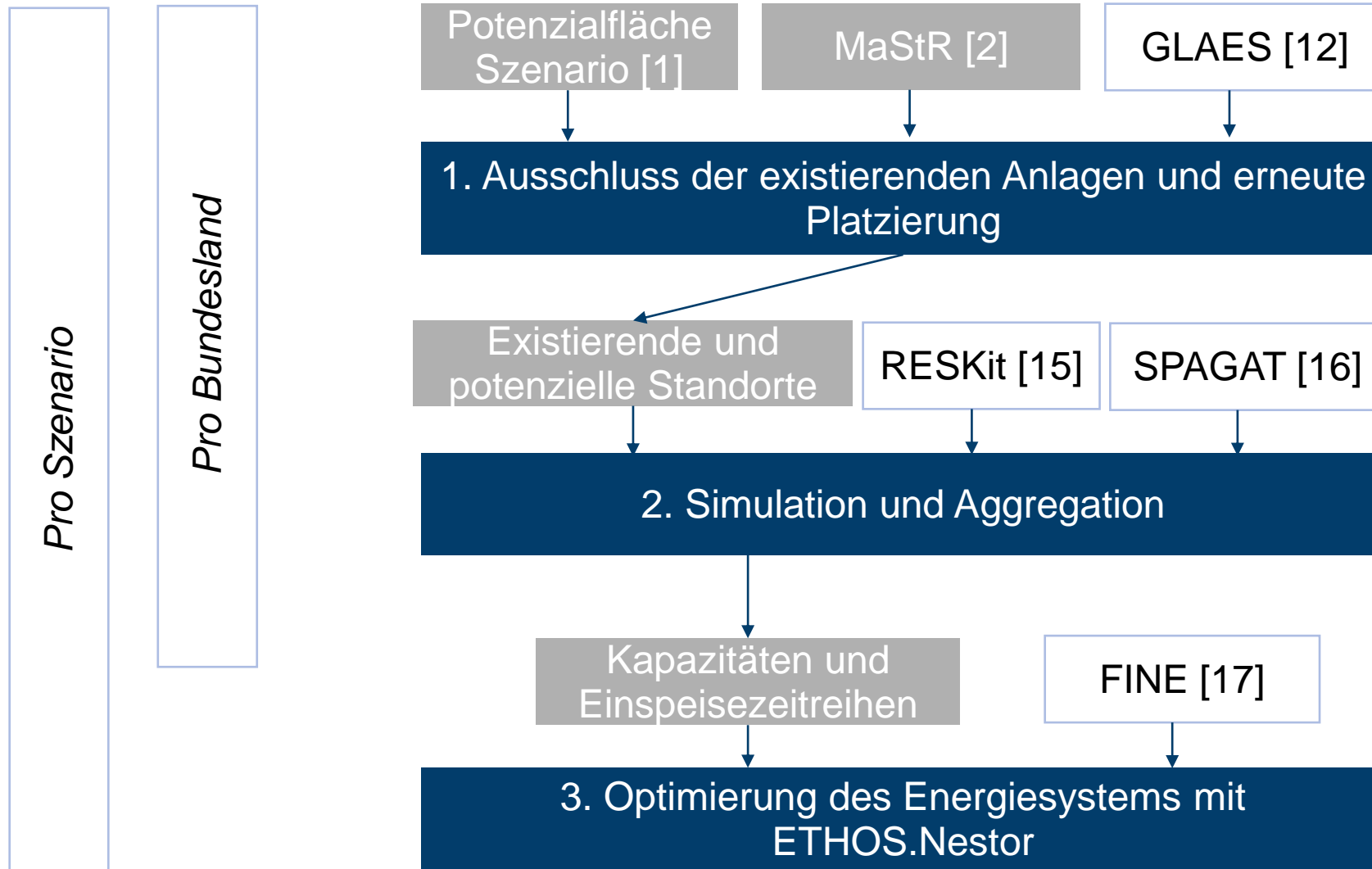
Wind Onshore Potenzialszzenarien

	S1 Gesetzgebung	S2 Expansiv	S3 Restriktiv
Innenbereiche	<i>Individuell*</i>	1000 m	1000 m
Wohngebäude, Außenbereiche	<i>Individuell*</i>	3 H	1000 m
Wald	<i>Individuell*</i>	erlaubt	ausgeschlossen
Landschaftsschutzgebiete	<i>Individuell*</i>	erlaubt	ausgeschlossen

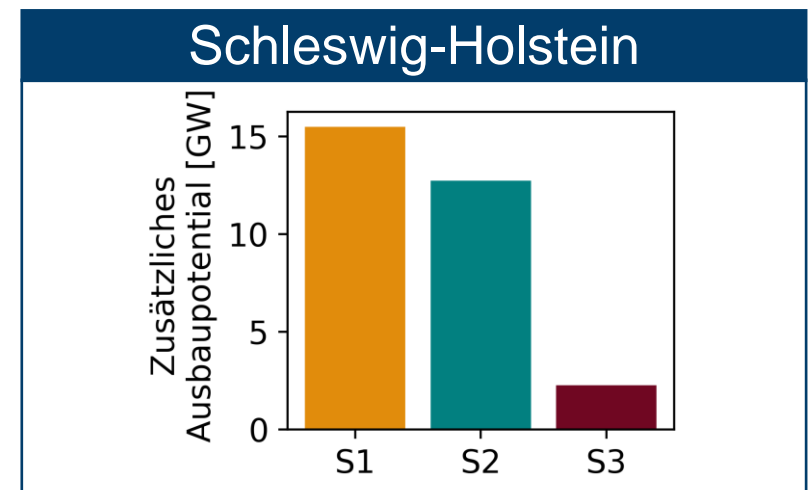
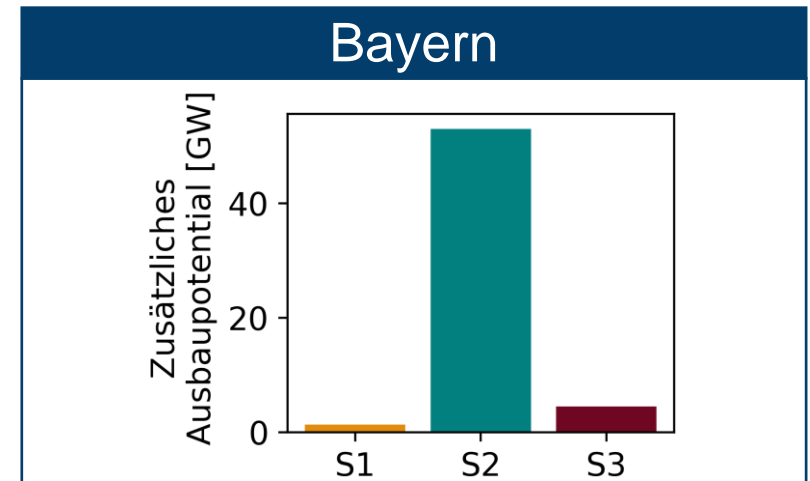
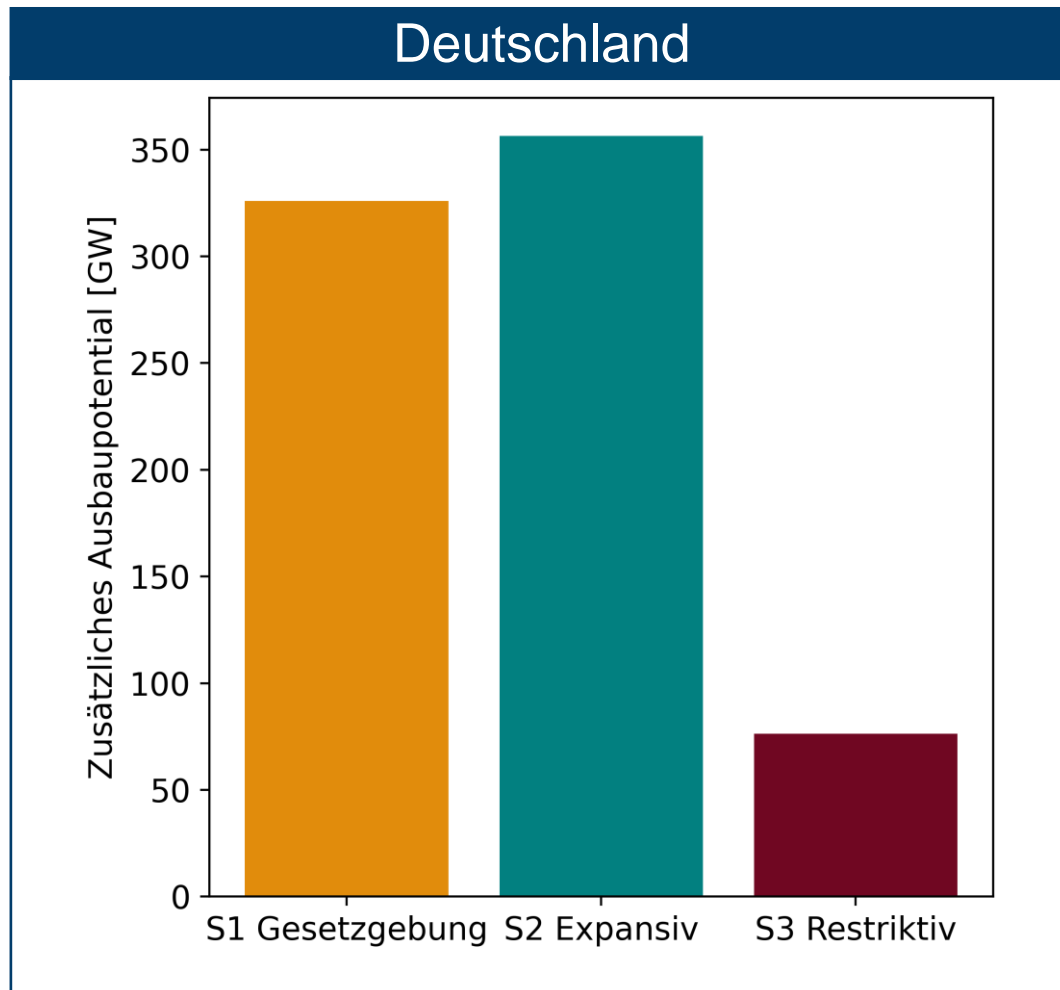
* Individuell pro Bundesland, Stand Mitte 2022 [14] mit Korrekturen



Kopplung der Wind Onshore Potenziale



Ausbaupotenziale für Wind Onshore

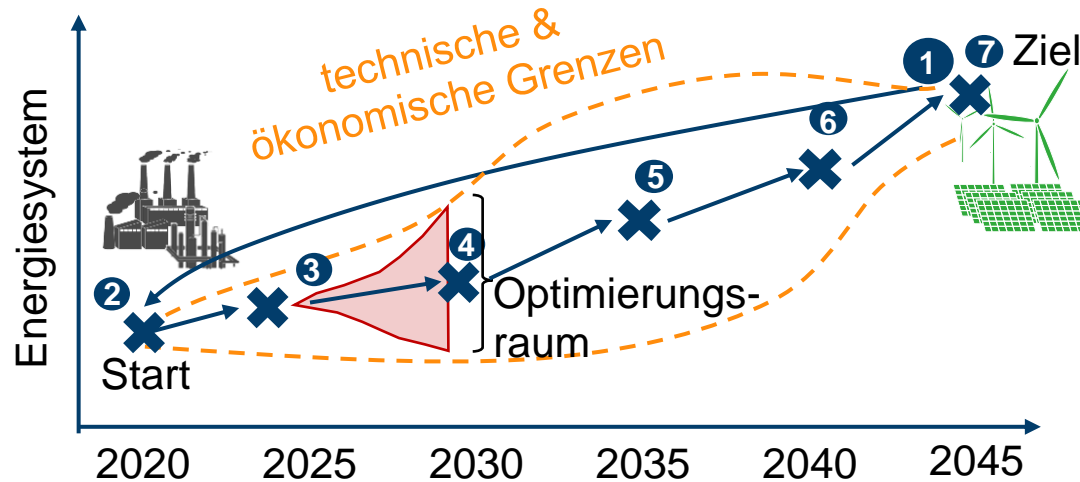


- Potenziale stark von Abstandsregeln/Gesetzgebung abhängig
- Trotz ähnlicher Potenziale zwischen S1 und S2 bestehen starke regionale Unterschiede

ETHOS.Nestor (National Energy System Model with SecTOR Coupling)

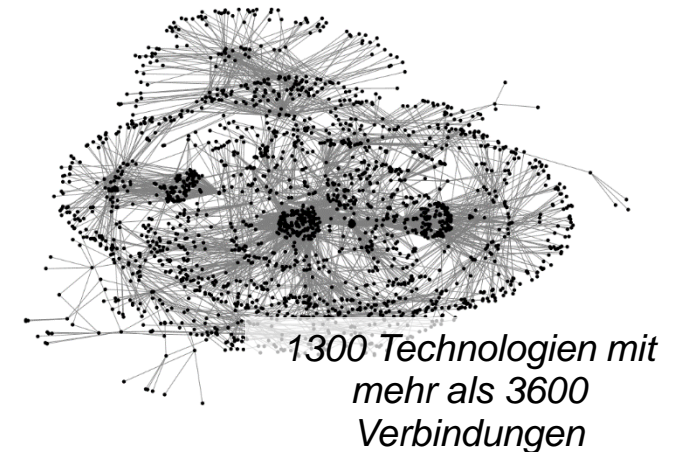
Methodik

- Kostenoptimierung mit quadratischem Ansatz bei Berücksichtigung der Nebenbedingungen mit FINE [17]
- Myopischer „backcasting“ Ansatz
- Einknoten-Modell
- Stündliche Auflösung, optionale Zeitreihenaggregation



Berücksichtigung

- Techno-ökonomische Rahmenbedingungen
- Rahmendaten, Vorgaben, z.B. Emissionsminderungsziele
- ...



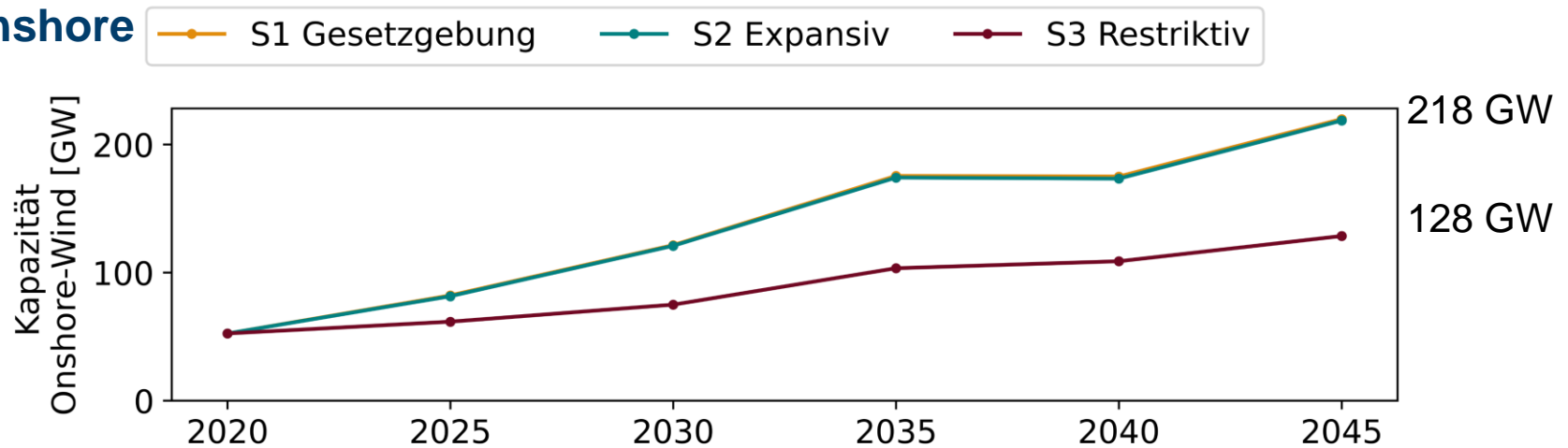
Durchgeführte Studien

- **ES2050** (2019) [18]: Transformation des deutschen Energiesystem mit 80-95% CO₂ Reduktion bis 2050
- **KSG2045** (2021) [19]: Transformation des deutschen Energiesystem mit Treibhausgasneutralität bis 2045

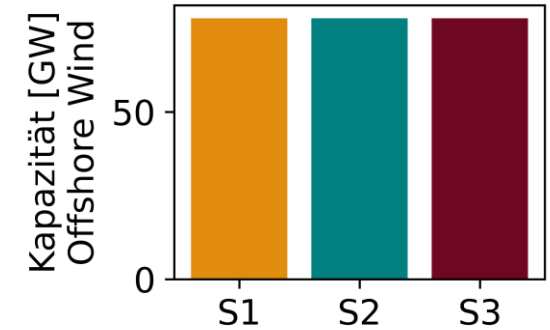
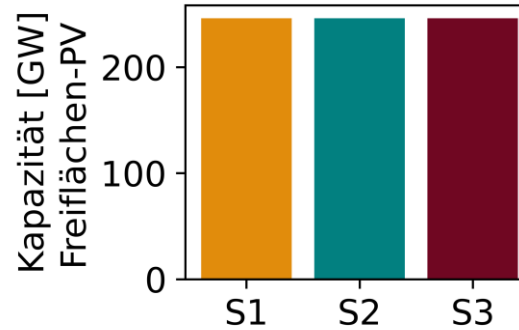
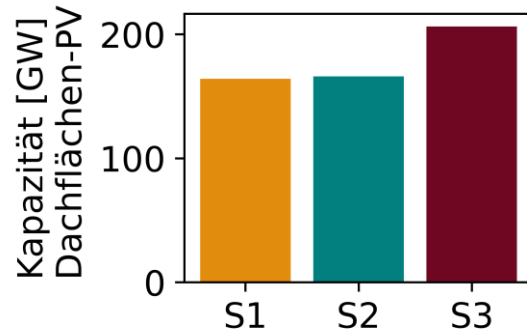


Ausbau der erneuerbaren Energien

Wind Onshore



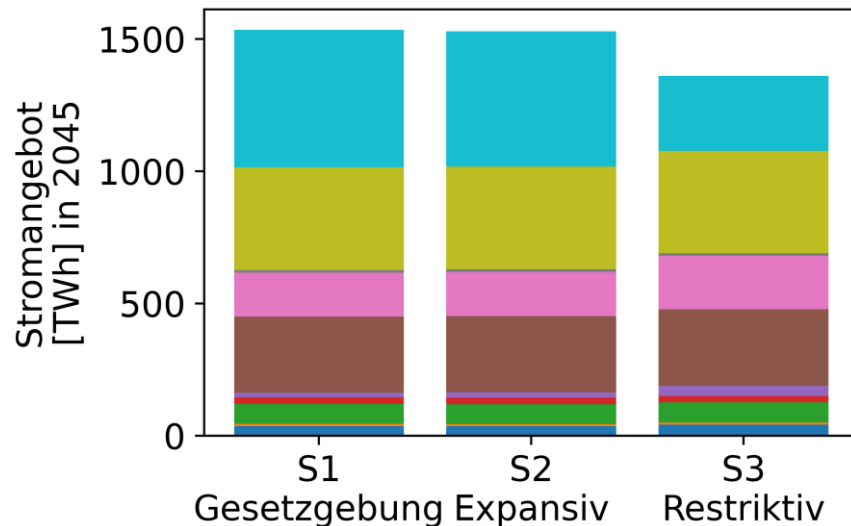
Ausbau weiterer Technologien in 2045



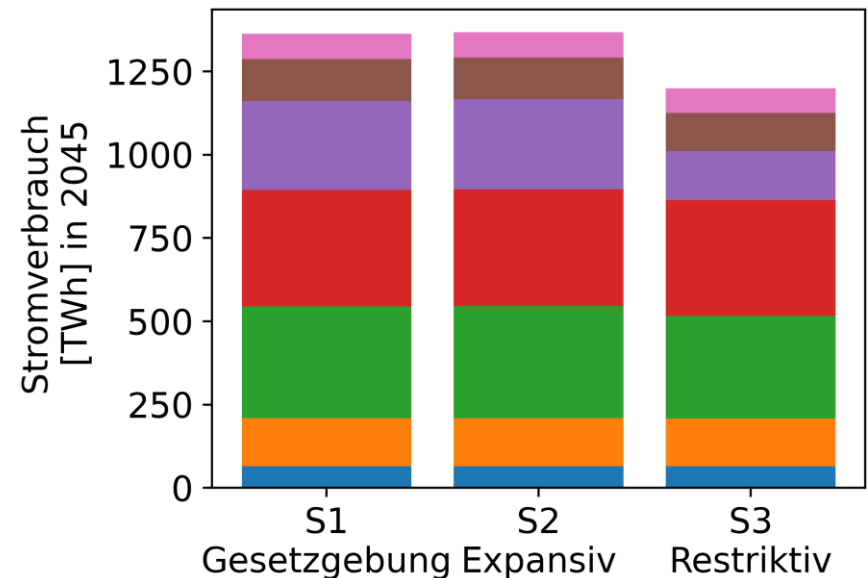
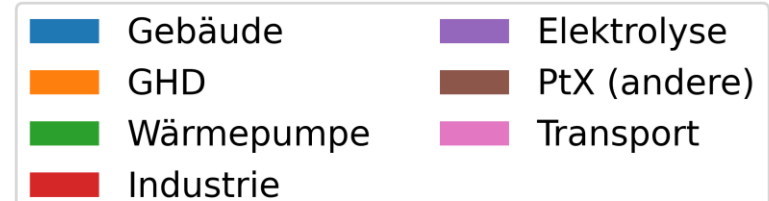
- Vernachlässigbare Veränderung beim Wechsel von Bundesländer-Gesetzen zu deutschlandweiten expansiven Gesetzen
- Bundesweite restriktive Gesetze resultieren in einer Ausschöpfung des 128 GW Wind Onshore Potenzials, 90 GW weniger als in S1/S2, jedoch 40 GW mehr Dachflächen-PV

Strom – Angebot und Nachfrage

Angebot in 2045



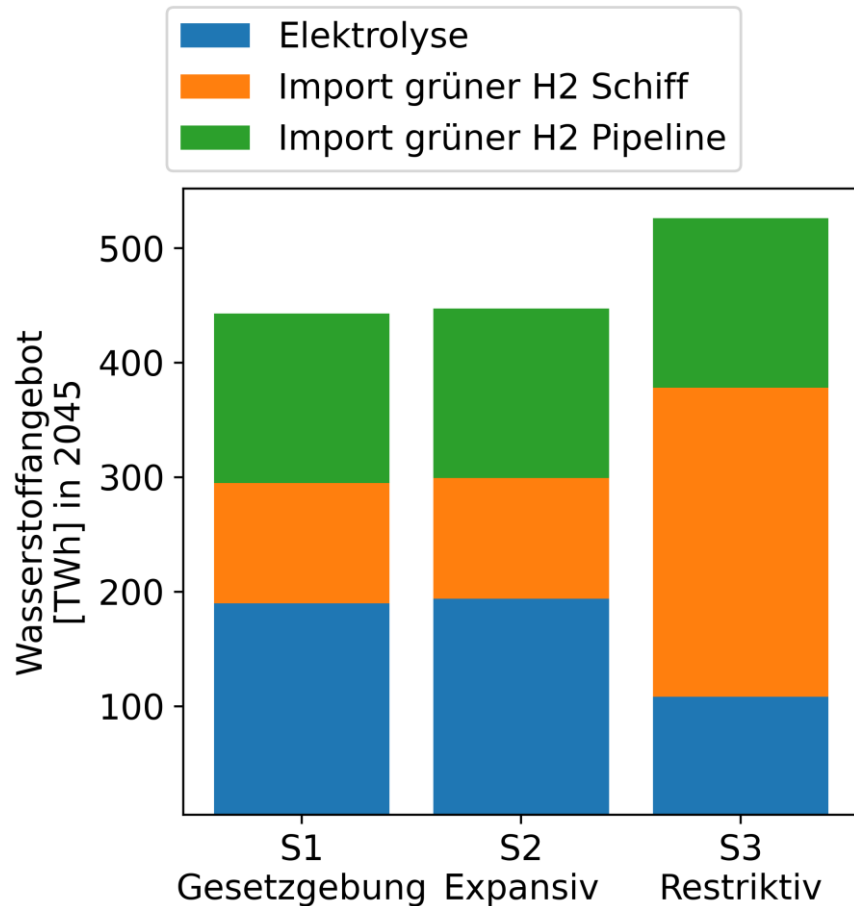
Nachfrage in 2045



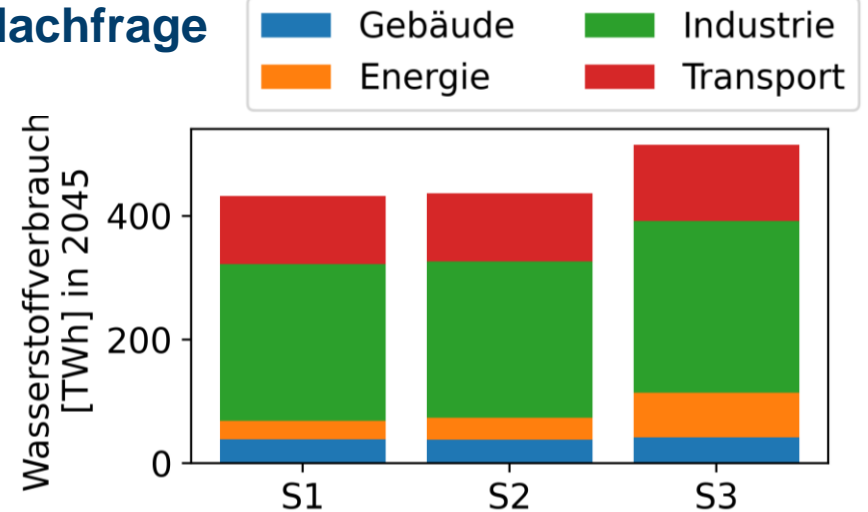
- Abweichung zwischen Angebot und Verbrauch durch Export, Speicher- und Netzverluste
- **Stromangebot:** Sinkende Einspeisung durch Wind Onshore wird teilweise durch **Dachflächen-PV** und **Wasserstoff** kompensiert
- **Stromverbrauch** variiert hauptsächlich in der **Wasserstoffproduktion** durch Elektrolyse

Wasserstoff – Angebot, Nachfrage und Importe

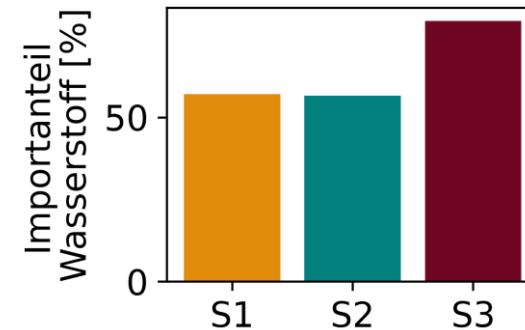
Angebot in 2045



Nachfrage

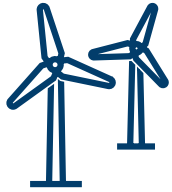


Importanteil in 2045



Fehlender Strom durch geringere Wind Onshore Potenziale erhöht den Wasserstoffanteil im System und den Import von Wasserstoff

Fazit

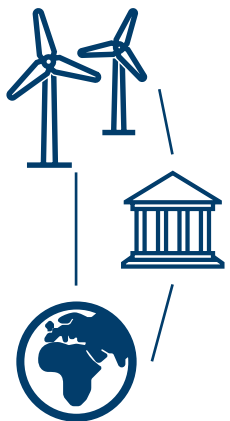


Onshore Wind Potenziale

- Starke Abhängigkeit von Abstandsregeln und Ausschlüssen
- Starke Variation in Potenzialstudien

Systemstudien

- Wenig Fokus auf Potenziale der erneuerbaren Energien
- Teilweise stark vereinfachte Potenzialannahmen



Einfluss der Wind Onshore Potenziale

- Aktuelle Gesetze (S1) → Bundesweit expansive Gesetze (S2)
 - gleichmäßigerer Verteilung der Wind Onshore Potenziale
 - geringe Systemveränderungen
- Aktuelle Gesetze (S1) → Bundesweit restriktive Gesetze (S3)
 - Deutliche Senkung des Wind Onshore Potenzials
 - Erhöhung des Wasserstoffanteils im System und der Importabhängigkeit

→ Bundesweite restriktive Gesetzgebung erhöht die Importabhängigkeit für Wasserstoff

Ausblick



Potenziale

- Kontinuierliche Anpassung der Potenzialszenarien
- Potenzialanalyse zu innovativen Technologien

Potenzial- einfluss

- Kopplung aller erneuerbaren Energien mit ETHOS.Nestor
- Analyse des Systemeinflusses von Kombinationen der Potenzialszenarien aller erneuerbaren Energien



Verbesserung des Modells

- Verbesserung der regionalen Abbildung im Einknoten-Energiesystemmodell ETHOS.Nestor
- Sensitivitäten zu Importannahmen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Institut für Energie- und Klimaforschung
Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3)
Forschungszentrum Jülich
www.fz-juelich.de

Bei weiteren Fragen wenden Sie sich bitte an:

Ra.maier@fz-juelich.de

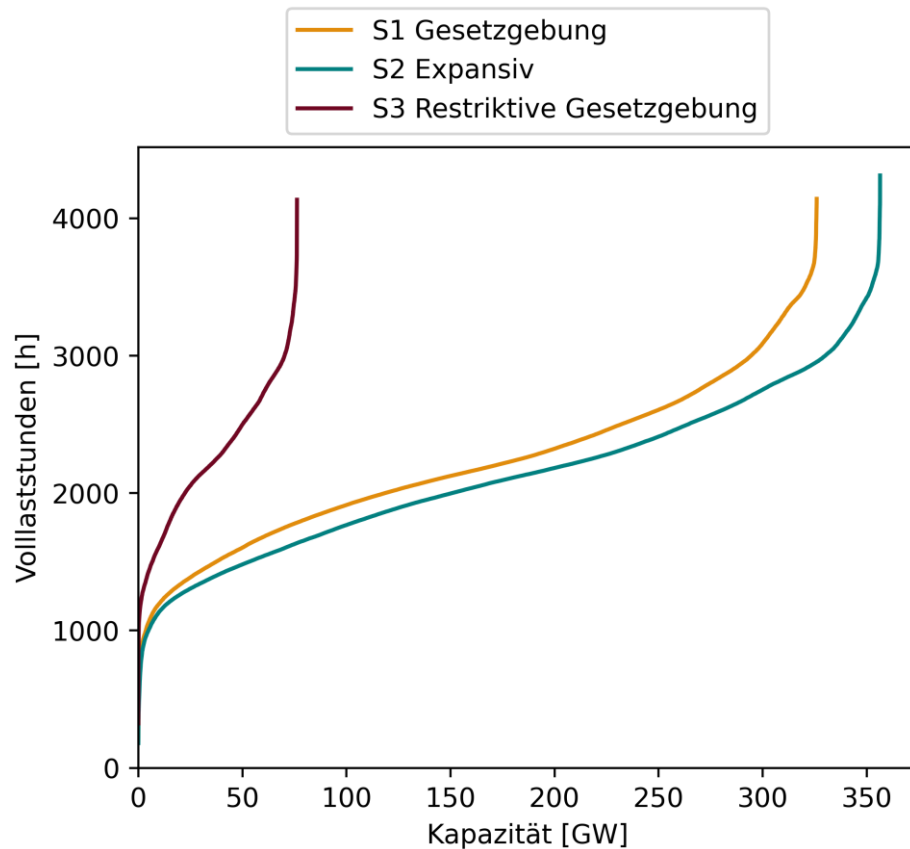
Rachel Maier
+49(0)160 9770 4449
Ra.maier@fz-juelich.de

Quellen

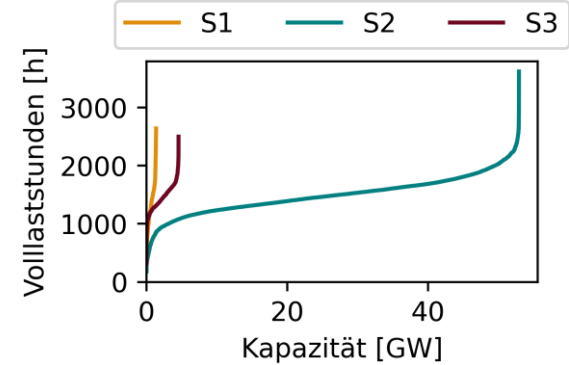
- [1] Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut. „Klimaneutrales Deutschland 2045“. Agora Energiewende und Agora Verkehrswende, 2021.
- [2] Boston Consulting Group. „Klimapfade 2.0“. Boston Consulting Group, Oktober 2021.
- [3] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). „dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität“. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Oktober 2021.
- [4] Luderer et al. „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich“, 2021
- [5] Brandes et al. „Wege zu einem klimaneutralen Energiesystem“. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, November 2021
- [6] Stolten et al. „Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045.“. Forschungszentrum Jülich GmbH, 2021.
- [7] „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland T45“, 22. November 2022.
https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_T45_Webinar_Angebot_Nov_2022_final_webinarversion.pdf.
- [8] „Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045, Version 2023 - Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber“, Januar 2022.
- [9] Bundesverband Windenergie. „Installierte Windenergieleistung in Deutschland“, 2021.
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor (2022)
- [11] Risch, S. Maier R. et al., „Potentials of Renewable Energy Sources in Germany and the Influence of Land Use Datasets“. *Energies* 15, Nr. 15 (30. Juli 2022): 5536. <https://doi.org/10.3390/en15155536>.
- [12] GLAES, <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/glaes>,
- [13] Tool for Renewable Energy Potentials - Database <https://zenodo.org/record/6414018#.Y9d-3a2ZPFf>
- [14] Fachagentur Wind an Land, „Überblick Abstandsempfehlungen und Vorgaben zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern“. 2021.
- [15] RESKit, <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/RESKit>
- [16] SPAGAT, <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/FINE>
- [17] FINE, <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/FINE>
- [18] Martin Robinius, Peter Markewitz, Peter Lopion, Felix Kullmann, Philipp-Matthias Heuser, Konstantinos Syranidis, Simonas Cerniauskas, u. a. „WEGE FÜR DIE ENERGIEWENDE Kosteneffiziente und klimagerechte Transformationsstrategien für das deutsche Energiesystem bis zum Jahr 2050“. Schriften des Forschungszentrums Jülich. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2020.
- [19] Stolten, Detlef, Peter Markewitz, Thomas Schöb, und Leander Kotzur. „Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045. (Kurzfassung)“. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 2021. <https://www.fz-juelich.de/iek/iek-3/DE/ Documents/Downloads/transformationStrategies2045ShortStudy.pdf? blob=publicationFile>.

Erzeugungspotenzial

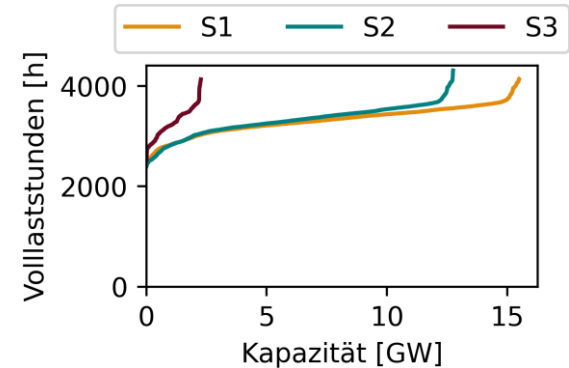
Deutschland



Bayern



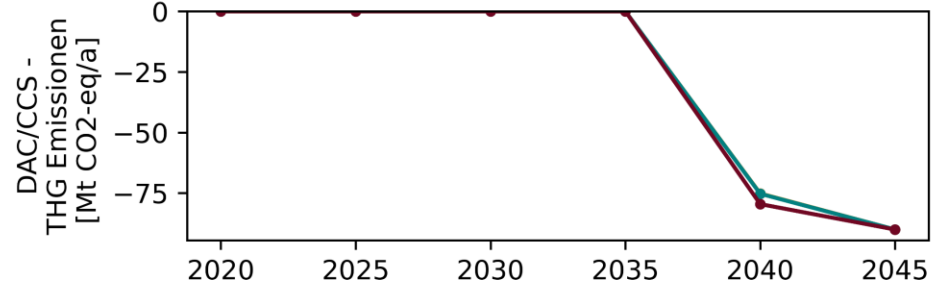
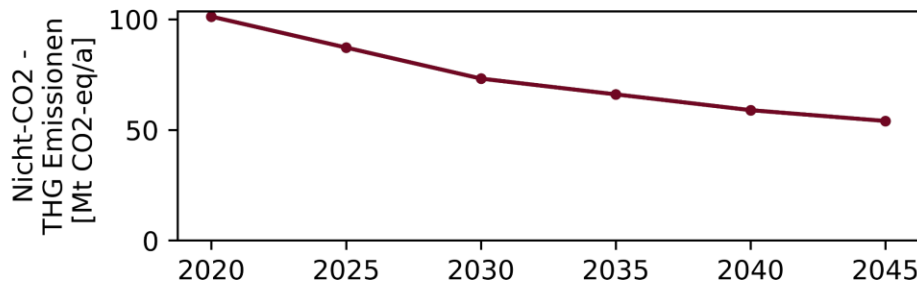
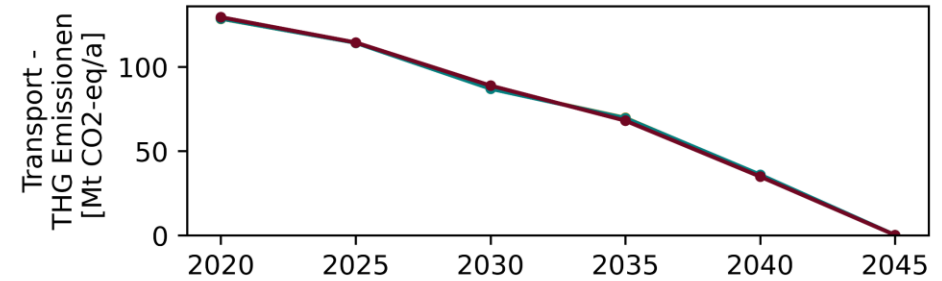
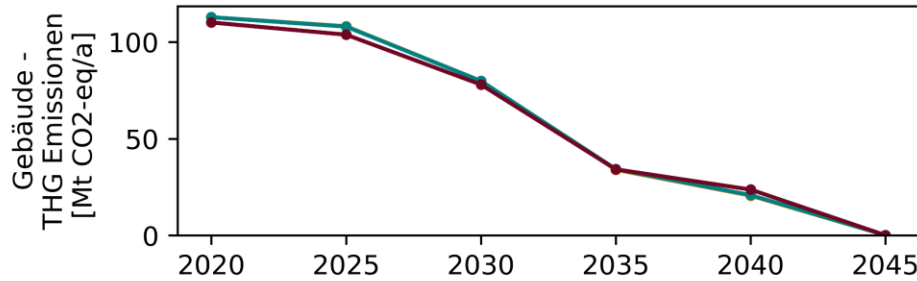
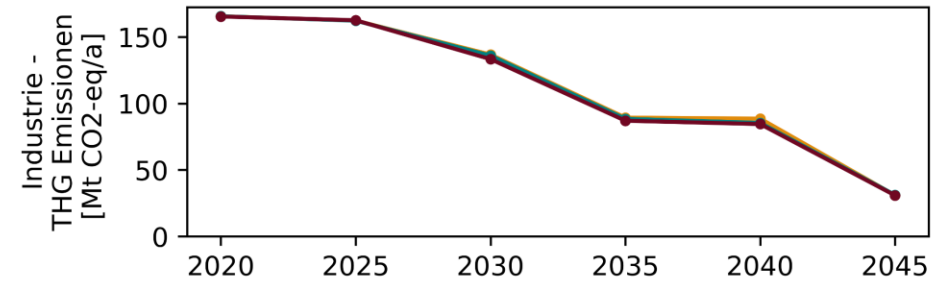
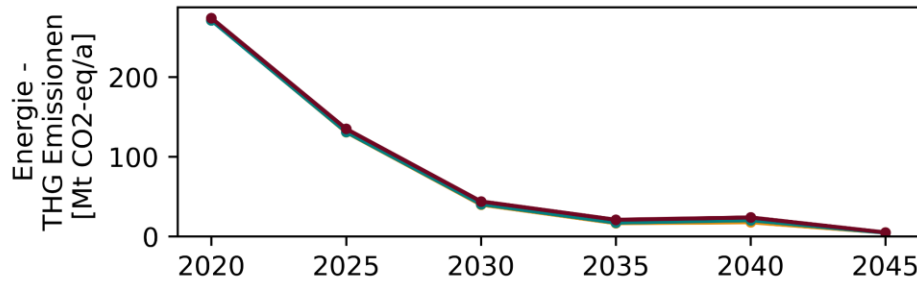
Schleswig-Holstein



- Bedeutung der Repräsentation der Bundesländer aufgrund unterschiedlicher Einspeisezeitreihen

Sektorale Emissionsreduktionen

—●— S1 Gesetzgebung
 —●— S2 Expansiv
 —●— S3 Restriktive Gesetzgebung



Vernachlässigbarer Einfluss der Wind Onshore Potenziale auf die sektorale Verteilung der Emissionen im Transformationspfad zur Treibhausgasneutralität