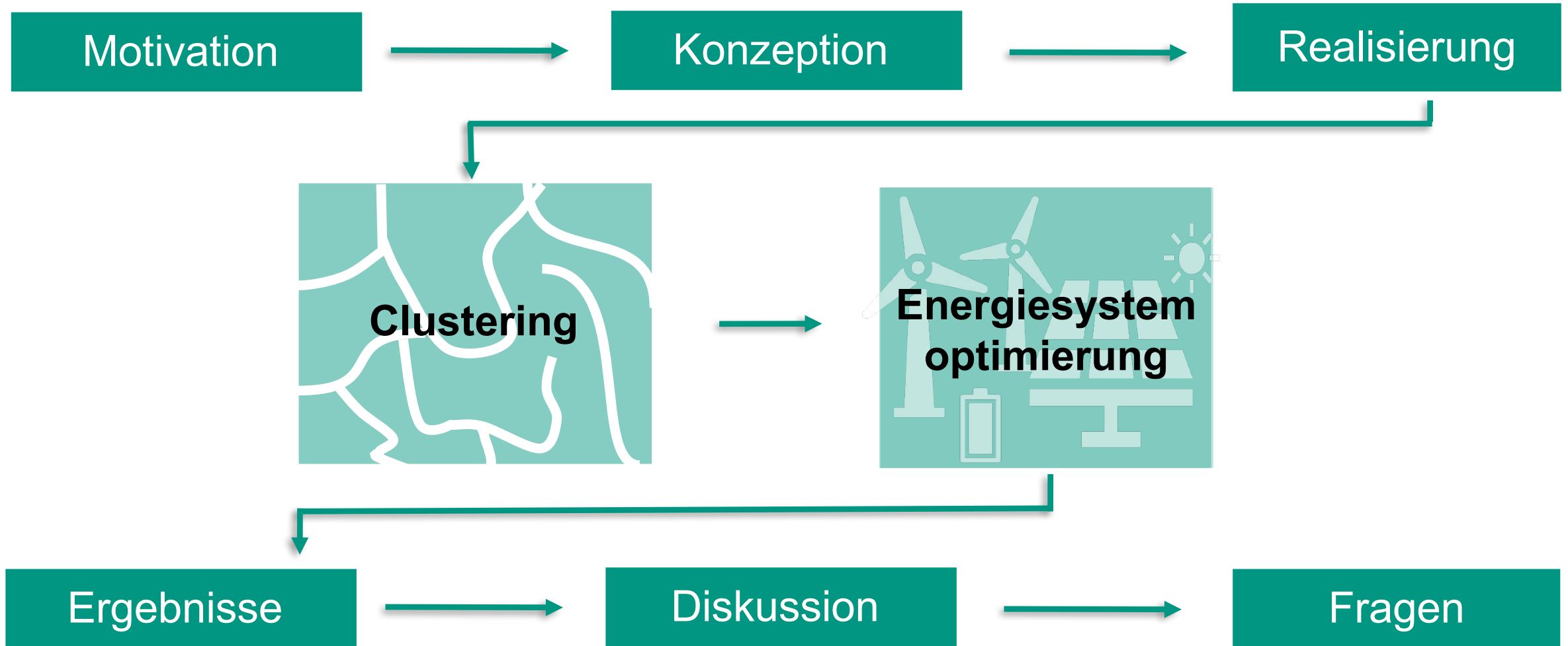


Determinanten für den Aufbau von Wasserstoffinfrastruktur im treibhausgasneutralen deutschen Energiesystem

Miriam Frömel

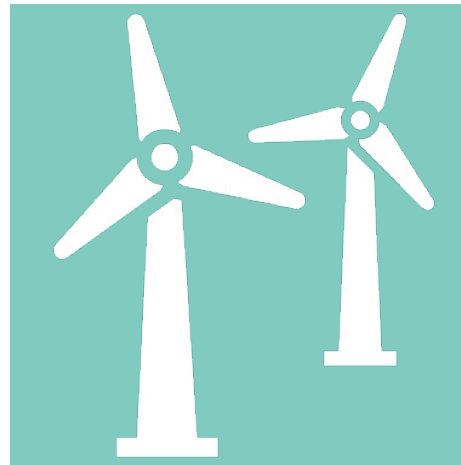
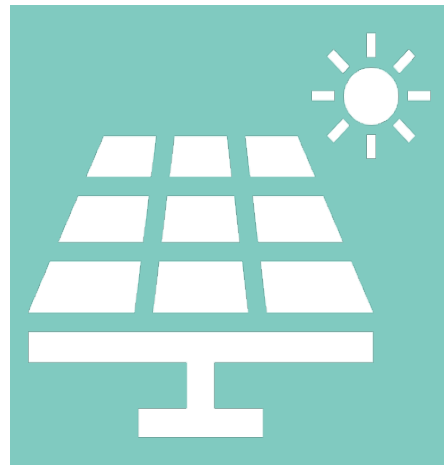


Agenda



Motivation

Klimaneutrales Energiesystem



Benötigte Infrastruktur?

Forschungsfragen

Was sind die Auswirkungen

- des Energieautarkiegrads und
- von Offshore-Elektrolyse

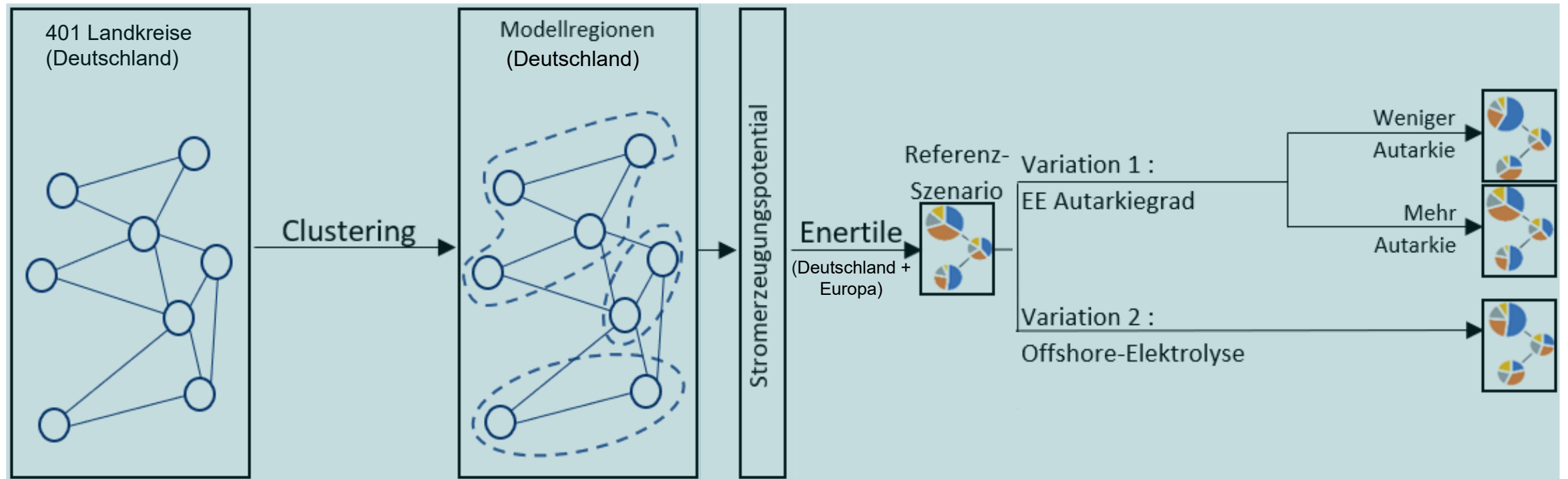
auf die deutsche Wasserstoffinfrastruktur in einem klimaneutralen
Energiesystem der Zukunft?



- Elektrolyse
- Speicher
- H₂-Flüsse

Konzeption

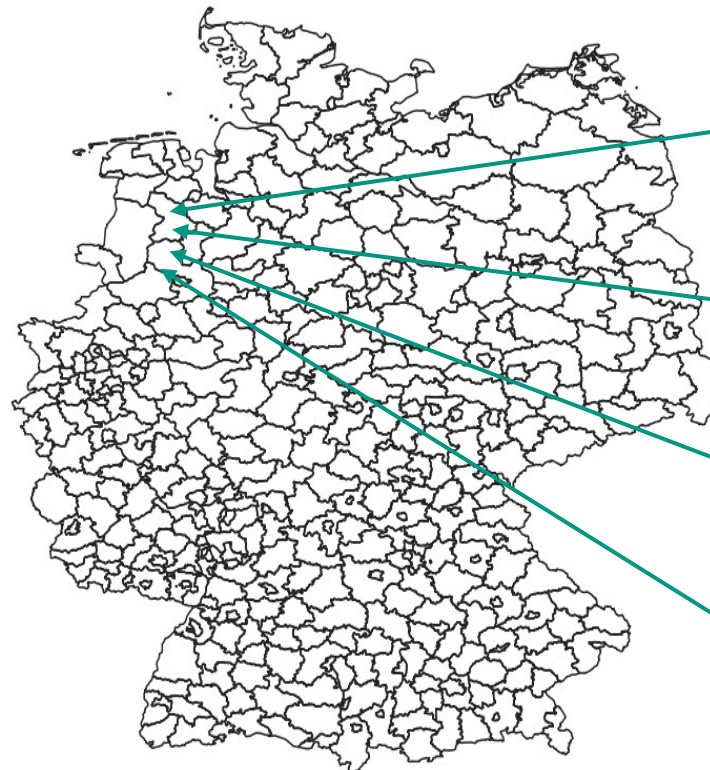
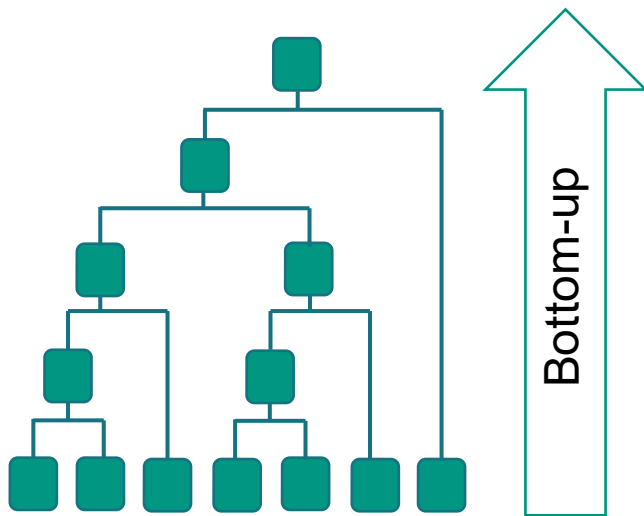
Was sind die Einflüsse des Autarkiegrades und Offshore-Elektrolyseuren auf die deutsche Wasserstoffinfrastruktur im Jahr 2050?



Realisierung

Regionalisierung Deutschlands

Ward-Algorithmus:



Energieerzeugung 2050 [6]

Energienachfrage 2050 [7]
[8]

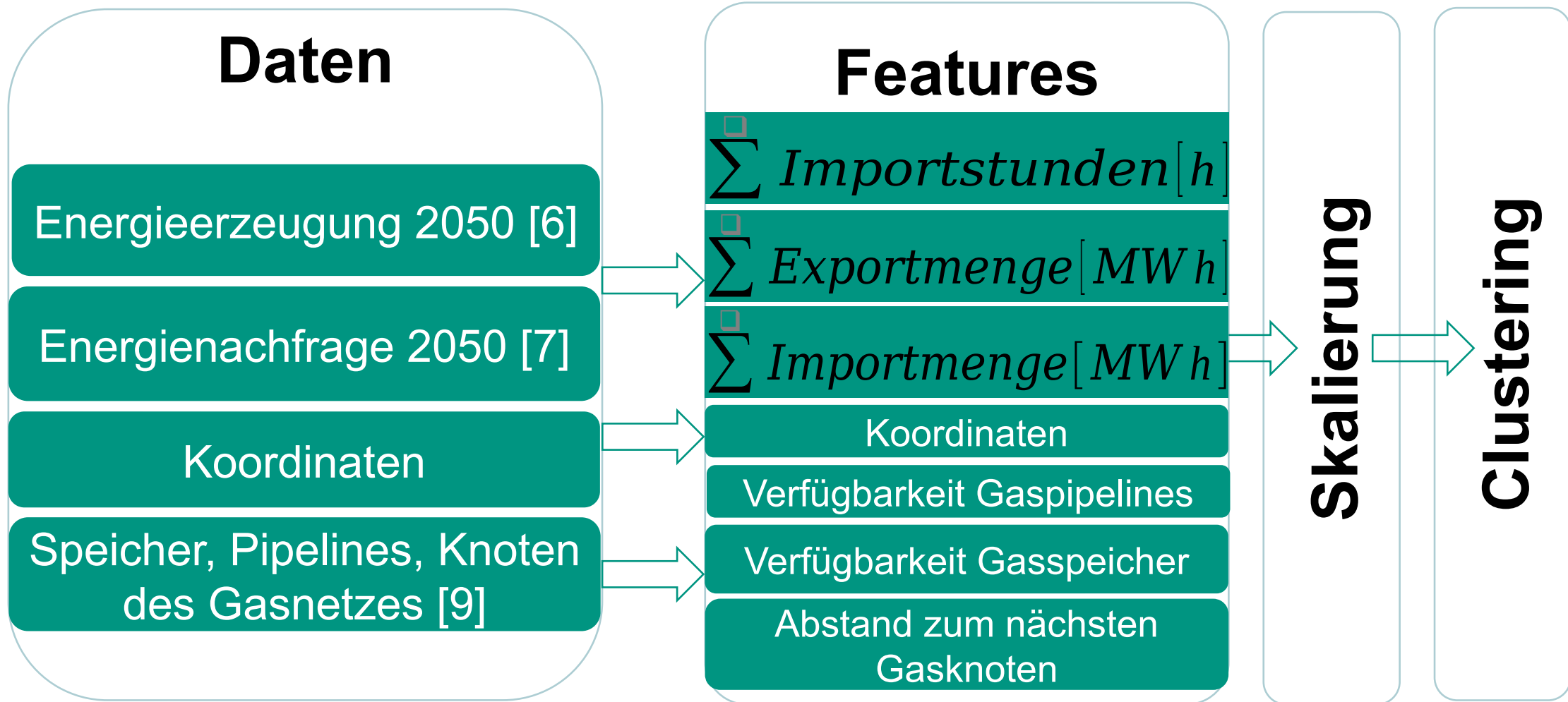
Koordinaten

Speicher, Pipelines, Knoten
des Gasnetzes [9]

401 NUTS-3 Regionen [10]

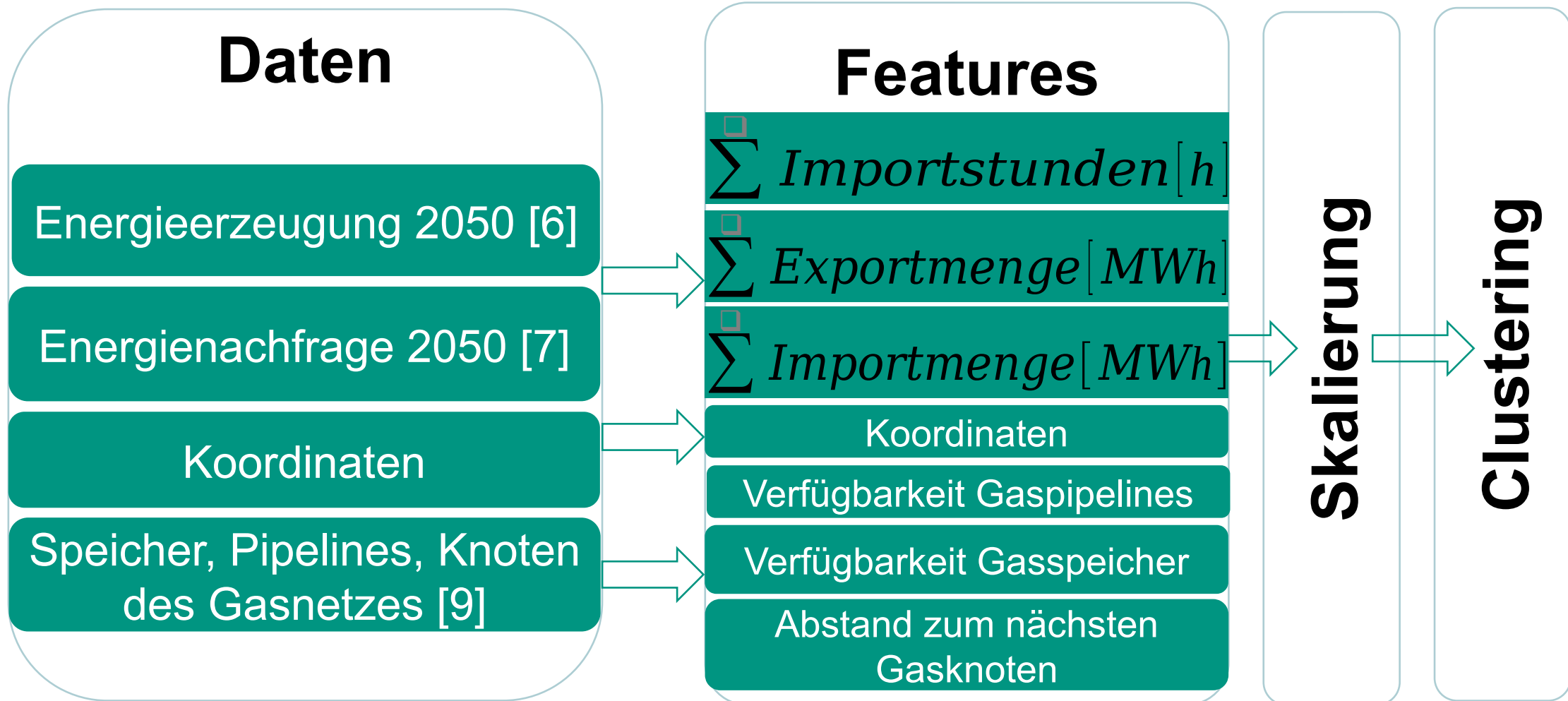
Realisierung

Regionalisierung Deutschlands



Realisierung

Regionalisierung Deutschlands

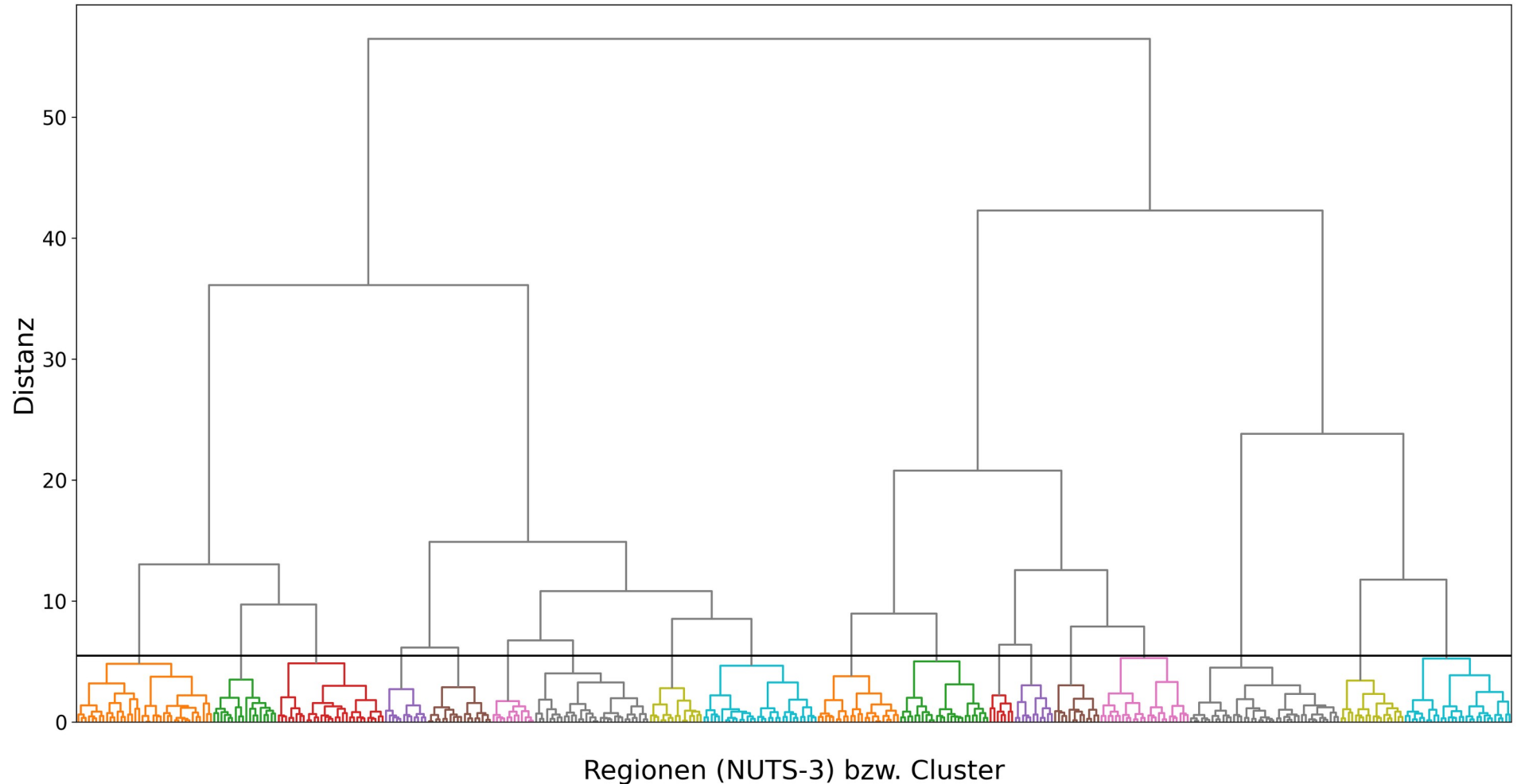


Realisierung

Regionalisierung Deutschlands

Clustering

Python
scikit-learn



Realisierung

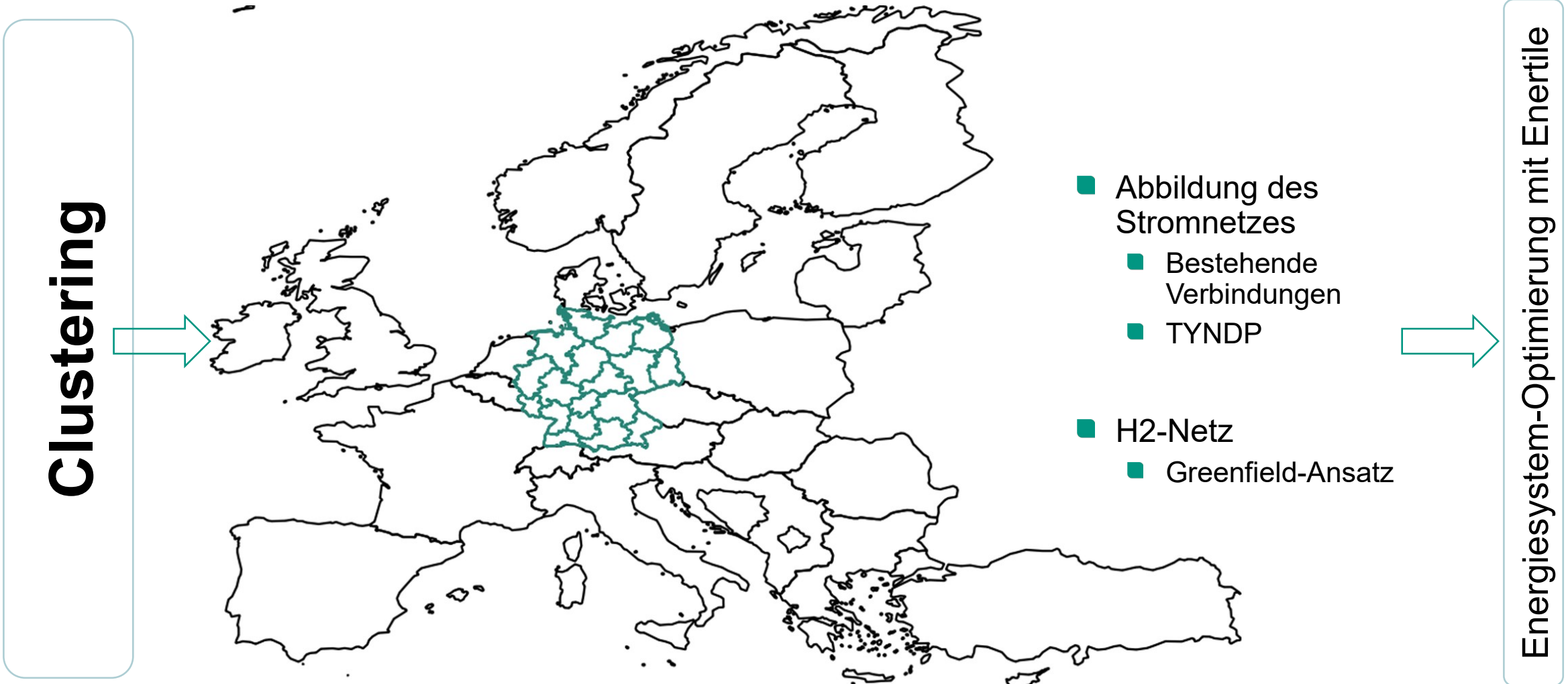
Regionalisierung Deutschlands

Clustering

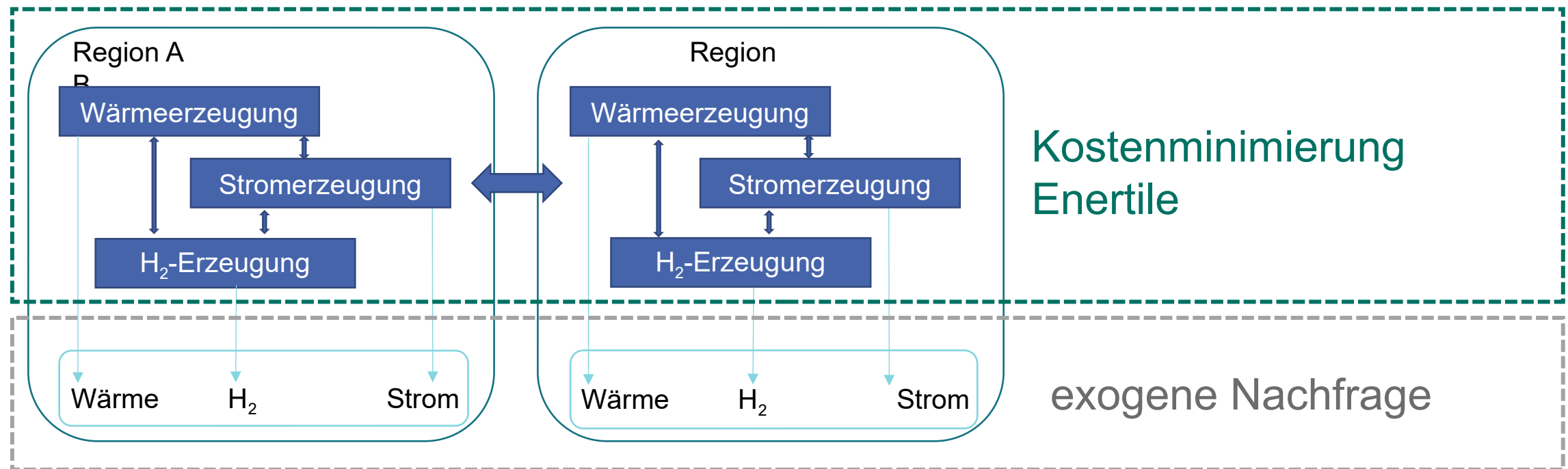


Realisierung

Regionalisierung Deutschlands



- Kostenminimierung der Angebotsseite zur Deckung einer exogen vorgegebenen Nachfrage



- Lineares Optimierungsproblem

Realisierung Szenario-Design

Referenz-Szenario

Basierend auf Wasserstoffszenario („TN-H2-G“):

- Elektrolyse nur an Land (Alkali- oder PEM¹-Elektrolyse)
- EE-Produktion: mind. 900 TWh in Deutschland

Autarkiegrad

Elektrolyseur-
Standort

↓
Analyse der Auswirkungen

Handels-Szenario

- keine Mindestherzeugung für Regionen / Technologien

Autarkie-Szenario:

- 80% - 120% der Nachfrage inländisch produziert

Offshore-Elektrolyse-Szenario

- Elektrolyse an Land u. auf See möglich (nur PEM)

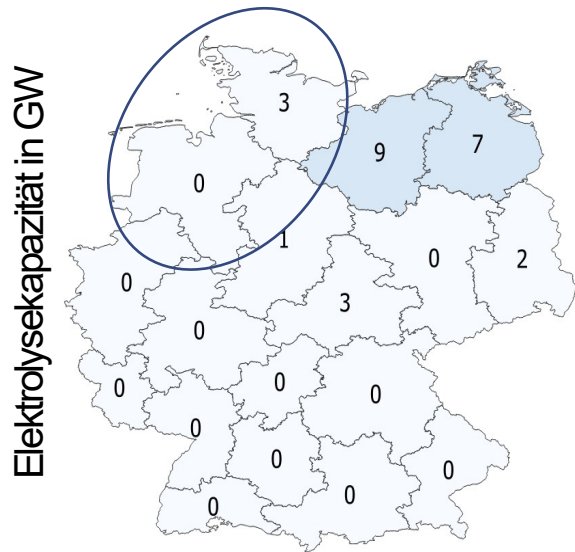
1: Polymer-Elektrolyt-Membran (PEM)

Ergebnisse

Einflüsse des Autarkiegrades auf Elektrolyse

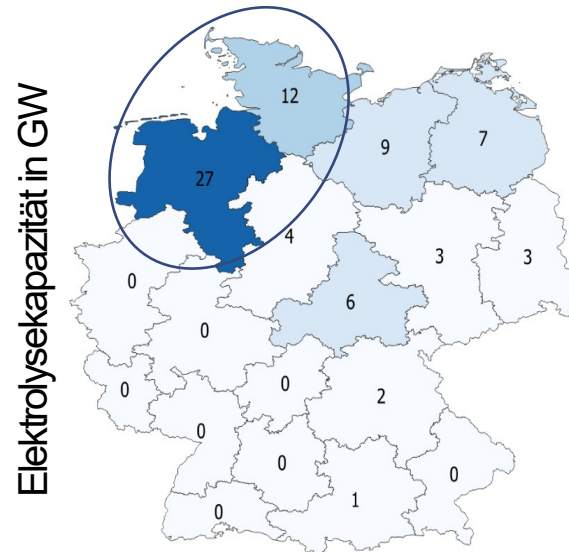
Autarkiegrad

Handels-Szenario



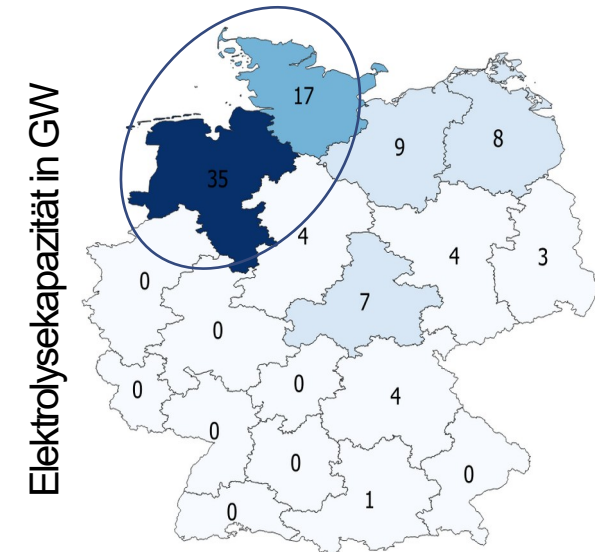
DE: 24 GW (-70%)

Referenz-Szenario



DE: 75 GW

Autarkie-Szenario

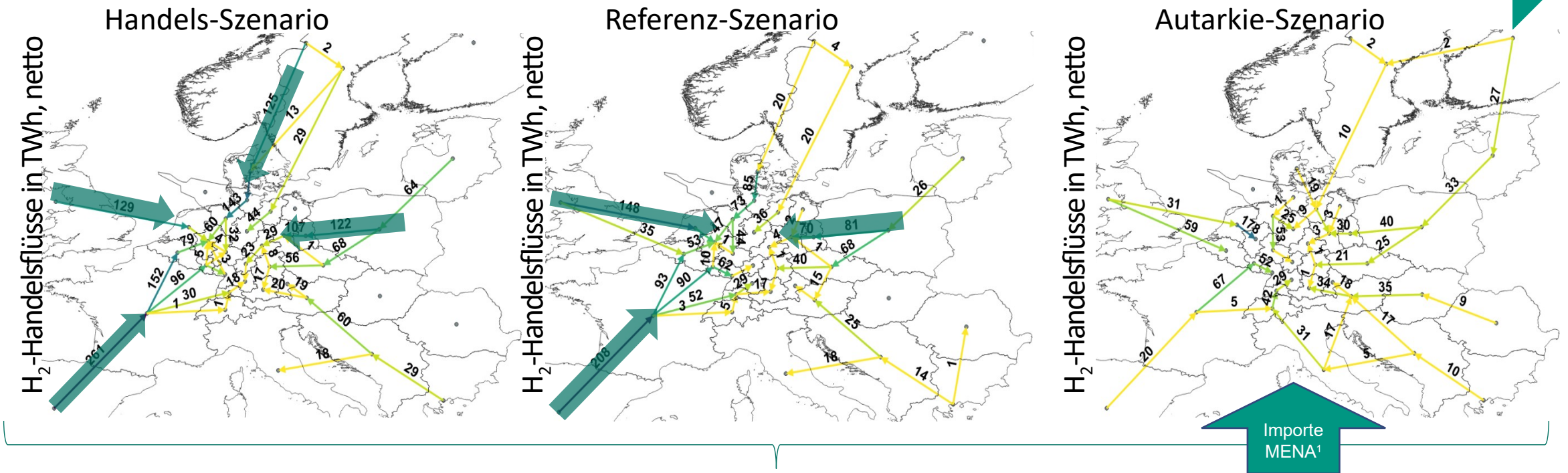


DE: 92 GW (+23%)

Ergebnisse

Einflüsse des Autarkiegrades: H₂ Flüsse

Autarkiegrad



Europäische Expansion des H₂-Netzes kostenoptimal,
Außereuropäische Importe bei erhöhtem Autarkiegrad notwendig

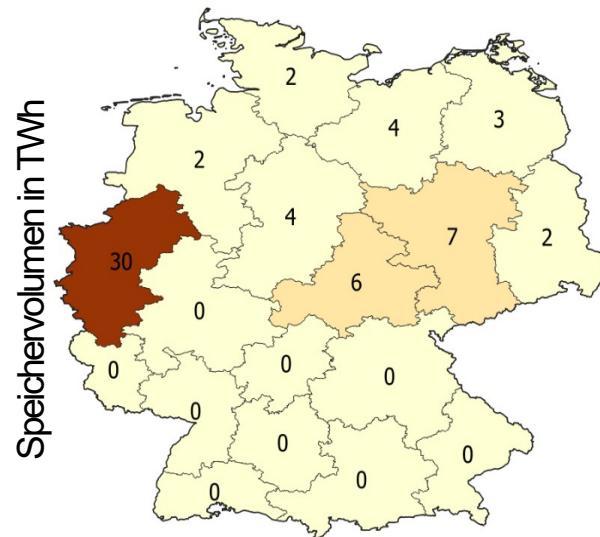
1: Middle East and North Africa (MENA)

Ergebnisse

Einflüsse des Autarkiegrades auf H₂ Speicher

Autarkiegrad

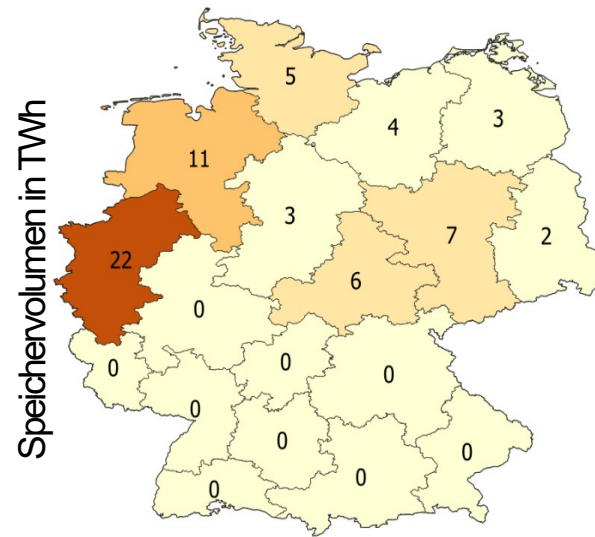
Handels-Szenario



DE: 59 TWh (-6%)

EU: 307 TWh (+10%)

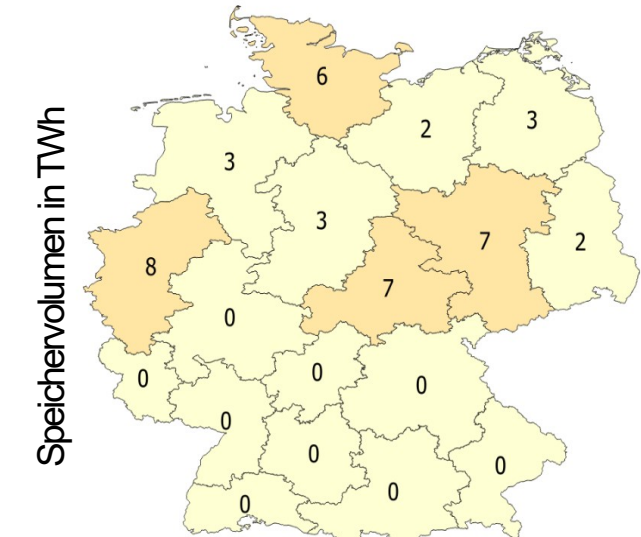
Referenz-Szenario



DE: 63 TWh

EU: 282 TWh

Autarkie-Szenario



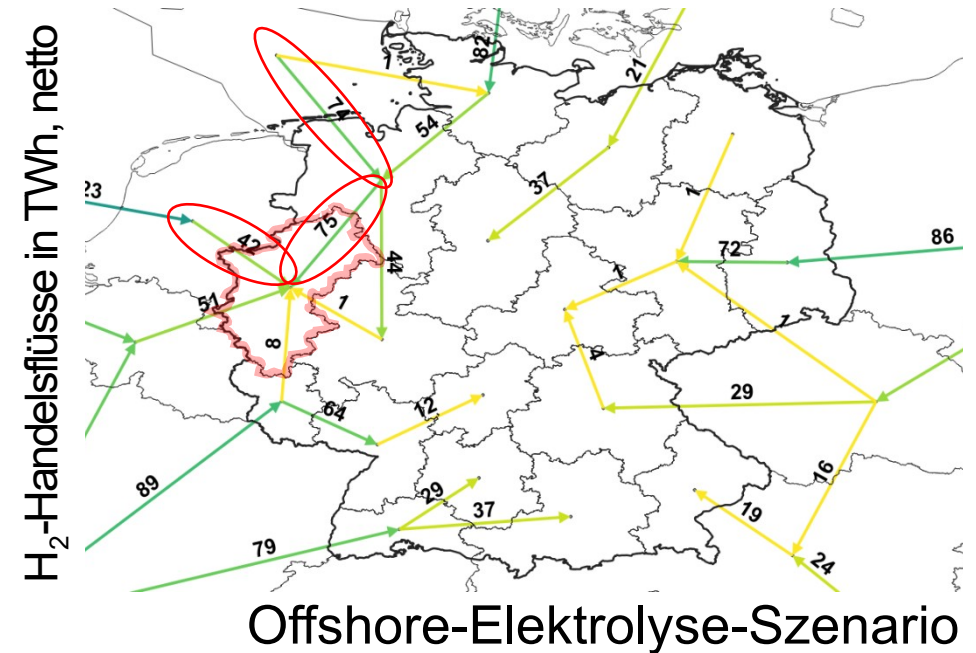
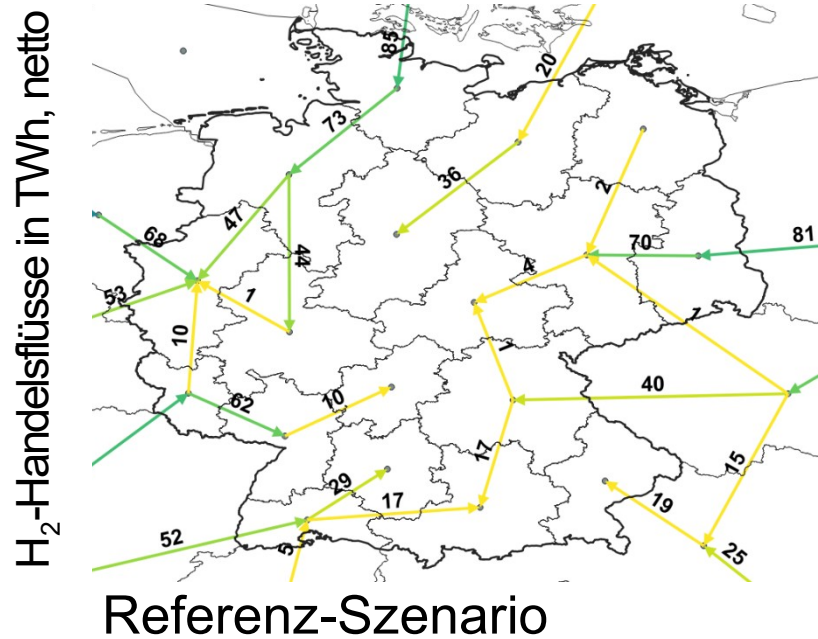
DE: 41 TWh (-35%)

EU: 208 TWh (-26%)

Ergebnisse

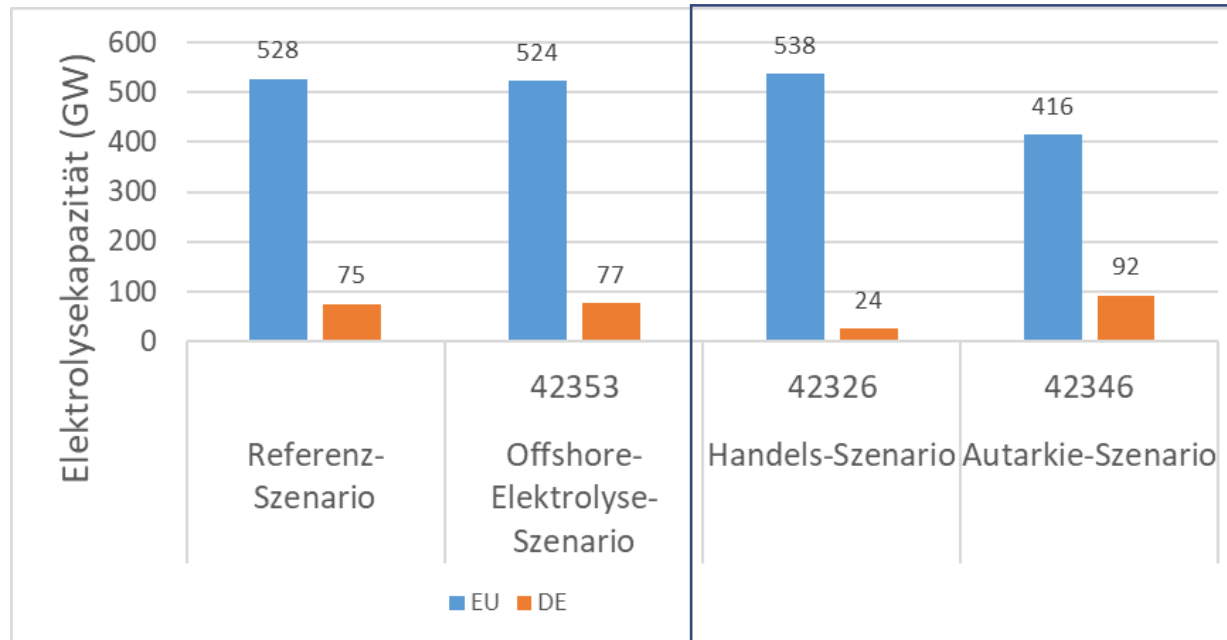
Einflüsse von Offshore-Elektrolyse

- Beeinflussung der H₂-Handelsbilanzen:
 - lediglich die Importrouten in Cluster mit höchster H₂-Nachfrage im Westen Deutschlands werden verändert



Diskussion

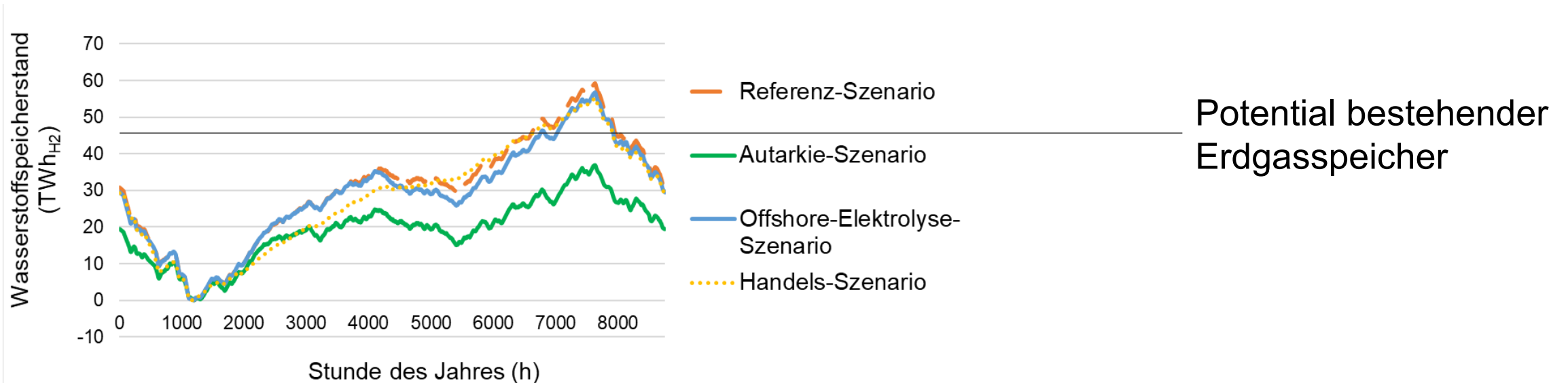
Vergleich der Szenarien: Elektrolyse



- Bestimmende Determinanten: Restriktionen bzgl. Autarkiegrad
- Räumliche Verteilung durch Windenergie-Erzeugung bestimmt

Diskussion

Vergleich der Szenarien: H₂ Speicher



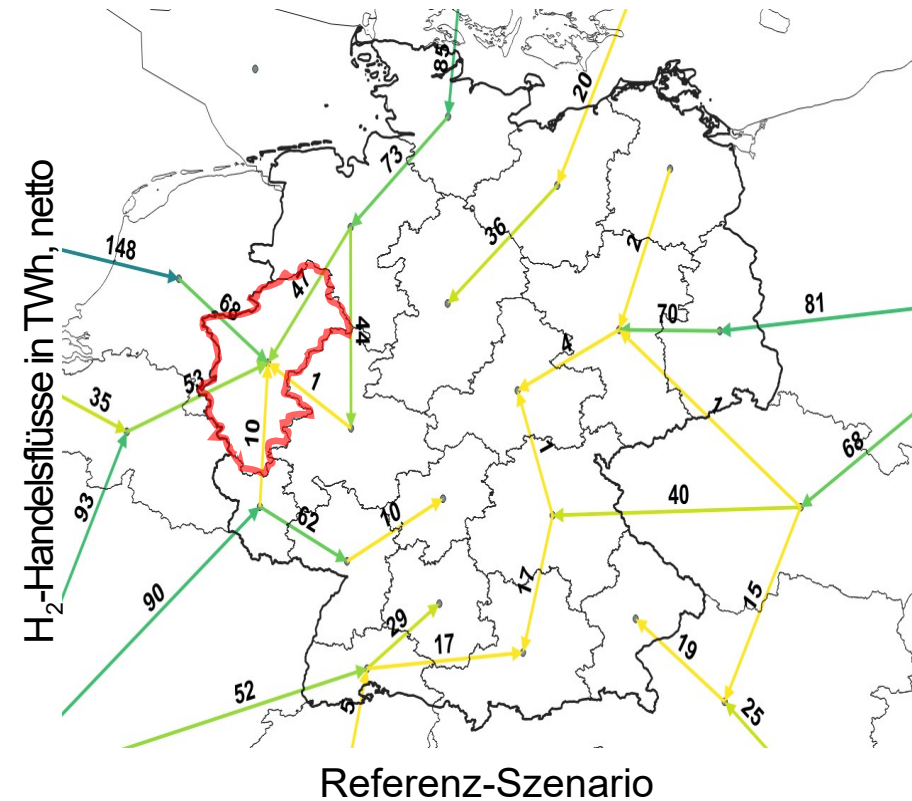
- Bedarf an Speichern abhängig von Rückverstromungsmenge und Anbindung an europäische Speicher bzw. MENA-Region
- Positionierung in der Nähe der Wasserstoffnachfrage

Diskussion

Einflüsse auf die H₂ Infrastruktur

H₂ Handelsflüsse

- H₂ Netzstruktur in Deutschland in allen Szenarien sehr ähnlich:
 - Nord-Süd-Transport bis zur Mitte Deutschlands
 - Hauptfluss von Schleswig Holstein in Richtung Hauptnachfragecluster im Westen
 - lediglich Unterschiede in den Ausprägungen der H₂ Flüsse
- Importrouten:
 - GB, iberische Halbinseln, Polen
 - Außereuropäische Importe



Fragen?



Quellen

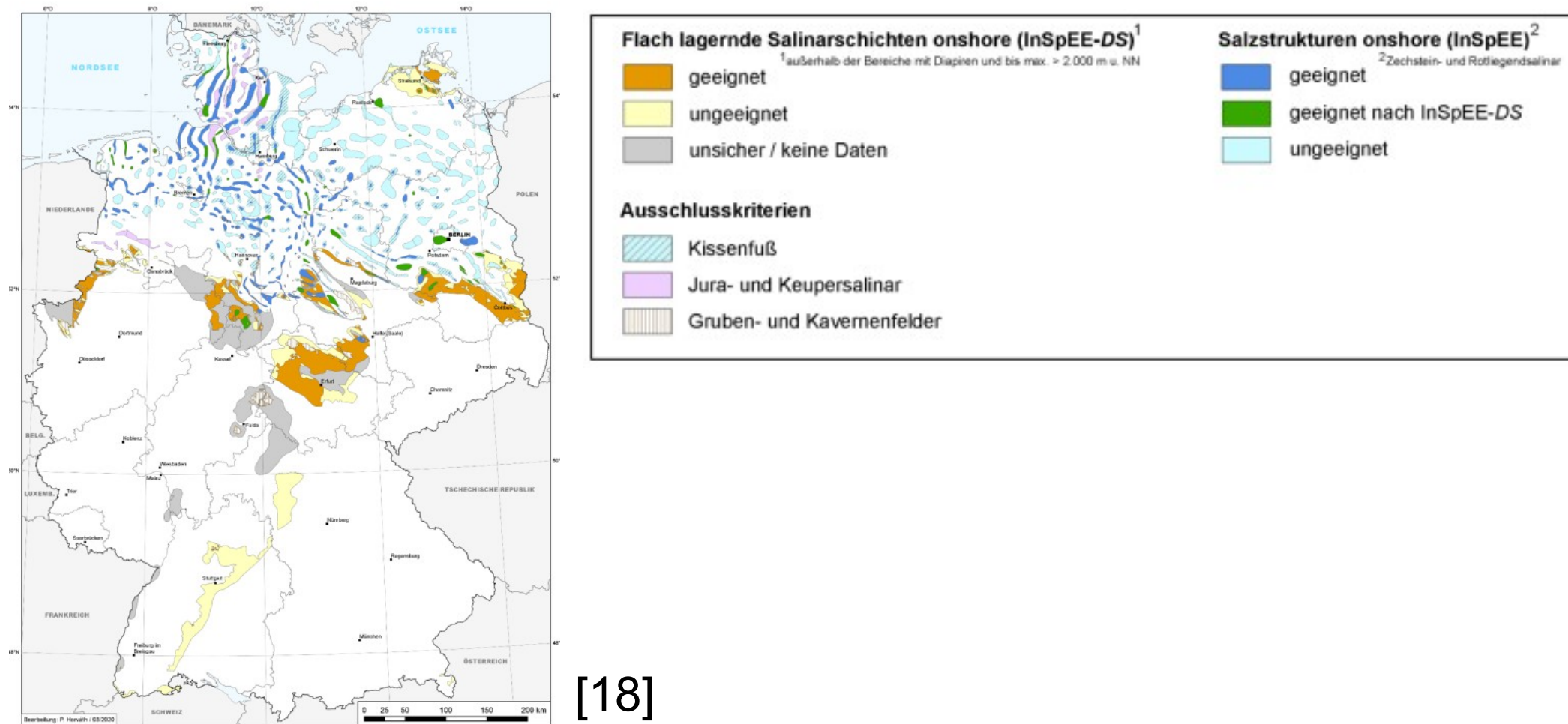
- [1] Bild Wasserstoffspeicher aus <https://www.chemie-zeitschrift.at/wp-content/uploads/2016/01/Wasserstoffspeicher-1.jpeg>, Stand 27.09.2022
- [2] Neumann F., Zeyen E., Victoria M. und Brown T.: Benefits of a Hydrogen Network in Europe. 12.07.2022. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.05816>. [3] Husarek, Dominik, Jens Schmutge und Stefan Niessen: Hydrogen supply chain scenarios for the decarbonisation of a German multi-modal energy system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(76):38008–38025, 2021.
- [3] Husarek D., Schmutge J. und Niessen S.: Hydrogen supply chain scenarios for the decarbonisation of a German multi-modal energy system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(76):38008–38025, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.041>.
- [4] Lux B., Deac G., Kiefer C. P., Kleinschmitt C., Bernath C., Franke K., Pfluger B., Willemsen S. und Sensfuß F.: The role of hydrogen in a greenhouse gas-neutral energy supply system in Germany. *Energy Conversion and Management*, 270:116188, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116188>.
- [5] Frysztacki M. M., Recht G. und Brown T.: A comparison of clustering methods for the spatial reduction of renewable electricity optimisation models of Europe. *Energy Informatics*, 5(1):1–28, 2022. <https://doi.org/10.1186/s42162-022-00187-7>.
- [6] Sensfuß F, Lux B., Bernath C., Kiefer C., Pfluger B., Kleinschmitt C., Franke K., Deac G., Brugger H., Fleiter T., Rehfeldt M., Herbst A., Manz P., Neuwirth M., Wietschel M., Gnann T., Speth D., Krail M., Mellwig P., Blömer S., Tersteegen B., Maurer C., Ladermann A., Dröscher T., Willemsen S., Müller-Kirchenbauer J., Giehl J., Hilaire M., Schöngart S., Kurre A., Hollnagel J. und Mikulicz-Radecki F.: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland: Treibhausgasneutrale Szenarien: Kurzzusammenfassung Stand 18.05.2021, 2021. [online] https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-wAssets/docs/LFS3_Executive_Summary_2021_05_19_v19.pdf [zul. geprüft am 25.09.2022].

Quellen

- [8] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, consentec GmbH, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Lehrstuhl für Energie- und Ressourcenmanagement der TU Berlin. Langfristszenarien. [online] Available from: <https://www.langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/>. [zul. Geprüft am 05.12.2022]
- [9] Diettrich J., Pluta A. und Medjroubi W.: SciGRID gas IGGIELGN. Zenodo, 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4767098>.
- [10] Eurostat: Statistical regions in the European Union and partner countries: NUTS and statistical regions 2021 : 2020 edition. Manuals and guidelines. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020.
- [11] Hartner M, Forthuber S., Kranzl L., Fritz S., Aichinger E., Müller A., Herbst A., Fleiter T., Rehfeldt M., Heitel S., Krail M., Köhler J., Bernath C. und Sensfuß F.: SET-NAV Project: Navigating the Roadmap for Clean, Secure and Efficient Energy Innovation: D.5.8: WP5 Summary report - Energy Systems: Demand perspective, 2019. [online] https://www.set-nav.eu/sites/default/files/common_files/deliverables/D5.8%20SET-Nav_WP5_Summary_report_final.pdf [zul. geprüft am 11.12.2022].
- [13] Hörsch J., Neumann F., Hofmann F., Schlachtberger D., Frysztacki M., Hampp J. und Brown T.: PyPSA-Eur: An Open Optimisation Model of the European Transmission System (Dataset). Zenodo, 2021. [online] <https://zenodo.org/record/5521712> [zul. geprüft am 11.12.2022].
- [14] Singlitico A., Østergaard J. und Chatzivasileiadis S.: Onshore, offshore or in-turbine electrolysis? Techno-economic overview of alternative integration designs for green hydrogen production into Offshore Wind Power Hubs. Renewable and Sustainable Energy Transition, 1:100005, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rset.2021.100005>.
- [15] Gatzten C.: Verfügbarkeit und Kostenvergleich von Wasserstoff – Merit Order für klimafreundliche Gase in 2030 und 2045: Ein nachhaltiger Wärmesektor - Teil 1: Studie, 02.2022. [online] <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g202116-1-dvgw-verfuegbarkeit-kostenvergleich-h2.pdf> [zul. geprüft am 06.10.2022].
- [16] Bültemeier H.: Wasserstoff speichern - soviel ist sicher: Transformationspfade für Gasspeicher. 2022. [online] https://erdgasspeicher.de/wp-content/uploads/2022/06/20220617_DBI-Studie_Wasserstoff-speichern-soviel-ist-sicher.pdf [zul. geprüft am 10.10.2022].

Backup Folien

Vorkommen geeigneter Salzstrukturen



Quellen der Backup-Folien

- [17] Lux B., Gegenheimer J., Franke K., Sensfuß F. und Pfluger B.: Supply curves of electricity-based gaseous fuels in the MENA region. *Computers & Industrial Engineering*, 162:107647, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107647>.
- [18] Röhling, S.: Informationssystem Salz: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft): Doppelsalinare und flach lagernde Salzsichten: Teilprojekt Bewertungskriterien und Potenzialabschätzung. In *SpeEE-DS Sachbericht*. Hannover, 24.03.2020.
[online]
<https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/NutzungtiefererUntergrundCO2Speicherung/Downloads/InSpeeDSTPBewertungskriterien.pdf?blob=publicationFile&v=3>
[zul. geprüft am 01.12.2022].