Geo-techno-ökonomische Optimierung von Wasserstoffregionen

Promotionsvorhaben von: Friedrich Mendler

Tätig am: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Zur Promotion eingeschrieben an: Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme

Friedrich Mendler

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Bereich Wasserstofftechnologien

Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg

friedrich.mendler@ise.fraunhofer.de

+49 761 45882544

Geo-techno-ökonomische Optimierung von Wasserstoffregionen

Motivation

Die Schaffung einer grünen Wasserstoffwirtschaft ist unumgänglich zur vollständigen Klimaneutralität im Energie-, Industrie- und Transportsektor. Wasserstoff und darauf basierende Derivate sind besonders dann notwendig, wenn Anwendungen nicht direkt elektrifizierbar sind, wie beispielsweise in der chemischen und Stahlindustrie, sowie dem Langstrecken- und Schwerlastverkehr. Darüber hinaus hat Wasserstoff auch großes Potenzial in der Sektorenkopplung und als Speicher- und Transportmedium. Diese Einstellung ist in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft mittlerweile Konsens und trotzdem geht der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft nur sehr langsam voran. Das liegt an der Komplexität des Unterfangens, welche sich beispielsweise in folgenden Detailfragen äußert:

- Wie schaffen wir es Anlagen, Anwendung und Infrastruktur simultan zu entwickeln, dass immer die optimale Menge an Wasserstoff produziert und transportiert werden kann?
- Wo müssen diese Anlagen installiert werden und auf welche bestehende Infrastruktur kann zurückgegriffen werden?
- Wie können Akteure einer Region effizient zusammenarbeiten, um Investitionen zu teilen, Infrastruktur besser auszunutzen und Wirtschaftlichkeit durch Skaleneffekte zu erreichen?
- Welche Rolle spielen regionale Faktoren, wie existierenden Pipeline, Strom- und Schienennetze, sowie mögliche Importoptionen für Strom und Wasserstoff?

Um diese und weitere Fragestellungen beantworten zu können entwickle ich im Rahmen meiner Promotion ein räumlich aufgelöstes, dynamisches und technisch detailliertes Optimierungsmodell für regionale Wasserstoffsysteme. Die Entwicklung als ein nichtlineares Optimierungsmodell ist in der Wissenschaft einzigartig und ermöglicht die Integration realistischer physikalischer Gleichungen, komplexe ökonomische Zusammenhänge wie Skaleneffekte, sowie flexible Operations- und Entscheidungsstrategien in Aufbau und Betrieb der Wasserstoffwertschöpfungskette. Damit ist das Modell flexibel im Hinblick auf die integrierten Technologien, angestrebte Optimierungsziele, sowie die zu untersuchende Region. Spezieller Fokus der Promotion und des Modells sind dabei räumliche Fragestellungen wie Platzbedarf und Standorte der Anlagen, sowie Transportmöglichkeiten und -kosten. Dieser Fokus zeigt sich in der Vorsilbe „Geo-“ der klassischen techno-ökonomischen Analyse und prägt somit den Titel des Promotionsvorhabens. Um die räumlichen Aspekte optimal im Modell abbilden zu können, wird die Regionalisierung des Untersuchungsgebiets über aktuellste Clusteringverfahren der wichtigsten geographischen Faktoren entwickelt.

Die Anwendungsmöglichkeiten des Modells sind flexibel und reichen von großen Chemieparks über typische Wasserstoffmodellregionen in Deutschland bis zu weltweiten Exportstandorten für Wasserstoffderivate.

Die Flexibilität und besonders der technische Detailgrad über den nichtlinearen Modellaufbau bringen eine außergewöhnliche Komplexität mit sich. Besondere Optimierungsstrategien und Rechenleistung sind zum Lösen der Probleme nötig und Ergebnisse müssen richtig interpretiert werden. Somit stellt die Promotion auch ein Ausreizen der möglichen Modellkomplexität dar und soll aufzeigen, welche Vorteile aber auch welche Grenzen eine nichtlineare Optimierung bietet.

Status der Promotion

Zum aktuellen Zeitpunkt ist das Modell weitgehend entwickelt und wird in verschiedenen Anwendungen getestet. Alle notwendigen Technologien von der Stromerzeugung bis zur Wasserstoffanwendung sind im Modell abgebildet und die Funktionsweise aller Technologien und

Algorithmen wird verifiziert. Besonderes Augenmerk ist hierbei das Feintuning des Optimierungsalgorithmus.

Die angesprochene Regionalisierung mittels Clustering wurde abschließend entwickelt. Zur Auswahl des besten Algorithmus wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt, welche in einem wissenschaftlichen Paper festgehalten wurde. Die Veröffentlichung ist aktuell im Reviewprozess des Journals.

Eine weitere Veröffentlichung zur Methodik der geo-techno-ökonomischen Optimierung ist aktuell in der Entwicklung. Sie wurde bereits auf wissenschaftlichen Konferenzen vorgestellt (Beispielauszüge im nächsten Kapitel) und hat hohes Interesse erregt, sowie wertvolles Feedback bekommen.

Ein Teilprojekt der Promotion stellte die Entwicklung eines Submodells zur optimalen Positionierung von Wasserstofftankstellen zur Vernetzung früher Mobilitätsanwendungen dar (siehe Abbildung 3). Auch hier wurde eine Veröffentlichung erstellt, welche aktuell im Review des Journals ist.

Die Entwicklung des Modells findet im Rahmen eines der Wasserstoffleitprojekte des Bundesministeriums für Bildung und Forschung statt. Somit stellen Fragestellungen des Projekts auch erste Anwendungen dar, ein Fokus liegt auf den Wasserstoffmodellregionen Deutschlands. Darüber hinaus haben aber auch regionale und internationale Akteure Interesse bekundet, weitere Anwendungen werden vorbereitet.

Ausgewählte Beispielergebnisse

Zum besseren Verständnis des Modells sollen in diesem Kapitel Ergebnisse von vereinfachten Anwendungsfällen aufgezeigt werden. Die typische Wasserstoffwertschöpfungskette, welche auch in diesen Regionen optimiert wurde, ist in Abbildung 1 dargestellt. Strom wird aus erneuerbaren Energieanlagen, hauptsächlich Photovoltaik und Windkraftwerken gewonnen. Die Bedeutung der Flexibilisierung des Stromangebots und der Überbrückung von Dunkelflauten durch Wasserkraft, Biomasse oder Netzstrom wird typischerweise über Szenarien evaluiert. Der Strom wird zur Elektrolyse transportiert, wobei der Optimierer entscheidet, ob eine Installation der Elektrolyse am Standort der Stromgewinnung oder der Wasserstoffanwendung (oder beides) im jeweiligen Szenario vorteilhaft ist. Der Wasserstoff wird anschließend aufbereitet, wenn nötig gespeichert und mittels der jeweils optimalen Technologie transportiert und in die jeweilige Anwendung gebracht.

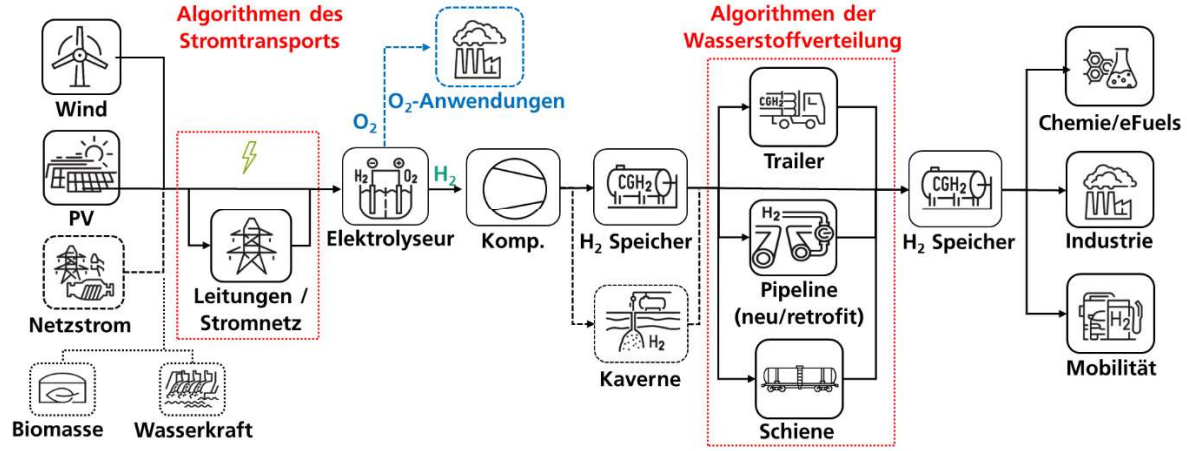
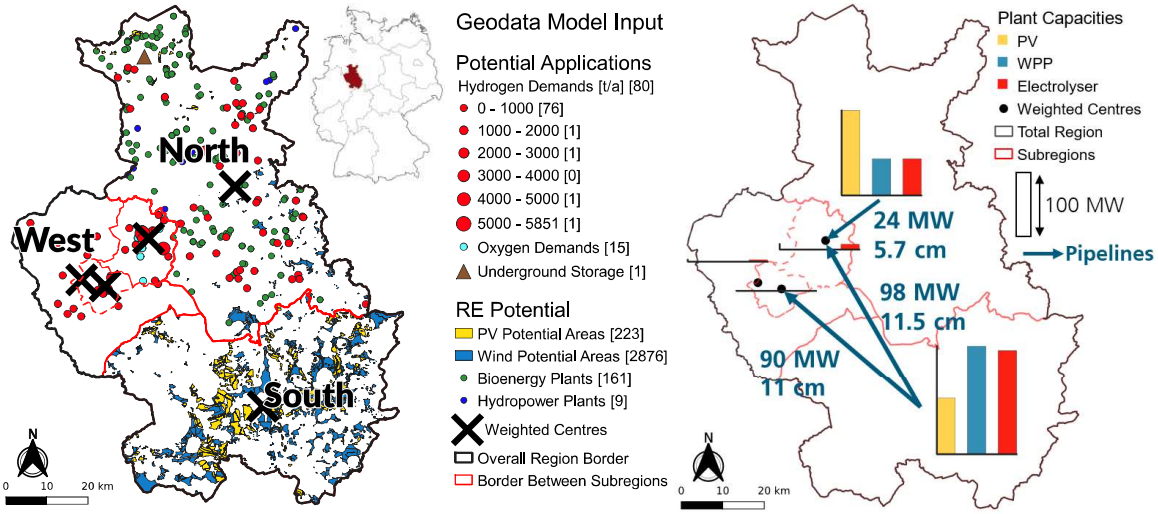


Abbildung 1: Wasserstoffwertschöpfungskette in der Geo-techno-ökonomischen Analyse

Beispielhafter Input (a)) und Ergebnis (b)) für eine ausgewählte Region (Ostwestfalen-Lippe in Nordwestdeutschland) für ein vereinfachtes Szenario mit nur fünf Teilregionen sind in Abbildung 2 dargestellt. Dabei ist in dem Szenario klar erkennbar, dass die Elektrolyseure (installierte Leistung dargestellt durch den roten Balken) in den Regionen der erneuerbaren Energieerzeugung (*North* und

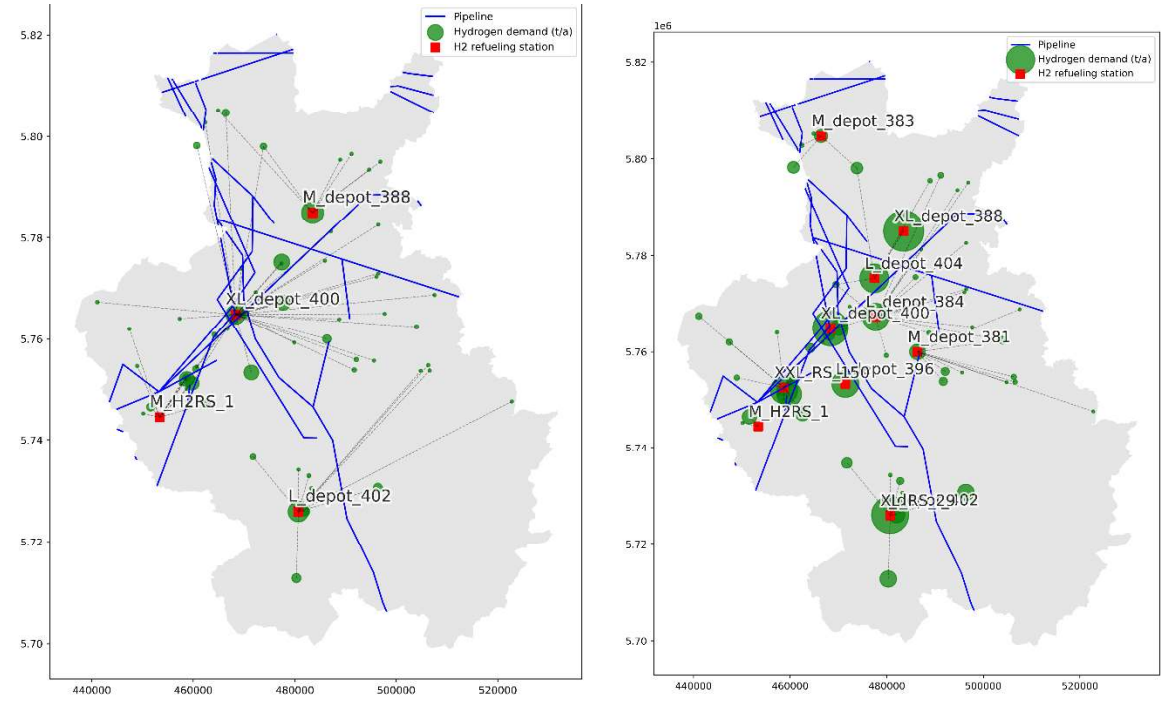
South) und nicht am in den Regionen mit den hauptsächlichen Anwendungen (Teilregionen von *West*) installiert werden. Dies ist in dem Fall durch den kostengünstigen Transport von großen Wasserstoffmengen per Pipeline favorisiert.



a) b)

Abbildung 2: a) Inputdaten sowie b) ausgewählte Ergebnisse für ein vereinfachtes Optimierungsszenario für die Wasserstoffwirtschaft von Ostwestfalen-Lippe

Die angesprochene Optimierung von Standorten für Wasserstofftankstellen ist schematisch in visualisiert. Ein Tankstellennetz wurde für den prognostizierten Bedarf der Mobilitätsbedarf aus Abbildung 2 a) für die Stützjahre 2030 (Abbildung 3 a)) und 2035 (Abbildung 3 b)) optimiert, wobei das Szenario 2035 auf den Ergebnissen von 2030 aufbaut. Die Optimierung der Tankstellenstandorte kann als separate Anwendung vorgenommen werden, stellt aber auch ein Zwischenschritt in der gesamten Modellkette der geo-techno-ökonomischen Optimierung dar.



a) b)

Abbildung 3: Optimales Wasserstofftankstellennetz für Ostwestfalen-Lippe in a) 2030 und b) 2035

Die gezeigten Ergebnisse stellen frühe Anwendungen in vereinfachten und stark verzerrten Szenarien dar. Sie verdeutlichen jedoch die Funktionsweise und das Potenzial einer räumlich aufgelösten, nichtlinearen Optimierung von Wasserstoffregionen.

Ausblick

Die Funktionsweise des Modells soll im nächsten Schritt über verschiedene Anwendungen verifiziert und das Potenzial bestätigt werden. Wissenschaftliche Veröffentlichung zur Methodik und zu zentralen Ergebnissen sind angestrebt. Sobald es final entwickelt ist, soll das Modell ein wertvolles Tool für die Untersuchung von Wasserstoffregionen darstellen. Es sollen Handlungsempfehlungen für wichtige Akteure der Energiewirtschaft aus Politik und Wirtschaft liefern und somit die Entwicklung der Wasserstoffwirtschaft und damit die Dekarbonisierung unserer Gesellschaft vorantreiben.

Meine Bewerbung im Rahmen des Energie-Campus verfolgt dabei zwei Ziele: Zunächst möchte ich meine Arbeiten, mein Modell und die enthaltenen Methoden einem interessierten Fachpublikum bekannt machen. Darüber hinaus strebe ich die Vernetzung mit weiteren Promotionsstudierenden an, welche meine Methoden prüfen, verbessern und bestenfalls übernehmen können. Somit freue ich mich über die Berücksichtigung meiner Bewerbung und auf die Möglichkeiten des vertieften Austauschs.

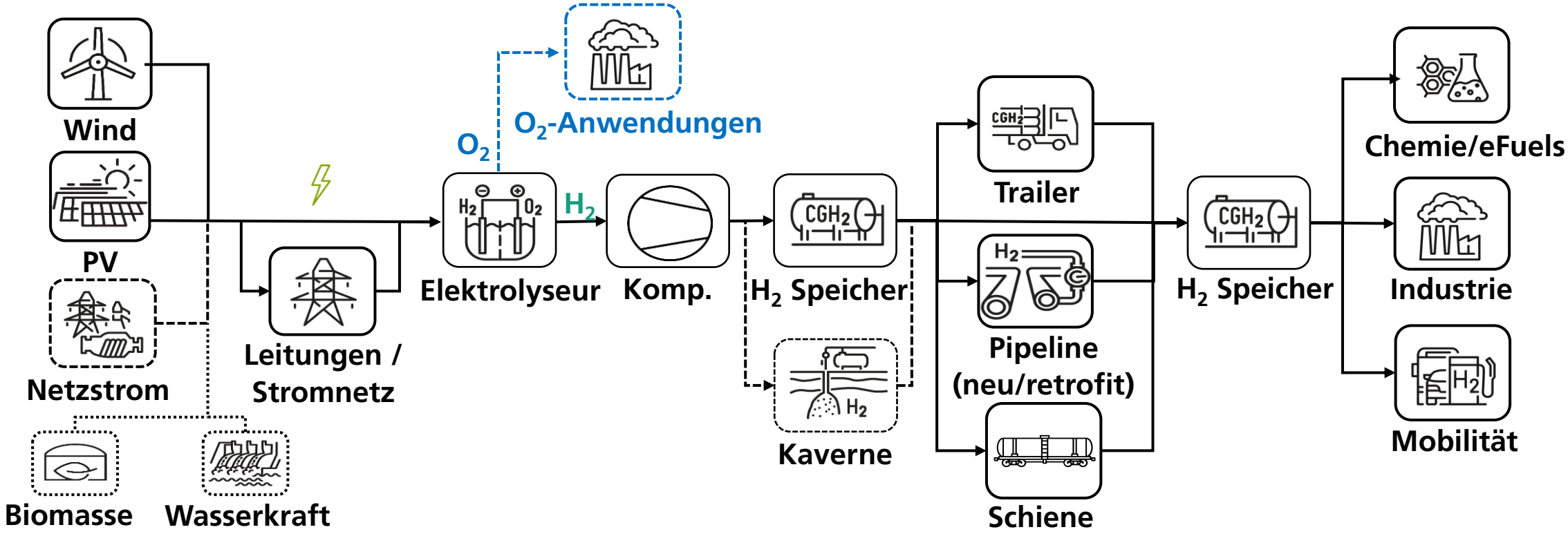
Geo-techno-ökonomische Optimierung von Wasserstoffregionen

Friedrich Mendler

Symposium „Energie-Campus“ der Stiftung Energie & Klimaschutz
Karlsruhe, 17.11.2023
www.ise.fraunhofer.de

Geo-techno-ökonomische Optimierung von Wasserstoffregionen

Gegenstand der Untersuchung: Die Wasserstoffwertschöpfungskette



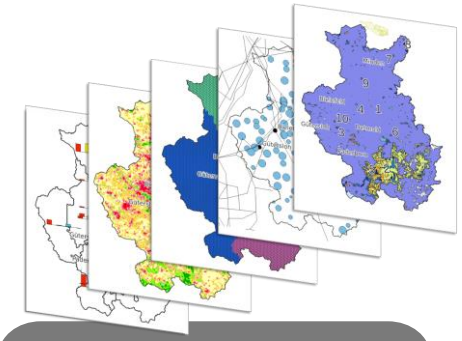
© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Diese Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsprogramms „TransHyDE-Sys - Systemanalyse zu Transportlösungen für grünen Wasserstoff“ (Förderkennzeichen 03HY201K)

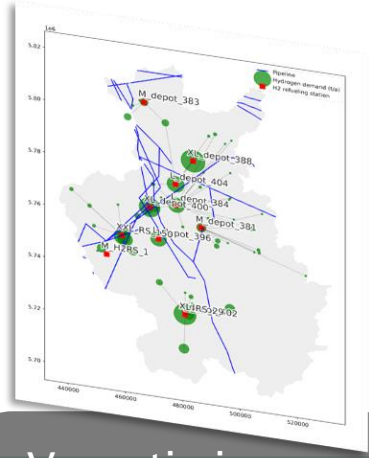
Fraunhofer ISE

Geo-techno-ökonomische Optimierung von Wasserstoffregionen

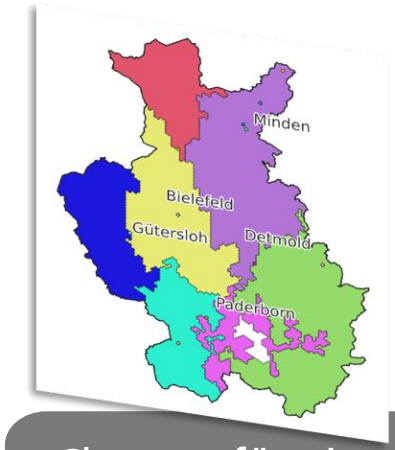
Struktur der Modellkette



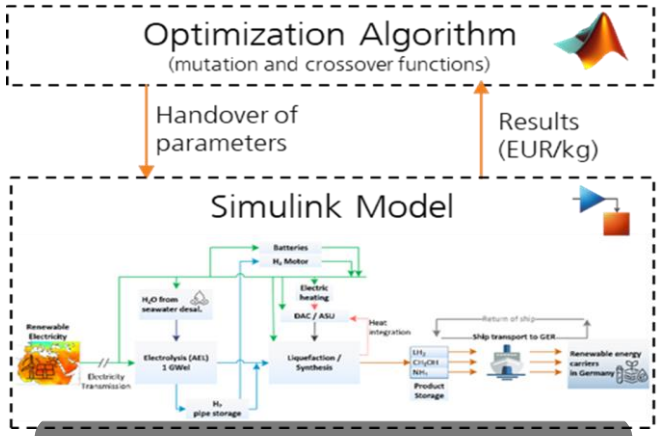
Auswahl und Aufbereitung der notwendigen Geodaten



Voroptimierung von Standorten für Wasserstoff-tankstellen zur Vernetzung der Bedarfe



Clustern für eine räumliche Auflösung basierend auf techn. und geogr. Gegebenheiten



Räumlich aufgelöstes Simulationsmodell für die Optimierung der gesamten Wasserstoff-wertschöpfungskette

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL

Diese Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsprogramms „TransHyDE-Sys - Systemanalyse zu Transportlösungen für grünen Wasserstoff“ (Förderkennzeichen 03HY201K)

Fraunhofer ISE

Geo-techno-ökonomische Optimierung von Wasserstoffregionen

Aktueller Status der Promotion

- Modellumgebung weitestgehend entwickelt, aktuell Validierungsphase
- Veröffentlichungen zu Clustering und Optimierung der Tankstellenstandorte im Review
- Veröffentlichung zur Methodik in Erarbeitung
- Anwendung des Modells im Forschungsprogramm TransHyDE-Sys zur Optimierung des Transformationsprozess von Regionen in Deutschland während der vorwiegend autarken Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft bis zum Anschluss an ein nationales Netz
  - Weitere Publikation geplant
- Anwendung des Modells in Regionen weltweit

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-INTERNAL
Diese Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsprogramms „TransHyDE-Sys - Systemanalyse zu Transportlösungen für grünen Wasserstoff“ (Förderkennzeichen 03HY201K)

Kontakt

Friedrich Mendler
Geschäftsbereich Wasserstofftechnologien
Tel. +49 12 3456-2544
friedrich.mendler@ise.fraunhofer.de