



Standortkompass für großskalige Elektrolyseanlagen

Entwicklungsagentur Region Heide AöR



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Entstanden im Rahmen der Forschungsprojekte

H2Giga-Projekt HyPLANT100

- demonstriert die intelligente Montage und modulare Aufstellung von Elektrolyseuren zu großskaligen Elektrolysesystemen (H₂Giga)

H2Giga-Projekt SYSTOGEN100

- Orchestrierung von Systemkomponenten für eine effiziente Grüne Wasserstoffinfrastruktur

WESTKUESTE100

- Reallabor zu grünem Wasserstoff für eine darkarbonsierte der Industrie

Förderung

Die Projekte wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen des Wasserstoff-Leitprojektes H₂Giga sowie den Reallaboren des 7. Energieforschungsprogramms gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Autoren

Verena Gerbaulet

Kay Haalck

Jana Rasch

Stand: 12/2025



Kurzfassung

Der Standortkompass für großskalige Elektrolyseanlagen wurde entwickelt, um potenzielle Flächen sowohl zu identifizieren als auch systematisch und vergleichbar zu bewerten. Es wurde im Vergleich zu anderen Bewertungstools auf eine deutlich breitere Betrachtung möglicher Kriterien gesetzt, da ein Standort inzwischen mehr bieten muss als Fläche, Wasser und Strom. Grundlage bildet daher ein umfassender Kriterienkatalog, der auch die Netzbedingungen, Abwärmenutzung sowie infrastrukturelle und marktbezogene Faktoren einbezieht. Ergänzt wird er durch Bonus-Kriterien wie Akzeptanz, Technologieumfeld oder Fördermöglichkeiten.

Die Methodik kombiniert GIS-gestützte Ermittlung von Weißflächen mit einer multikriteriellen Nutzwertanalyse. Der Einstieg kann dabei flexibel erfolgen: entweder bei der Identifizierung geeigneter Flächen oder direkt bei der Bewertung, wenn potenzielle Standorte bereits vorliegen. Für die Gewichtung der Kriterien wurde ein vereinfachter AHP-Ansatz mit Expertenbefragungen angewandt. So lässt sich am Ende der Zielerreichungsgrad eines Standortes prozentual darstellen und mit anderen Optionen vergleichen. Auch wurde durch die Bewertung von Beispielstandorten eine Einstufung der Standortqualität vorgenommen.

Eine exemplarische Anwendung in der Region Heide verdeutlicht die Vorgehensweise besonders im Rahmen der Weißflächenidentifizierung. Ergänzend steht ein Excel-Tool zur Verfügung, mit dem Anwender die Bewertung eigenständig durchführen sowie Gewichtungen und Annahmen bei Bedarf individuell anpassen können.

Damit liefert der Standortkompass eine praxisnahe Entscheidungshilfe für Planer und Projektierer, Kommunen und Unternehmen, die Elektrolyseprojekte vorbereiten und geeignete Flächen gezielter identifizieren und entwickeln möchten.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	iii
Abbildungsverzeichnis.....	v
1 Hintergrund und Zielsetzung	1
2 Methodik.....	3
2.1 Identifizieren von Potenzialflächen.....	3
2.2 Bewertung der Potenzialflächen.....	3
2.2.1 Auswahl der Kriterien.....	4
2.2.2 Definition von Zielerreichungsgraden.....	5
2.2.3 Gewichtung der Kriterien	5
2.2.4 Aggregation der Ergebnisse zu einem Gesamtnutzwert.....	6
2.2.5 Kritik der Methodik	6
3 Kriterien	8
3.1 Kriterien zur Identifizierung von Potenzialflächen.....	8
3.1.1 Ausschlusskriterien (ohne Prüfoption).....	9
3.1.1.1 Geschützte Naturräume.....	10
3.1.1.2 Schutzstreifen um Energieinfrastrukturen.....	12
3.1.1.3 Gebiete mit bestehender zweckgebundener Nutzung.....	13
3.1.1.4 Topografisch ungeeignete Flächen	14
3.1.2 Kriterien mit Prüfoption	15
3.1.2.1 Schützenswerte Naturräume	15
3.1.2.2 Gebiete mit Nutzungskonkurrenz	17
3.2 Bewertungskriterien.....	18
3.2.1 Fläche	18
3.2.1.1 Flächensicherung	18
3.2.1.2 Flächengröße.....	22
3.2.1.3 Flächentopografie	25
3.2.2 Wasser.....	30
3.2.2.1 Wasserbezugsoptionen.....	30
3.2.2.2 Wasserentnahmestellen	35
3.2.2.3 Wasserentsorgungsstellen	36
3.2.3 Strom- und Netzbedingungen	40
3.2.3.1 Baukostenzuschuss zum Netzanschluss.....	41
3.2.3.2 Entfernung Umspannwerk (Netzanschlusspunkt)	45

3.2.3.3 Netzdienlichkeit	47
3.2.4 Planungs- und Baurechtliche Voraussetzung.....	52
3.2.5 Infrastrukturelle Anbindung (Markt und Fachkräfte)	55
3.2.5.1 Anbindung für qualifizierte Mitarbeiter.....	55
3.2.5.2 Entfernung zum nationalen Wasserstoffnetz	59
3.2.5.3 Abnehmermarkt.....	64
3.2.6 Abwärme	66
3.2.6.1 Abwärmennutzung.....	67
3.2.6.2 Wegkühloptionen.....	69
3.3 Bonus-Kriterien	71
3.3.1 Technologieumfeld.....	71
3.3.2 Fachkräfte.....	72
3.3.3 Internet	74
3.3.4 Akzeptanz	74
3.3.5 Netzbedingungen	76
3.3.6 Fördermöglichkeiten	77
3.3.7 Baugrund	77
4 Gewichtung der Bewertungskriterien.....	79
5 Einordnung der Standortqualität.....	84
6 Exemplarische Standortbewertung am Beispiel Region Heide.....	85
6.1 Identifizierung von Potenzialflächen in der Region Heide	85
6.2 Bewertung der Potenzialflächen der Region Heide	88
7 Fazit und Ausblick	91
8 Literaturverzeichnis	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anwendung der unterschiedlichen Kriterien des Standortkompass zur Ermittlung des bestmöglichen Standortes.....	8
Abbildung 2: Screenshot Kartenansicht Digitaler Atlas Nord	19
Abbildung 3: Abschätzung Flächenbedarf Elektrolyseanlagen	23
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Wasseraufbereitung zu Trink- und Reinstwasser	37
Abbildung 5: Schematische Darstellung OnShore Netzanschluss.....	40
Abbildung 6: Leitungsausbau in Schleswig-Holstein	41
Abbildung 7: Auszug aus dem Positionspapier der Übertragungsnetzbetreiber zu regionalen Preissignalen für mehr Kosteneffizienz im Übertragungsnetz.....	43
Abbildung 8: Redispatch Potenzial 2035	50
Abbildung 9: Grafik des genehmigten Wasserstoffkernnetzes in Deutschland	62
Abbildung 10 Boxplot Auswertung der Ergebnisse.....	81
Abbildung 11: Einzeichnen von kritischen Infrastrukturpunkten	85
Abbildung 12: A: Radien von 10km um wichtige Infrastrukturpunkte und die Region Heide einzeichnen;	86
Abbildung 13: Anzeigen aller Ausschlusskriterien und Kriterien mit Prüfoption.....	86
Abbildung 14: Identifizierung von Weißflächen.....	87
Abbildung 15: Detailliertere Flächenbetrachtung von Potenzialfläche B und C87	
Abbildung 16: Beispielhafte Standortidentifizierung Norderwörden.....	88
Abbildung 17: Beispielhafte Standortidentifizierung Wörden.....	89
Abbildung 18: Beispielhafte Standortidentifizierung Hemmingstedt.....	89

1 Hintergrund und Zielsetzung

Die Energiewende erfordert nicht nur den massiven Ausbau erneuerbarer Energien, sondern auch den Aufbau einer leistungsfähigen Wasserstoffwirtschaft. Wasserstoff gilt als zentraler Energieträger, um Industrieprozesse, den Verkehrssektor und Teile der Energieversorgung klimaneutral zu gestalten.

Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) verfolgt die Bundesregierung das Ziel, Deutschland zu einem Leitmarkt für Wasserstofftechnologien zu entwickeln. Auch wenn ein erheblicher Teil des künftigen Bedarfs durch Importe gedeckt werden wird, soll bewusst ein relevanter Anteil in Deutschland selbst produziert werden. Damit werden nicht nur Versorgungssicherheit und regionale Wertschöpfung gestärkt, sondern auch die Abhängigkeit von internationalen Energieimporten verringert. Der Aufbau einer eigenen Wasserstoffwirtschaft vor Ort trägt somit zur energiepolitischen Souveränität und zur Krisenresilienz bei.

Der Standortkompass ist gezielt auf Elektrolyseanlagen ab einer Leistung von 100 MW ausgerichtet. Diese Größenordnung ist notwendig, um den industriellen Maßstab perspektivisch zu erreichen¹. Ab dieser Anlagengröße ist zudem in der Regel ein direkter Anschluss an die 380-kV-Ebene möglich, um die benötigten Strommengen sicher und netzdienlich aufnehmen zu können. Als Realisierungshorizont wird das Jahr 2030 gewählt, da bis dahin zentrale infrastrukturelle, regulatorische und technologische Voraussetzungen geschaffen sein sollen – von der Inbetriebnahme des Wasserstoffkernnetzes bis hin zu signifikanten Kostendegressionen der Elektrolysetechnologien.

Der Standortkompass ist grundsätzlich darauf ausgelegt, Standorte in ganz Deutschland bewerten zu können. Aufgrund der bau- und planungsrechtlichen Hoheit der Länder können jedoch keine detaillierten Aussagen zur jeweiligen rechtlichen Situation in jedem Bundesland getroffen werden. Der Standortbezug der Verfasser orientiert sich daher vorrangig an den rechtlichen Gegebenheiten in Schleswig-Holstein. Auf Basis der hier angewandten Methodik lassen sich die Ergebnisse jedoch auf andere Bundesländer übertragen.

¹ Projekte wie der Hamburg Green Hydrogen Hub in Moorburg (100 MW, Baubeginn 2025, Inbetriebnahme ab 2027 geplant) oder das von H2APEX und Copenhagen Infrastructure Partners entwickelte Lubmin-Projekt (erste Ausbaustufe 100 MW bis 2028, perspektivisch >1 GW) verdeutlichen, dass Elektrolyseure ab 100 MW in der Praxis als industrieller Maßstab umgesetzt werden

Ziel des Standortkompasses ist es, eine praxisnahe und frühzeitig anwendbare Entscheidungshilfe für Unternehmen, Kommunen und Politik bei der Standortwahl für Elektrolyseure bereitzustellen. Er soll es ermöglichen, potenzielle Standorte vorab ,durch Recherchearbeit vom Schreibtisch aus' zu prüfen und durch die ermittelte Standortqualität miteinander zu vergleichen. Dazu wurde ein Kriterienkatalog entwickelt, der technische, wirtschaftliche, ökologische und soziale Faktoren berücksichtigt. Die Ergebnisse lassen sich in Form eines Zielerreichungsgrades darstellen und so für eine transparente Priorisierung nutzbar machen. Ergänzend wird ein Excel-Tool bereitgestellt, mit dem Gewichtungen individuell angepasst und eigene Standortbewertungen durchgeführt werden können. Praxisnahe Tipps werden in diesem Dokument mit folgendem Symbol gekennzeichnet:

Tipp

Insgesamt verfolgt der Standortkompass das Ziel, den Aufbau einer heimischen Wasserstoffproduktion systematisch zu unterstützen, die regionale Standortentwicklung zu erleichtern und die Entscheidungsgrundlagen für Investitionen zu verbessern.

2 Methodik

Der vorliegende Standortkompass zur Identifizierung und Bewertung von geeigneten Standorten für Elektrolyseanlagen untergliedert sich in zwei Teilschritte. Im ersten Schritt werden durch das Einzeichnen von Ausschlussflächen in eine Karte der zu untersuchenden Region Potenzialflächen, sogenannte *Weißflächen*, identifiziert. Diese werden im zweiten Schritt mit Hilfe des hier entwickelten Kriterienkatalogs über eine Nutzwertanalyse bewertet und miteinander vergleichbar gemacht.

2.1 Identifizieren von Potenzialflächen

Um überhaupt verschiedene Standorte für Elektrolyseure vergleichen zu können, müssen zunächst potenzielle Standorte identifiziert werden. Hierzu werden in diesem Leitfaden zu Beginn Kriterien definiert, welche die Errichtung einer Elektrolyseanlage unter Umständen ausschließen. Dabei sind zwei verschiedene Arten von Ausschlusskriterien zu unterscheiden: Ausschlusskriterien (ohne Prüfoption) und Ausschlusskriterien mit Prüfoption. Unter *Ausschlusskriterien ohne Prüfoption* fallen zum Beispiel Naturschutzgebiete, in denen die Umsetzung grundsätzlich nicht oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich wäre, aber auch Biotope bei denen der Prüfbedarf als sehr hoch eingeschätzt wird und damit keine realistische Option darstellen. Unter *Ausschlusskriterien mit Prüfoption* fallen zum Beispiel Windvorranggebiete, in denen aktuell keine Flächen für Elektrolyseanlagen vorgesehen sind, eine Nutzungsänderung aber prinzipiell möglich ist. Bei der Auswahl der Kriterien wurden in erster Linie an bereits existierenden Weißflächenkatastern für Photovoltaikfreiflächenanlagen sowie Erfahrungswerte aus der Regionalplanung der Entwicklungsagentur Region Heide mit einbezogen.

Durch Einzeichnung dieser Ausschlussflächen in eine geeignete Karte können dann potenzielle Elektrolysestandorte identifiziert werden, hierbei sind Weißflächenstandorte von den Standorten mit Prüfoption zu unterscheiden. Die Standorte mit Prüfoption sind bei der Standortbewertung grundsätzlich mit zu betrachten. Gegenüber den Standorten ohne Prüfoption müssen diese allerdings signifikant besser abschneiden, um als Standort weiterhin in Betracht gezogen zu werden.

Um die Weißflächen weiter einzugrenzen, können Radien um kritische Infrastruktur wie Umspannwerke, Wasserquellen oder das nationale Wasserstoffnetz gezogen werden.

2.2 Bewertung der Potenzialflächen

Zur Bewertung der sich ergebenden Potenzialflächen bzw. möglicher Elektrolysestandorte eignen sich insbesondere multikriterielle Bewertungsmethoden. Diese kommen dann zum Einsatz, wenn klassische Optimierungen an ihre Grenzen stoßen (Oberschmidt, 2010 S.55). Gerade bei der

Standortbewertung reicht eine Optimierung bezüglich einer Größe wie zum Beispiel der Kosten, nicht aus. Zum einen soll es hier um eine erste, schnelle Einschätzung der potenziellen Standorte gehen, und da sind beispielsweise Entfernungen zu kritischer Infrastruktur wesentlich schneller abzuschätzen als die dazugehörigen Anschlusskosten. Und zum anderen sollen auch Kriterien wie die *Anbindung qualifizierten Mitarbeitern* (siehe Kap. 3.2.5.1) mit bewertet werden, welche sich nur schwer monetarisieren lassen. Multikriterielle Bewertungsverfahren lassen hingegen auch qualitative Bewertungen zu und können helfen, komplexe Entscheidungsprobleme unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien und Alternativen zu strukturieren (Geldermann, 2014, S.4).

Innerhalb der multikriteriellen Bewertungsmethoden wird zwischen dem Multiple Objective Decision Making (MODM) und Multiple Attribute Decision Making (MADM) unterschieden. MODM-Methoden werden zur Lösung von Optimierungsproblemen mit mehreren Zielgrößen auf Basis mathematischer Berechnungen angewendet. MADM-Methoden hingegen kommen zum Einsatz, sobald es sich um eine abzählbare Menge von Alternativen handelt und die beste Alternative aus einer gegebenen Menge basierend auf mehreren Kriterien ausgewählt werden kann [Geldermann, 2014, S.10]. Da es sich bei der Bewertung von potenziellen Elektrolysestandorten um eine begrenzte Menge von Alternativen handelt und diese anhand von verschiedenen Kriterien bewertet werden können, bieten MADM-Methoden in diesem Fall den passenden Gestaltungsrahmen.

Innerhalb der MADM-Methoden kann weiter zwischen der amerikanischen und der europäischen/französischen Schule unterschieden werden. Die amerikanische Schule geht davon aus, dass jeder Alternative ein Gesamtnutzen als Summe der Teilnutzen zugeordnet werden kann. Dabei können sich gute und schlechte Kriterienausprägungen vollständig kompensieren. Als Resultat bekommt der Entscheidungsträger durch den Nutzwert eine klare Rangfolge der Alternativen. Klassische Methoden in diesem Bereich sind die Nutzwertanalyse und der Analytic Hierarchy Process (AHP), welche in der vorliegenden Bewertung Anwendung finden. Im Gegensatz dazu besteht bei der europäischen/französischen Schule auch die Möglichkeit, schwache Präferenzen und Unvergleichbarkeiten darzustellen (Roy & Bouyssou, 2010, S.60).

2.2.1 Auswahl der Kriterien

Für die Auswahl der Kriterien wurden zunächst möglichst vollumfänglich alle Standortfaktoren gesammelt. Hierbei wird zum einen auf die eigenen Erfahrungen der Entwicklungsagentur Region Heide zurückgegriffen als auch eine Sichtung der vorhandenen Literatur sowie Experteninterviews zu diesem Thema durchgeführt. Anschließend wurden die Standortfaktoren dahingehend beurteilt, ob sich eine Bewertung dieser aus einer „Recherche vom Arbeitsplatz“ heraus realisieren lässt oder ob dafür umfassendere Ermittlung bzw. Anfragen durchgeführt werden müssen. Wurden mit Hilfe der

ersten Bewertung gut geeignete Standorte identifiziert, können durch eine aufwendigere Analyse der *Bonus-Kriterien* (siehe Kap. 3.3) weitere Rahmenbedingungen eines Standortes bewertet und unter den gut geeigneten Standorten die beste Alternative identifiziert werden. Diese Bewertung kann dann als Basis dienen den aus der Bewertung herausgehend besten Standort für ein Großelektrolyseprojekt zu entwickeln.

2.2.2 Definition von Zielerreichungsgraden

Um die Kriterien vergleichbar zu machen und am Ende einen Gesamtnutzwert ausrechnen zu können, werden im nächsten Schritt, in Anlehnung an eine ABC-Analyse, zu jedem Kriterium 3 Zielerreichungsgrade definiert. Ein wesentlicher Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sie sowohl qualitative als auch quantitative Kriterien integriert und deren Vergleichbarkeit ermöglicht.

Ein Standort kann folglich bis zu 3 Punkte für ein Kriterium bekommen. Beispielhaft kann hier das Kriterium *Entfernung zum nationalen Wasserstoffkernnetz* herangezogen werden: 3 Punkte bekommt ein Standort bei einer Entfernung zum nationalen Wasserstoffkernnetz von bis zu 1 km, 2 Punkte bei einer Entfernung zwischen 1 und 5 km, 1 Punkt bei einer Entfernung zwischen 5 und 10 km. 0 Punkte ergeben sich für eine Entfernung des Standortes zum nationalen Wasserstoffkernnetz, die größer als 10 km ist. Die Einteilung der Zielerreichungsgrade erfolgt wiederum aus Erfahrungswerten innerhalb der *Entwicklungsagentur Region Heide* sowie im Rahmen von Interviews mit ausgewählten Projektierern im Bereich Wasserstoff.

2.2.3 Gewichtung der Kriterien

Um auch fachfremden Personen und Institutionen eine Bewertung von Standorten zu ermöglichen, wurde in diesem Standortkompass eine allgemeingültige Tendenz in der Gewichtung der Kriterien geschaffen, die auf einer Befragung mehrerer Experten basiert. Hierfür wurde zur Gewichtung der Kriterien der Analytic Hierarchy Process (AHP)² herangezogen. Die Kriterien für die Standortbewertung wurden zwar in Haupt- und Unterkriterien eingeteilt (Es gibt beispielsweise unter dem Hauptkriterium Fläche drei Unterkriterien: Flächensicherung, Flächengröße und Flächentopografie), jedoch sind die Bedeutungen der Unterkriterien eines Hauptkriteriums so unterschiedlich, dass von einer

² Der Analytic Hierarchy Process (AHP) ist ein Entscheidungsverfahren zur strukturierten Gewichtung von Kriterien. Es wurde von Thomas L. Saaty (1980) entwickelt und basiert auf paarweisen Vergleichen, um relative Prioritäten zwischen Alternativen oder Kriterien zu bestimmen.

unabhängigen Bewertung der Haupt- und Unterkriterien abgesehen wurde³. Alle 15 Unterkriterien wurden mittels eines Paarvergleichs miteinander verglichen. Innerhalb der Vergleichsmatrix wurde aufgrund der Vielzahl von Kriterien eine vereinfachte Skala (wichtiger=2, gleich wichtig=1, unwichtiger=1/2) angewendet. Anschließend wurde aus den ermittelten Einzelgewichtungen der Teilnehmer eine durchschnittliche Gewichtung der Kriterien erstellt.

Personen bzw. Institutionen, die den vorliegenden Leitfaden in der Praxis anwenden möchten und eine tiefergehende Kompetenz im Wasserstoffsektor haben, steht es frei die Standortkriterien entsprechend ihrer Projektziele bzw. Unternehmensziele individuell erneut zu gewichten.

2.2.4 Aggregation der Ergebnisse zu einem Gesamtnutzwert

Die Kriterienausprägungen (erreichten Zielerreichungsgrade) sowie die Gewichtungen der Kriterien werden im Rahmen einer Nutzwertanalyse zusammengeführt und vergleichbar gemacht.

Der Gesamtnutzen N bzw. die Standorttauglichkeit errechnet sich durch die Addition der Teilnutzen N_i welche sich aus der Multiplikation der Zielerreichungsgrade der Kriterienausprägung n_i mit der prozentualen Gewichtung g_i des Kriteriums ergeben:

$$N = \sum_{i=1}^n n_i * g_i$$

Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen, wird der Gesamtnutzen prozentual im Verhältnis zum maximal erreichbaren Nutzwert von $N_{max} = 3$ ausgedrückt. Im Anschluss kann die erreichte Standortqualität auf Basis von Beispielbewertungen eingeordnet werden (sehr gut/gut/nicht ausreichend).

2.2.5 Kritik der Methodik

Eine Herausforderung der multikriteriellen Bewertung und der Aggregation der Ergebnisse mittels eines Nutzwertes besteht darin, dass die Zusammenführung quantitativer und qualitativer Kriterien eine vermeintliche Präzision suggerieren kann, die tatsächlich nicht gegeben ist. Zudem ist zu berücksichtigen, dass diese Bewertungsmethode – insbesondere durch die Gewichtung der Kriterien – stets einen subjektiven Einfluss enthält. Gleichzeitig liegt genau darin ihre Stärke: Durch die

³ Theoretisch könnte man zunächst eine Gewichtung zwischen den Hauptkriterien herstellen und dann schauen wie sich die Gewichtung bei den einzelnen Hauptkriterien auf die Unterkriterien verteilt.

individuelle Gewichtung und die Einbindung qualitativer Aspekte können sowohl Unternehmensziele als auch persönliche Einschätzungen des Entscheidungsträgers berücksichtigt werden. Daher sollten die Ergebnisse nicht als absolute Wahrheit, sondern vielmehr als eine maßgeschneiderte Empfehlung auf Basis der gewählten Kriterien und deren Gewichtung verstanden werden.

3 Kriterien

Der Kriterienkatalog des Standortkompasses folgt einem mehrstufigen Aufbau. *Ausschlusskriterien* und *Kriterien mit Prüfoption* dienen zunächst der Identifizierung von Potenzialflächen und grenzen ungeeignete Gebiete aus. Anschließend ermöglichen die *Bewertungskriterien*, die verbleibenden Flächen systematisch miteinander zu vergleichen und ihre Standortqualität transparent einzuordnen. Weisen mehrere Standorte dabei eine ähnlich hohe Eignung auf, können im letzten Schritt zusätzlich die *Bonus-Kriterien* herangezogen werden. Diese erfordern zwar eine vertiefte Analyse oder zusätzliche Recherchen, erlauben jedoch eine feinere Differenzierung und machen besondere Standortvorteile sichtbar. Das Vorgehen ist in Abbildung 1 dargestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien vorgestellt und erläutert.

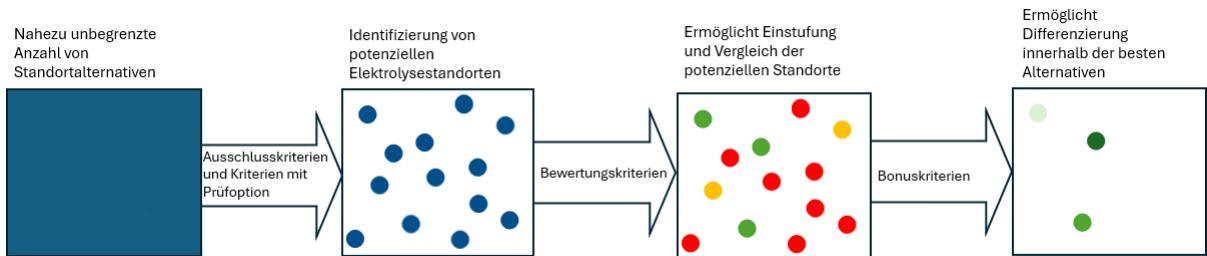


Abbildung 1: Anwendung der unterschiedlichen Kriterien des Standortkompass zur Ermittlung des bestmöglichen Standortes, eigene Darstellung

3.1 Kriterien zur Identifizierung von Potenzialflächen

Um eine Übersicht über potenzielle Standorte zu bekommen, empfiehlt es sich die regionsspezifischen Ausschlussgebiete und Gebiete mit Prüfoption in einer Karte darzustellen. Beispielhaft wurde dies im vorliegenden Standortkompass in Kapitel 6 für die Region Heide durchgeführt. *Tipp:* Als Programm eignet sich hierfür das open source GIS-Programm QGIS. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der ermittelten Ausschlusskriterien und Kriterien mit Prüfoption sowie deren Einstufung bezüglich der Umsetzbarkeit eines Elektrolysestandortes auf diesen Gebieten. In den folgenden zwei Unterkapiteln werden die einzelnen Kriterien genauer erläutert.

Tipp

Um den Potenzialraum weiter einzugrenzen, kann es sinnvoll sein, Radien, um kritische Infrastruktur für Elektrolyseure zu ziehen, innerhalb derer eine Umsetzung finanziell realistisch ist. Dies sind beispielsweise 10 km Radien um potenzielle Stromanschluss- & Wasserversorgungspunkte sowie um den potenziellen Abnehmer.

Tabelle 1: Übersicht der Ausschlusskriterien und Kriterien mit Prüfoption, eigene Darstellung

	Gebietstyp	Einstufung	
Ausschlusskriterium	Nationalparks	nicht umsetzbar	✗
	Naturschutzgebiete	nicht umsetzbar	✗
	Kernzonen Biosphärenreservate	nicht umsetzbar	✗
	Natura 2000 Gebiete	nicht umsetzbar	✗
	Ramsar-Gebiete	nicht umsetzbar	✗
	Nationale Naturmonumente	nicht umsetzbar	✗
	Vorranggebiete für Naturschutz	nicht umsetzbar	✗
	Fließgewässer, Uferzonen, Wasserschutzgebiete	nicht umsetzbar	✗
	Siedlungsgebiete inkl. Abstand von 500m	nicht umsetzbar	✗
	Sondergebiete Bund	nicht umsetzbar	✗
	Hangneigung >5% im 1km Raster	wirtschaftlich ungünstig	⚠
	Archäologisches Kulturdenkmal	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Hochwassergebiete / Überschwemmungsgebiete	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Vorbehaltsgebiet Natur und Landschaft	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Wiesenvogelschutzkulissen	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Biotope	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Biotopverbundsystem Schwerpunktbereiche und Verbundachsen	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Naturdenkmäler	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Wälder	Hoher Prüfbedarf	⚠
	Schutzstreifen um Energieinfrastrukturen	Hoher Prüfbedarf	⚠
Einordnung des Kriteriums im Standortkompass	Gebiete mit oberflächennahen Rohstoffen	Mittlerer Prüfbedarf	⚠
	Landschaftsschutzgebiete	Mittlerer Prüfbedarf	⚠
	Geotope	Mittlerer Prüfbedarf	⚠
	Naturparke	Mittlerer Prüfbedarf	⚠
	Windvorranggebiete	Mittlerer Prüfbedarf	⚠
	Hohe Ertragsfähigkeit des Bodens	Mittlerer Prüfbedarf	⚠
	Landschaftsschutzgebiet (Vorschlag)	Geringer Prüfbedarf	⚠
	Grünzäsuren und Grünzüge	Geringer Prüfbedarf	⚠
	Schutzabstände um Schutzgebiete	Geringer Prüfbedarf	⚠
	Ökokonto-/Kompensationsflächen	Geringer Prüfbedarf	⚠
	Knicks	Geringer Prüfbedarf	⚠
	Kulturlandschaften	Geringer Prüfbedarf	⚠

3.1.1 Ausschlusskriterien (ohne Prüfoption)

Anhand bereits existierender Potenzialstudien und Standortkonzepten zu Photovoltaikfreiflächenanlagen (Bspw. Potenzialstudie für Freiflächen-Photovoltaikanlagen (Amt Heider Umland, 2022)), einer Sichtung bereits existierender Literatur zu dem Thema sowie eigenen Erfahrungen aus der Regionalplanung der Entwicklungsagentur Region Heide wurden vier übergeordnete Gebietsarten identifiziert, in denen eine Aufstellung von Elektrolyseanlagen

grundsätzlich nicht bzw. nur mit hohem Prüfbedarf möglich ist: geschützte Naturräume, Schutzstreifen um Energieinfrastrukturen, Gebiete mit bereits bestehender zweckgebundener Nutzung und topografisch ungeeignete Flächen.

3.1.1.1 Geschützte Naturräume

Prinzipiell kann es Ausnahmen bei den Errichtungen von Anlagen in geschützten Naturräumen wie zum Beispiel Wäldern geben, allerdings sind diese mit sehr umfangreichen und zeitintensiven Genehmigungsverfahren und Ausgleichsmaßnahmen verbunden (*hoher Prüfbedarf*), mit teilweise wenig Aussicht auf Erfolg, sodass sie in dieser Betrachtung als Ausschlussgebiete betrachtet werden.

Tipp

Tipp: Eine gute Datengrundlage für die Verarbeitung in QGIS bietet für Schleswig-Holstein das Umweltportal des Landesamtes für Umwelt Schleswig-Holstein (MEKUN, 2025). Folgende Gebiete wurden als Ausschlussgebiete im Rahmen geschützter Naturräume bestimmt:

Nationalparks: Ein Nationalpark ist ein großflächiges Schutzgebiet, in dem die Natur sich weitgehend unbeeinflusst vom Menschen entwickeln soll. Das Motto lautet "Natur Natur sein lassen" (BUND, 2025). In Deutschland sind Nationalparks nach § 24 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) ausgewiesen und dienen dem Schutz einzigartiger Landschaften und Lebensräume für seltene Tier- und Pflanzenarten. In den Kernzonen ist jegliche wirtschaftliche Nutzung untersagt, während nachhaltiger Tourismus und Umweltbildung gefördert werden. Beispiele sind der Nationalpark Bayerischer Wald und der Nationalpark Wattenmeer.

Naturschutzgebiete (NSG): „Naturschutzgebiete sind nach § 23 BNatSchG rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft in ihrer Ganzheit oder in einzelnen Teilen erforderlich ist. Sie gehören – neben Nationalparken – zu den sehr streng geschützten Flächen in Deutschland“ (Bundesamt für Naturschutz, 2025). Eine gute Übersicht über Naturschutzgebiete in Deutschland bietet das Bundesamt für Naturschutz

Kernzonen von Biosphärenreservaten: Ein Biosphärenreservat ist ein UNESCO-Schutzgebiet, das Natur und nachhaltige Nutzung miteinander vereint. Es besteht aus drei Zonen: einer streng geschützten Kernzone, einer Pufferzone für vorsichtige Nutzung und einer Übergangszone für nachhaltige wirtschaftliche Aktivitäten. In Schleswig-Holstein gibt es beispielsweise das Biosphärenreservat Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer.

Natura 2000 Gebiete: Hierzu zählen FFH- und Vogelschutz-Gebiete: FFH steht für Flora-Fauna-Habitat und basieren auf der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) der EU. Sie dienen dem Erhalt gefährdeter Lebensräume, Tier- und Pflanzenarten. Eine Übersicht der in Deutschland bestehenden FFH-Gebiete bietet die Seite ffh-gebiete.de

Ramsar-Gebiete: sind international geschützte Feuchtgebiete nach der Ramsar-Konvention (1971). Sie sind ökologisch wertvoll, dienen als Lebensraum für Wasservögel und tragen zum Wasserhaushalt und Klimaschutz bei. Weltweit gibt es über 2.400 dieser Gebiete, in Deutschland über 30, darunter das Wattenmeer und der Bodensee. Auf der Internetseite des Bundesamtes für Naturschutz findet man eine Übersicht über die einzelnen Gebiete.

Nationale Naturmonumente: sind in § 24 BNatschG rechtsverbindliche großflächige, besonders schützenswerte Naturgebilde mit herausragender geologischer, ökologischer oder geschichtlicher Bedeutung. Sie stehen unter strengem Schutz und dienen der Erhaltung einzigartiger Naturphänomene oder Lebensräume. In Schleswig-Holstein gibt es aktuell keine offiziell ausgewiesenen Nationalen Naturmonumente, allerdings existieren zahlreiche Naturdenkmäler im Land, die auf kommunaler oder Kreisebene unter Schutz stehen.

Vorranggebiet für Naturschutz: Ein Vorranggebiet für Naturschutz ist eine raumordnerische Festlegung, in der der Schutz von Natur und Landschaft oberste Priorität hat. In diesen Gebieten sind andere Nutzungen ausgeschlossen oder nur zulässig, wenn sie den Naturschutzz Zielen nicht entgegenstehen. Die Ausweisung erfolgt in Regional- oder Flächennutzungsplänen, um wertvolle Ökosysteme, Biotope und Arten langfristig zu erhalten. Vorranggebiete für Naturschutz sind jedoch noch keine rechtlich verbindlichen Naturschutzgebiete, können aber eine Grundlage für deren spätere Unterschutzstellung sein.

Fließgewässer, Uferzonen und Wasserschutzgebiete: Fließgewässer (Bäche & Flüsse) sind besonders schützenswerte Ökosysteme, da sie eine wichtige Rolle für den Wasserhaushalt, die Biodiversität und den Biotopverbund spielen. Ihre Schutzwürdigkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab, darunter ökologische Funktion, Wasserqualität und gesetzlicher Schutzstatus. Wasserschutzgebiete (WSG) werden eingerichtet, um Trinkwasserquellen wie Grundwasser, Quellwasser oder Oberflächenwasser vor Verschmutzung zu schützen. Sie unterliegen dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) sowie den Landeswassergesetzen und sind in verschiedene Schutzzonen unterteilt.

Vorbehaltsgebiet Natur und Landschaft: Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft sind besondere Gebiete in der Raumordnung, die vorrangig für den Schutz und die Entwicklung von Natur und Landschaft vorgesehen sind. Sie sind in Raumordnungsplänen ausgewiesen und haben das Ziel, naturschutzfachlich wertvolle oder besonders schützenswerte Bereiche langfristig zu sichern. Die aktuellsten Raumordnungspläne findet man auf den Internetseiten der einzelnen Bundesländer.

Biotope: Gesetzlich geschützte Biotope sind nach § 30 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) besonders wertvolle Lebensräume, die automatisch unter Schutz stehen, ohne dass sie extra als

Naturschutzgebiet (NSG) ausgewiesen werden müssen. Ihre Zerstörung oder erhebliche Beeinträchtigung ist verboten, es sei denn, eine spezielle Genehmigung liegt vor. Beispiele für gesetzlich geschützte Biotope sind: Moore & Sümpfe, Natürliche Fließgewässer & Auen, Trockenrasen & Heiden, Magerrasen & Feuchtwiesen, Knicks (z. B. in Schleswig-Holstein), Dünen & Küstenschutzgebiete. In Schleswig-Holstein hat das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) eine umfangreiche Biotopkartierung vorgenommen (LLUR, 2023). Knicks sind auch gesetzlich geschützte Biotope, deren Verlegung/Kompensation in Schleswig-Holstein ist jedoch durchaus üblich, weshalb Sie in diesem Standortkompass gesondert unter den Kriterien mit Prüfoption gelistet werden.

Biotopverbundsystem Schwerpunktbereiche und Verbundachsen (LRP 2020): Ein Biotopverbundsystem ist ein Netzwerk aus naturnahen Lebensräumen, die untereinander verbunden sind, um den Austausch von Tieren und Pflanzen zu ermöglichen. Ziel ist es, die biologische Vielfalt zu sichern, indem isolierte Biotope miteinander verknüpft werden. Das Biotopverbundsystem dient als Planungs- und Entscheidungshilfe gemäß § 2 NatSchZVO und identifiziert Gebiete, die aus naturschutzfachlicher Perspektive besonders geeignet sind, um ein Biotopverbundsystem aufzubauen.

Wiesenvogelschutzkulissen: sind in Bundesländern wie Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen ausgewiesene Fördergebiete zum Schutz gefährdeter Wiesenbrüterarten. Sie basieren auf landesrechtlichen Förderkulissen im Rahmen von Vertragsnaturschutz oder Agrarumweltmaßnahmen. Der Schutzgrad gilt als mittel, da er nicht rechtsverbindlich ist wie bei Naturschutzgebieten oder Vogelschutzgebieten, sondern auf freiwilliger Kooperation mit Landnutzern beruht.

Naturdenkmäler: sind einzelne Naturgebilde oder kleinere Flächen, die aufgrund ihrer Seltenheit, Eigenart oder Schönheit unter besonderem Schutz stehen. Dazu gehören z. B. alte Bäume, Felsen oder auch einzelne Knicks

Wälder: Nach dem Bundeswaldgesetz (BWaldG) sind alle Wälder in Deutschland grundsätzlich nachhaltig zu bewirtschaften. Sie dürfen nur so genutzt werden, dass sie sich langfristig erhalten. Eine besondere, strengere Schutzregelung gibt es allerdings nur in besonderen Gebieten wie im NSG.

3.1.1.2 Schutzstreifen um Energieinfrastrukturen

Tipp

Tipp: Um Zonen um bestimmte Datensätze in QGIS einzzeichnen, bietet sich die Funktion „Puffern“ („Vektor“-„Geoverarbeitungstool“-„Puffer“) an. Um einen Radius von x Metern um ein Objekt zu definieren, muss zunächst sichergestellt sein, dass das Objekt in einem metrischen Koordinatensystem gespeichert ist („Objekt“-„Export“-„Objekt speichern als“- zum Beispiel EPSG25832). Für

Energieinfrastrukturen wurde hier mit den Daten von Open Infrastructure Map gearbeitet. Mittels dieser Daten lassen sich die einzelnen Spannungsebenen herausfiltern und dann entsprechend *puffern*.

Freileitungen: bei Freileitungen einer 110 kV-Trasse muss ein beidseitiger Schutzstreifen von 25 m eingehalten werden.⁴ Bei einer 380 kV Freileitung muss ein beidseitiger Schutzstreifen von 35 m eingehalten werden (TenneT TSO GmbH, 2025). Besondere Regelungen sind noch bei den Bauarbeiten in leitungsnähe zu beachten. Informationen zu den Regularien sind bei den jeweiligen Netzbetreibern auf den Homepages frei zugänglich.

Erdkabel: beim Verlegen von Erdkabeln bleibt nach Verlegung mindestens ein 24 m breiter Schutzstreifen links und rechts vorhanden. Dieser kann landwirtschaftlich genutzt werden, darf jedoch nicht überbaut werden, da der Kabelbereich dauerhaft zugänglich bleiben muss (Amprion GmbH, 2025). Im Einzelfall kann der Schutzstreifen auch abweichen. Einzelfälle sind mit dem Netzbetreiber zu klären.

3.1.1.3 Gebiete mit bestehender zweckgebundener Nutzung

Siedlungsgebiete: Ab einer gewissen Größe der Anlage wird davon ausgegangen, dass diese nicht im Siedlungsbereich gebaut wird. Bei kleineren Anlagen kann dies grundsätzlich noch der Fall sein. (Vgl. Bau und Genehmigungsrecht). Es gibt keine konkreten Vorgaben zu Abständen, diese werden in der Regel bei einem Sicherheitsgutachten individuell festgelegt. Da sich dieser Standortkompass an Elektrolysestandorte ab 100MW richtet kann von einem Mindestabstand zu Siedlungsgebieten von 500 Metern ausgegangen werden. Um diesen Abstand durch die Funktion „Pufferung“ in QGIS einzeichnen zu können (Vgl. Kapitel 3.1.1.2) muss ein Datensatz angewendet werden, welcher zwischen Siedlungsbauten und anderen Bauten (Industrie/Landwirtschaft etc.) unterscheidet.

Tipp

Für die Region Heide wurde hier der OpenStreetMap Datensatz der Geofabrik für Schleswig-Holstein verwendet und nach *residential*, *cemetery*, *commercial* und *retail* gefiltert (Geofabrik GmbH und OpenStreetMap Contributors, 2018). Sollte schon ein spezieller Anlagenentwurf und Sicherheitsgutachten vorliegen, muss die 500 Meter Zone entsprechend angepasst werden.

Sondergebiete Bund: Ein Sondergebiet Bund ist ein spezieller Bereich innerhalb der deutschen Bauleitplanung, der im Flächennutzungsplan (FNP) oder Bebauungsplan festgelegt wird. Es handelt sich um ein Gebiet, das für bestimmte, öffentliche Aufgaben des Bundes vorgesehen ist und dort

⁴ Aussage SH Netz AG

genutzt werden soll z. B. für militärische Einrichtungen, Verwaltungsgebäude oder infrastrukturelle Einrichtungen wie Flughäfen, Eisenbahnlinien oder Umspannwerke.

Archäologisches Kulturdenkmal: Ein archäologisches Kulturdenkmal ist eine geschützte Stätte von historischer oder kultureller Bedeutung, die unter die Denkmalschutzgesetze der Bundesländer fällt. Diese Denkmäler umfassen Überreste vergangener Kulturen, wie z. B. Grabhügel, Siedlungsreste, Wallanlagen, Ruinen, oder Funde in Mooren.

3.1.1.4 Topografisch ungeeignete Flächen

Hochwasser und Überschwemmungsgebiete: sind ausgewiesene Flächen, die bei Hochwasser betroffen sein können. Während Überschwemmungsgebiete regelmäßig oder potenziell überflutet werden und strengen Bauauflagen unterliegen, sind Hochwasserrisikogebiete Bereiche, in denen Hochwasser erhebliche Schäden für Menschen, Umwelt oder Wirtschaft verursachen kann. *Tipp:* In Schleswig-Holstein bietet beispielsweise der Digitale Atlas Nord und die Daten zu den Landschaftsrahmenplänen (LRP) eine gute Übersicht über die vorhanden Hochwasserrisikogebiete.

Tipp

Hangneigung >5% im 1 km Raster (Maximilian Pfennig, 2021, p. 23): *Tipp:* Um sich in einem größeren Gebiet einen Überblick über die Topografie zu machen bieten die Global Multi-resolution Terrain Elevation Data (GMTED2010) eine gute Grundlage. Die Daten sind nach kostenfreier Registrierung über den Earth Explorer des United States Geological Survey (USGS) kostenfrei zur Verfügung. Die Daten sind mit Auflösungen von 30, 15 und 7,5 Bogensekunden verfügbar (30 Bogensekunden \approx 1 km Rasterweite). In QGIS geladen erhält man eine Karte mit unterschiedlich grauen Schattierungen. Um mit den Daten zu arbeiten, empfiehlt es sich zunächst über die Funktion „Raster“-„Extraktion“-„Raster auf Ausdehnung zuschneiden“ den Untersuchungsbereich aus dem Datensatz zu extrahieren und als neuen Layer zu speichern. Im neuen Layer können nun Höhenlinien („Raster“-„Extraktion“-„Kontur“) eingezeichnet und die Neigung („Raster“-„Analyse“-„Neigung“) in Grad oder Prozent berechnet werden.

Tipp

Für eine detailreichere Betrachtung bieten meist die einzelnen Bundesländer eigene Topografische Daten an. In Schleswig-Holstein bietet das Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein Karten des Digitalen Geländemodells DGM1 kostenfrei zum Download an (1m Rasterweite)⁵.

⁵ Um die Daten in QGIS verwenden zu können müssen Sie zunächst den Daten das richtige Koordinatensystem zuordnen (EPSG 25823-ETR89)

3.1.2 Kriterien mit Prüfoption

Im Bereich der Kriterien mit Prüfoption wurden zwei Gebietsarten identifiziert: *Schützenswerte Naturräume* und *Gebiete mit Nutzungskonkurrenz*. Grundsätzlich kann die Umsetzung eines Elektrolyseprojekts in diesen Gebieten möglich sein, dies ist aber mit einer teilweise sehr aufwendigen Planung oder Kompensation verbunden. Folglich sollte bei einer Grundlegenden Identifizierung von Potenzialflächen diese Gebiete nach Möglichkeit dennoch ausgeschlossen werden. *Tipp:* Bei einem Standort individuell zu prüfen sind Splittersiedlungen und Altlasten. Befinden sich auf einem großen Areal einzelne wenige Splittersiedlungen mit Einfamilienhausstruktur ist dies in der Regel kein Ausschlusskriterium, handelt es sich bei den Einzelobjekten allerdings um gewerbliche oder repräsentative Millioneninvestitionen können diese durchaus ein Ausschlusskriterium sein. Bezuglich Altlasten führt in der Regel die zuständige Bodenschutzbehörde der Stadt oder des Landkreises ein Altlastenregister. Auskunft wird bei berechtigtem Interesse erteilt, allerdings sind die Daten nicht öffentlich verfügbar, weshalb das Kriterium bei einer ersten Identifizierung der Standorte hier keine Anwendung findet.

Tipp

3.1.2.1 Schützenswerte Naturräume

Landschaftsschutzgebiet: Ein Landschaftsschutzgebiet (LSG) ist ein großräumiges Gebiet, das aufgrund seiner landschaftlichen Schönheit, Vielfalt oder besonderen Erholungsfunktion geschützt wird. Hier stehen die nachhaltige Nutzung und die Bewahrung des charakteristischen Landschaftsbildes im Vordergrund. Eingriffe in die Natur sind erlaubt, solange sie das Schutzgebiet nicht wesentlich beeinträchtigen. Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Tourismus sind unter bestimmten Auflagen möglich.

Geotop: Ein Geotop ist ein besonders schützenswerter Teil der Erdoberfläche, der Einblicke in die geologische Entwicklung der Erde bietet. Dazu zählen Felsformationen, Höhlen, Quellen, Böden oder Gesteinsschichten. Sie können unter Schutz gestellt werden, um ihre Einzigartigkeit und ihren Erhalt langfristig zu sichern.

Naturparke: sind großräumige Schutzgebiete, die sich durch eine besondere landschaftliche Schönheit, kulturelle Vielfalt und ökologische Bedeutung auszeichnen. Sie verbinden den Schutz der Natur mit nachhaltiger Nutzung und der Förderung von Erholung, Umweltbildung und Regionalentwicklung. In Naturparken sollen Natur und Mensch im Einklang stehen, weshalb nachhaltiger Tourismus, Land- und Forstwirtschaft sowie umweltfreundliche Wirtschaft gefördert werden. Ein Naturpark kann mehrere Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete oder andere Schutzkategorien enthalten.

Schutzabstände um Schutzgebiete: Häufig müssen zu bestimmten Schutzgebieten wie Naturschutzgebieten oder Biotopen weitere Schutzabstände eingehalten werden. Da diese aber sehr individuell von dem Vorhaben und dem entsprechenden Schutzgebiet abhängen würden, werden Sie in diesem Standortkompass vernachlässigt, müssen aber bei einer Detailprüfung des Standortes mitberücksichtigt werden.

Landschaftsschutzgebiet Vorschlag: Sind Gebiete die die Voraussetzungen für eine Unterschutzstellung als LSG erfüllen. Daten hierzu findet man beispielsweise in den Landschaftsrahmenplänen der einzelnen Bundesländer

Grünzäsuren und Grünzüge: Grünzäsuren und Grünzüge sind unbebaute, meist landschaftlich geprägte Flächen, die gezielt zwischen Siedlungs- oder Gewerbegebieten freigehalten werden. Sie dienen dazu, eine räumliche Trennung zwischen Ortschaften oder Stadtteilen zu gewährleisten und so eine Zersiedelung der Landschaft zu verhindern. In Regional- und Flächennutzungsplänen werden Grünzäsuren oft als verbindliche oder empfohlene Schutzbereiche ausgewiesen.

Ökokonto-/ Kompensationsflächen: Kompensationsflächen dienen dem Ausgleich von Eingriffen in Natur und Landschaft, z. B. durch Bauprojekte. Sie stellen den ökologischen Zustand wieder her oder verbessern ihn. Ein Ökokonto ist ein System, bei dem Ausgleichsmaßnahmen im Voraus geplant, umgesetzt und als „Punktekonto“ erfasst werden. Diese vorgezogenen Maßnahmen können später auf Eingriffe angerechnet werden. Eine erneute Verlegung dieser Flächen ist zwar aufwendig aber prinzipiell möglich.

Knicks: Eigentlich stehen Knicks, auch Wall- oder Feldhecke genannt, zu den Biotopen und damit automatisch unter Naturschutz. Insbesondere in Schleswig-Holstein ist durch die Vielzahl an vorhandenen Knicks eine Verlegung oder Bebauung in Verbindung mit Ausgleichsmaßnahmen gängige Praxis, sodass diese nicht mehr als komplettes Ausschlusskriterium anzusehen sind. Dennoch ist jeder Eingriff Genehmigungspflichtig und mit zusätzlichen Kosten verbunden, sodass nach Möglichkeit Flächen ohne Knicks bevorzugt behandelt werden sollten.

Kulturlandschaften: sind vom Menschen geformte Landschaften, die durch Nutzung, Pflege und Veränderung ihrer natürlichen Gegebenheiten entstanden sind. Viele Kulturlandschaften stehen nicht unter direktem Schutz, sind aber oft Teil von Landschaftsschutzgebieten, geschützten Biotopen oder in der Raumplanung besonders zu berücksichtigen. Beispiele hierfür können Streuobstwiesen oder Terrassierte Hänge im Weinbau sein. In Schleswig-Holstein sind es vor Allem Knicklandschaften und Beete und Gruppen (Entwässerungslandschaft). Um Interessenskonflikte zu vermeiden, sollten diese

Gebiete bei der Standortsuche ausgeschlossen werden. Prinzipiell ist ein Bau aber möglich, solange die Flächen nicht auch noch Teil eines anderen ausgewiesenen Schutzgebietes sind

3.1.2.2 Gebiete mit Nutzungskonkurrenz

Windvorranggebiete: sind geografische Flächen, die aufgrund ihrer Eignung für die Windenergieerzeugung für die Errichtung von Windkraftanlagen vorrangig auf Landesebene oder kommunaler Ebene durch spezielle Windenergie- oder Regionalpläne ausgewiesen werden. Anlagen können mit entsprechender Planung und finanziellen Mitteln abgebaut und / oder umgesiedelt werden. Hierbei ist ein hoher zeitlicher Aufwand einzukalkulieren. Über die Landesplanung können prinzipiell Windvorranggebiete auch entfallen (um ein Repowering zu verhindern bzw. die Errichtung von Elektrolyseuren zu ermöglichen)

Gebiete mit oberflächennahen Rohstoffen: gelten als vorrangige Flächen zur Rohstoffsicherung und stehen unter besonderem Schutz in der Raumordnung. Sie sind meist für Industrieflächen nur eingeschränkt oder nicht geeignet, da eine Bebauung den langfristigen Zugang zu wichtigen Ressourcen wie Kies oder Sand blockieren würde. Im Rahmen der Standortbewertung sind solche Flächen daher kritisch zu prüfen und in der Regel zugunsten der Rohstoffsicherung zurückzustellen.

Hohe Ertragsfähigkeit des Bodens: Nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (§1 BBodSchG) und dem Raumordnungsgesetz (§2 ROG) gilt: „Böden mit hoher Ertragsfähigkeit sind möglichst von baulicher Inanspruchnahme freizuhalten.“ Ziel ist der nachhaltige Umgang mit landwirtschaftlich wertvollen Flächen. Bewertet kann diese Mittels des BGZ-Wertes der entweder den Bodenwert bei Ackerflächen oder die Grünlandzahl bei Weiden und Wiesenflächen entspricht. Als Faustformel gelten alle Flächen mit einer BGZ über 60 als kritisch für die Industrienutzung einzuordnen. Generell können aber auch Flächen mit einer niedrigeren BGZ-Zahl mit einer hohen Ertragsfähigkeit eingestuft werden. In Schleswig-Holstein gibt es Klassengrenzen für die verschiedenen Naturräume (Marsch, Geest, etc.) in Abhängigkeit von ihrer Einstufung als Ackerland oder Weidefläche (LLUR, 2015, p. 13). Als Ausschlusskriterium mit Prüfoption werden hier Flächen mit der Einstufung *hoher* und *sehr hoher* Ertragsfähigkeit aufgenommen.

3.2 Bewertungskriterien

Nachdem mithilfe von Ausschlusskriterien und Prüfoptionen geeignete Potenzialflächen identifiziert wurden, ermöglichen die in Kategorien gebündelten Bewertungskriterien eine systematische Gegenüberstellung dieser Flächen. Sie decken technische, infrastrukturelle, ökologische und ökonomische Aspekte ab und machen dadurch unterschiedliche Standortqualitäten vergleichbar. Durch die Einordnung in Zielerreichungsgrade (mittels Punkte von 0 bis 3) lassen sich sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren abbilden und in einer multikriteriellen Analyse zusammenführen.

Da nicht alle Kriterien die gleiche Bedeutung für die Standortwahl besitzen, werden sie in Kapitel 4 zusätzlich gewichtet. Dadurch entsteht ein transparentes Bewertungsraster, das die Standortqualitäten sowohl strukturiert als auch priorisiert abbildet und so eine nachvollziehbare Rangfolge potenzieller Standorte erlaubt.

3.2.1 Fläche

Die Verfügbarkeit geeigneter Flächen bildet eine der zentralen Grundlagen für die Realisierung von Elektrolyseprojekten. Im Standortkompass werden daher die Aspekte Flächengröße, Flächensicherung und Flächentopografie näher betrachtet. Diese Kriterien geben Aufschluss darüber, ob eine Fläche grundsätzlich für den Bau einer Anlage geeignet ist, in welchem Umfang sie zur Verfügung steht und wie aufwendig ihre bauliche Nutzung voraussichtlich sein wird.

3.2.1.1 Flächensicherung



Optimal ist es, wenn die zu betrachteten Flächen in einem Flächenpool verfügbar sind, welche dem Planer den Zugriff ermöglichen. Sicherungsoptionen neben direktem Grundbesitz sind Vorverträge, Verträge mit Aufschiebenden Bedingungen (z.B. vorhandenes Baurecht) oder mindestens eine Absichtserklärung des Eigentümers, dass er bereit ist die Fläche zu konkreten Konditionen abzugeben.

Die Sicherung geeigneter Flächen ist eine zentrale Voraussetzung für die Projektrealisierung. Eine Umsetzung an einem Standort ist nur möglich, wenn die Flächensicherung gelingt. Bei großskaligen Anlagen mit Flächenbedarfen im zweistelligen Hektarbereich sind regelmäßig zahlreiche Flurstücke betroffen, was die Komplexität der Eigentümerermittlung erhöht.

Tipp

Tipp: Für die Ermittlung der Eigentümer kommen zwei öffentlich zugängliche Quellen in Betracht, bei denen jeweils ein berechtigtes Interesse nachzuweisen ist. Ein genereller Rechtsanspruch auf Auskunft besteht nicht. Zudem können Auskünfte gebührenpflichtig sein; die Höhe richtet sich nach den einschlägigen Gebührenregelungen der Justiz beziehungsweise der Vermessungsverwaltung.

Erstens kann Einsicht in das Grundbuch beim zuständigen Grundbuchamt genommen werden. In Abteilung I des Grundbuchblatts sind die Eigentumsverhältnisse verzeichnet. Die Einsicht setzt ein berechtigtes Interesse voraus.

**Tipp**

Abbildung 2: Screenshot
Kartenansicht
Digitaler Atlas
Nord

Zweitens können Auskünfte aus dem Liegenschaftskataster eingeholt werden. Das Liegenschaftskataster führt beschreibende Angaben zu jedem Grundstück, darunter Flur und Flurstücksnummer, Flächengröße, Lagebezeichnung und tatsächliche Nutzungsart; Eigentümerangaben werden nachrichtlich aus dem Grundbuch geführt und sind nur bei berechtigtem Interesse zugänglich. Der Zugriff erfolgt in Schleswig-Holstein über das Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein, unter anderem über den Geoserver für registrierte Nutzer. Der Geoserver der Vermessungsverwaltung ist für registrierte Behörden und Firmen nutzbar; für Abrufe mit personenbezogenen Daten wird das berechtigte Interesse zusätzlich geprüft. Kommunen und Kreise sind als Vertragspartner adressiert. Gebühren können je nach Produkt anfallen

Tipp: Für Schleswig-Holstein stehen Flurstücksgrößen und Flurstücksbezeichnungen außerdem im Digitalen Atlas Nord (<https://danord.gdi-sh.de/> vgl. Abbildung 2 bereit). In der Kartenanwendung können über die Themenkarte Verwaltung die ALKIS Flurstücke eingeblendet werden. Für förmliche

Auszüge aus ALKIS bestehen Bestellmöglichkeiten über das Landesamt und dessen Vertragspartner.

Bewertung des Kriteriums im Verfahren: Die belastbare Bewertung der Flächensicherung setzt einen gewissen Vorplanungsstand in der betrachteten Region voraus. Wird die Analyse aus einem Startzustand ohne vorbereitende Recherchen begonnen, liegen die erforderlichen Eigentümer und Flurstücksinformationen üblicherweise noch nicht vor. In diesem Fall wird für das Kriterium zunächst

null Punkte vergeben, bis die notwendigen Nachweise aus Grundbuch und Liegenschaftskataster vorliegen.

Zielerreichungsgrad 3: Zugriffsrecht gesichert (eigenes Eigentum, LOI, Vorvertrag, KV) / Flächen stehen über einen Flächenfonds oder Makler zum Verkauf)

Stufe 3 wird vergeben, wenn zum Bewertungszeitpunkt für die betrachtete Fläche ein Zugriffsrecht besteht oder die Fläche konsolidiert über einen Flächenfonds oder einen Makler zum Erwerb bereitsteht. Ein Zugriffsrecht liegt vor, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen nachweislich erfüllt ist.

Eigentum: Eigentumsnachweis durch aktuellen Grundbuchauszug.

Vertraglich gesicherter Erwerb: Notariell beurkundeter Kaufvertrag oder notarieller Vorvertrag mit Auflassungsvormerkung.

Langfristige Nutzungsrechte: Pachtvertrag, Nutzungsvertrag oder Gestattungsvertrag mit ausreichender Laufzeit und eindeutiger Zweckbindung für das Vorhaben; soweit möglich mit dinglicher Absicherung durch Grunddienstbarkeit oder vergleichbare Eintragung.

Schriftliche Zusage: Schriftliche Zusage in Form eines LOI oder einer gleichwertigen Absichtserklärung, welche das konkrete Flurstück oder den konkreten Flächenzuschnitt bezeichnet, eine Exklusivität oder ein Vorkaufsrecht sowie Fristen und Bedingungen enthält.

Mündliche Zusage: Mündliche Zusagen werden nur dann als gesichert gewertet, wenn sie mindestens durch einen schriftlichen Aktenvermerk, eine Bestätigung des Eigentümers und ergänzende Belege zur Verkaufs- oder Verpachtungsabsicht dokumentiert sind.

Flächenfonds oder Makler: Die benötigte Fläche kann konsolidiert über einen Flächenfonds oder einen beauftragten Makler erworben werden. Erforderlich sind ein belegter Verkaufswille, ein deckungsgleicher Flächenzuschnitt oder eine belastbare Parzellierungsstrategie sowie Nachweise zur Verfügbarkeit.

Gesicherte Zugriffsrechte reduzieren Standort- und Terminrisiken maßgeblich, ermöglichen belastbare Kosten- und Terminpläne und schaffen die Voraussetzung für nachgelagerte Planungs- und Erschließungsentscheidungen. Die Berücksichtigung von Flächenfonds und Maklerlösungen trägt dem Umstand Rechnung, dass bei großskaligen Vorhaben häufig mehrere Flurstücke in unterschiedlichen Eigentumslagen zu konsolidieren sind und eine professionelle Bündelung dieser Flächen die Transaktionssicherheit deutlich erhöht.

Zielerreichungsgrad 2: Eigentümer bekannt, fortgeschrittene Gespräche geführt

Zwei Punkte werden vergeben, wenn die Eigentümer der für die Potenzialfläche relevanten Flurstücke identifiziert sind und nachweislich fortgeschrittene Gespräche über Erwerb oder langfristige Nutzung stattfinden. Fortgeschritten gilt der Stand, wenn folgende Mindestvoraussetzungen erfüllt sind.

Eigentümeridentifikation liegt vollständig vor: Grundlage ist eine konsolidierte Liste der Flurstücke mit Eigentümerangaben, hergeleitet aus zulässigen Auskünften wie Grundbuch, Liegenschaftskataster oder kommunalen Bestätigungen.

Dokumentierte Kontaktaufnahme mit positiver Resonanz des oder der Eigentümer: Hierzu zählen schriftliche Bestätigungen per Brief oder elektronische Korrespondenz sowie Gesprächsprotokolle.

Konkreter Verhandlungsfortschritt ist belegt: Mindestens zwei der folgenden Indikatoren sollten erfüllt sein.

- Austausch zu Flächenzuschnitt, Kaufpreisband oder Pachtkonditionen.
- Vereinbarter nächster Verfahrensschritt mit zeitlicher Meilensteinplanung.
- Benennung eines Ansprechpartners für die Ausgestaltung eines Vertragsentwurfs.
- Schriftliche, unverbindliche Absichtserklärung ohne dingliche Sicherung, zum Beispiel ein LOI ohne Exklusivität.

Gespräche dürfen durch Dritte geführt werden. Anerkannte Dritte sind insbesondere Flächenentwickler, Infrastrukturentwickler sowie örtliche Wirtschaftsförderungseinrichtungen. Erforderlich ist eine dokumentierte Kommunikationsgrundlage, zum Beispiel eine Beauftragung durch den Projektträger oder eine schriftliche Bestätigung der Eigentümer, dass die Kontaktaufnahme im Auftrag erfolgt.

Zielerreichungsgrad 1: Eigentümer sind bekannt, Gesprächsbereitschaft der Eigentümer signalisiert

Ein Punkt wird vergeben, wenn die Eigentümer die für die Potenzialfläche relevanten Flurstücke identifiziert sind und nach einer ersten Kontaktaufnahme eine grundsätzliche Gesprächsbereitschaft signalisiert wurde. Es liegen noch keine bindenden Zugriffsrechte, keine vertraglich fixierten Konditionen und keine gesicherten Verfügbarkeitszusagen vor.

Mindestvoraussetzungen:

- Vollständige Eigentümeridentifikation für die betrachteten Flurstücke, konsolidiert in einer Flurstücksliste mit Lageplan.
- Dokumentierte Erstkontakte mit positiver Rückmeldung zur Aufnahme von Gesprächen, zum Beispiel Terminbestätigungen, E-Mail-Antworten, Schriftwechsel oder ein Aktenvermerk über ein Telefonat mit bestätigter Gesprächsbereitschaft.
- Benennung von Ansprechpersonen auf Seiten der Eigentümer oder ihrer Vertretungen zur Fortsetzung der Gespräche.

Gespräche können durch Dritte geführt werden. Als Dritte gelten insbesondere Flächenentwickler, Infrastrukturentwickler sowie örtliche Wirtschaftsförderungen. Die Beauftragung oder Legitimation ist zu dokumentieren.

Abgrenzung zu höheren Zielerreichungsgraden: Es liegen keine dinglichen Sicherungen, keine notariellen Vorverträge, keine Kaufverträge, keine langfristigen Nutzungsrechte und keine belastbaren LOI mit Exklusivität oder Vorkaufsrechten vor. Konkrete Verhandlungsschritte zu Flächenzuschnitten, Konditionen und Zeitplänen sind entweder noch nicht erfolgt oder nicht hinreichend dokumentiert. Damit ist die Schwelle zu Zielerreichungsgrad 2 noch nicht erreicht und Zielerreichungsgrad 3 ausdrücklich verfehlt.

Begründung: Die Identifikation der Eigentümer in Verbindung mit bestätigter Gesprächsbereitschaft ist der minimale belastbare Status für eine Fortführung der Standortprüfung. Das Projektrisiko bleibt hoch, da weder Verfügbarkeit noch Konditionen gesichert sind. Gleichzeitig ermöglicht dieser Stand die geordnete Überleitung in eine strukturierte Vertragsanbahnung im Sinne des allgemeinen Zivilrechtsrahmens, in dem erst mit weiterem Verhandlungsfortschritt und dokumentierten Eckpunkten ein höherer Zielerreichungsgrad begründet werden kann.

3.2.1.2 Flächengröße



Im besten Fall steht mehr Fläche zur Verfügung als meine Initiale Planung vorsieht. Dadurch ergibt sich, dass der Flächenzuschnitt optimal für mein Vorhaben ausgenutzt werden kann oder zusätzliche Flächen für Erweiterung der Anlage zur Verfügung stehen.

Die erforderliche Fläche hängt maßgeblich vom gewählten Aufbaukonzept ab. Wird von einer bodennahen Installation ausgegangen und Stand-alone-Systeme entsprechend skaliert, ergibt sich ein

höherer Flächenbedarf als bei einer modularisierten Bauweise mit entsprechend größeren Einzelkomponenten.

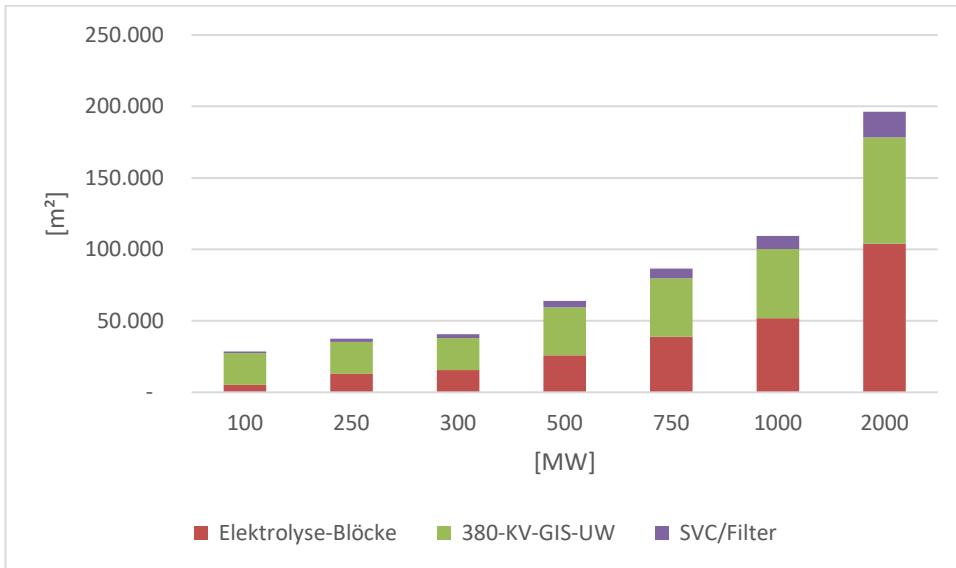


Abbildung 3: Abschätzung Flächenbedarf Elektrolyseanlagen (eigene Darstellung)

In Abbildung 3 sind exemplarische Flächenbedarfe für unterschiedliche Anlagengrößen dargestellt. Grundlage der Berechnungen sind 5-MW-Systeme, die unter Berücksichtigung normativer Abstandsflächen gemäß den einschlägigen Sicherheitsrichtlinien sowie der erforderlichen Zufahrten für Feuerwehr- und Rettungsfahrzeuge simuliert wurden. Die Annahmen basieren auf einem Netzanschluss an die 380-kV-Ebene, die in luftisoliertem Bauweise ausgeführt ist. Alle weiteren Betriebsmittel sind in gasisolierter Ausführung vorgesehen. Zusätzlich wurde ein Sicherheitszuschlag von 20 % auf die ermittelten Flächenwerte aufgeschlagen. Diese Methodik führt zu einer konservativen Abschätzung des Flächenbedarfs. Optimierungsmöglichkeiten bestehen insbesondere durch die Bildung von Anlagengruppen (Cluster) sowie durch die Realisierung mehrgeschossiger Aufbauten (Lukas Büsch, 2024). Eine durchgängige Umsetzung in gasisolierter Schaltanlagentechnik ermöglicht darüber hinaus eine weitere Reduktion des Flächenbedarfs.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, ob die Anlagen eingehaust oder frei im Feld aufgestellt werden. Bei eingehausten Systemen erhöht sich der Flächenbedarf, da aufgrund geschlossener Räume zusätzliche Sicherheitsanforderungen – insbesondere hinsichtlich Zugänglichkeit, Brandschutz und Gefährdungsbereichen – einzuhalten sind ((IPP), 2024)

Neben der Fläche für die Elektrolyse einschließlich *Balance of Plant* sind zudem Flächen für die Umspannung des Netzanschlusses auf die erforderlichen Spannungsebenen vorzusehen. Der konkrete

Flächenbedarf ist abhängig von der Spannungsebene des Netzanschlusses. Liegt diese beispielsweise bei 380 kV, so sind eine entsprechende Schaltanlage sowie eine Trafostation für die Umspannung von 380 kV auf 110 kV erforderlich.

Zusätzlich sind Flächen für Wartungszwecke, Rettungswege für die Feuerwehr sowie gegebenenfalls für Mitarbeiterräume einschließlich Leitwarte einzuplanen.

Die endgültige Festlegung der Flächenanforderungen obliegt dem jeweiligen Planer, der für sein Projekt eine geeignete Auslegung zu erarbeiten und die erforderliche Mindestfläche zu bestimmen hat.

Zielerreichungsgrad 3: >125% der Größe

Zielerreichung Stufe 3 ist erreicht, wenn die verfügbare Nettofläche einer Potenzialfläche größer als 125 Prozent der im Projekt ermittelten notwendigen Nettofläche ist. Grundlage ist die zuvor durchgeführte Flächenbedarfsermittlung einschließlich Abstandsflächen, Erschließungsflächen, Betriebsflächen und Sicherheitszonen. Nicht bebaubare Anteile wie Gewässer, festgesetzte Grünflächen, Schutzstreifen sowie dauerhafte Restriktionsflächen sind bei der verfügbaren Nettofläche vorab abzuziehen.

Bewertungskennzahl R ist definiert als Verhältnis von verfügbarer Nettofläche zu notwendiger Nettofläche Stufe 3 wird vergeben, wenn R größer als 1,25 ist.

Beispiel: Ergibt die Flächenbedarfsermittlung gleich 40 Hektar und stehen netto gleich 51 Hektar zur Verfügung, so ist R gleich 51 geteilt durch 40 gleich 1,275. Damit wird Stufe 3 erreicht.

Begründung: Viele Anfragen aus der Unternehmensansiedlung enthalten eine Erweiterungsreserve für spätere Ausbauten. Mangels belastbarer empirischer Erhebung im Projektkontext wird ein Zuschlag von 25 Prozent als realistische und vorsorgliche Reserve angesetzt. Die Vergabe von 3 Punkten bei Überschreitung von 125 Prozent stellt sicher, dass die Potenzialfläche neben dem aktuellen Bedarf auch übliche Erweiterungsszenarien abdecken kann.

Zielerreichungsgrad 2: 100% bis 125% der Größe

Stufe 2 wird vergeben, wenn die Größe (R) zwischen 100% und 125% liegt ($100\% \leq R \leq 125\%$) Die Potenzialfläche deckt den ermittelten Bedarf vollständig ab und weist eine begrenzte Reserve auf. Diese Reserve erlaubt kleinere Layoutanpassungen, Erschließungskorrekturen oder funktionale Ergänzungen ohne Eingriff in den Projektscope. Eine gesicherte Erweiterungsreserve für zukünftige Kapazitätssteigerungen ist damit nur eingeschränkt vorhanden.

Begründung: In der Praxis enthalten Ansiedlungsanfragen häufig Aufschläge für Unwägbarkeiten. Ein Bereich bis 25 Prozent oberhalb des Bedarfs stellt eine robuste, aber noch nicht strategische Reserve dar. Stufe 2 signalisiert daher Bedarfsdeckung mit moderater Flexibilität.

Zielerreichungsgrad 1: 90% bis <100% der Größe

Stufe 1 wird erreicht, wenn R größer als 90% und kleiner 100% ist, also $90\% \leq R < 100\%$. Die Potenzialfläche unterschreitet den Bedarf geringfügig oder erreicht ihn exakt.

Begründung: Eine leichte Flächenunterdeckung kann durch nachweisliche Optimierungen kompensiert werden, zum Beispiel durch mehrgeschossige Anordnung, verdichtete Aufstellung, Anpassung der Abstandsfächen im Rahmen eines genehmigten Explosionsschutzkonzeptes, Einsatz von Gasisolierten Schaltanlagen (GIS) in der elektrischen Infrastruktur oder modulare Skalierung der Aggregate. Die Vergabe von 1 Punkt setzt voraus, dass diese Maßnahmen planerisch konkretisiert und regulatorisch zulässig sind und dass die Nettoflächenbilanz dadurch mindestens den Bedarfswert erreicht.

3.2.1.3 Flächentopografie



Die Geländestrukturen der Erdoberfläche bestimmt den Aufwand für einen Anlagenaufbau.

Der optimale Fall der Flächentopografie ist eine eben Fläche ohne Hemmnisse wie Bebauung, Naturdenkmäler oder Gräben.

Hinweis zur Abgrenzung: Nicht kartierte, kleinräumige Vegetationsstrukturen oder nicht funktionale Mulden ohne Vorflutercharakter werden im Regelfall nicht als prägende Landschaftselemente

gewertet. Eine Einzelfallprüfung bleibt vorbehalten, insbesondere bei naturschutzfachlich wertvollen Strukturen oder denkmalgeschützten Einzelobjekten.

Zielerreichungsgrad 3: Ebene Fläche ohne kartierte Knicks, Vorfluter und Baumbestände und einzelnen Bauwerken/Splittersiedlungen

Es werden drei Punkte vergeben, wenn die betrachtete Fläche eben ist und keine kartierten Knicks, keine Vorfluter oder kartierten Gräben, keinen prägenden Baumbestand sowie keine Wohnbebauung aufweist. Vereinzelte, nicht prägende Bauwerke oder Splittersiedlungen sind nicht vorhanden oder liegen so randlich, dass sie die nutzbare Fläche nicht einschränken.

Begründung: Knicks und Wallhecken gelten in Schleswig-Holstein als geschützte Biotope. Ihre Beseitigung oder erhebliche Beeinträchtigung ist grundsätzlich unzulässig und nur ausnahmsweise mit naturschutzrechtlicher Zulassung und Kompensation möglich. Vorfluter und kartierte Gräben unterliegen dem Wasserrecht. Verlegung, Verrohrung oder Beseitigung sind regelmäßig genehmigungspflichtig und lösen anspruchsvolle Verfahren aus. Flächen ohne diese prägenden Landschaftselemente minimieren Genehmigungsaufwand, Kompensationsbedarf und Terminrisiken und sind daher planerisch ideal.

Tipp

Tipp: Informationsgrundlagen:

- Aktuelle Kartengrundlagen zu Biotopen und Gewässern, einschließlich Auszüge aus ALKIS und kommunalen oder landesweiten Fachkarten.
- Luftbildauswertung und/oder
- Ortsbegehungen

Zielerreichungsgrad 2: Ebene Fläche ohne Vorfluter aber mit Wallhecken/Feldgehölz, Wohnbebauung nicht vorhanden

Es werden zwei Punkte vergeben, wenn auf der betrachteten Fläche keine Vorfluter oder kartierten Gräben vorhanden sind, jedoch Knicks oder Feldgehölze vorkommen und Wohnbebauung nicht vorhanden ist. Das Fehlen von Vorflutern reduziert wasserrechtliche Komplexität deutlich; vorhandene Knicks oder Feldgehölze sind naturschutzfachlich zu berücksichtigen und erfordern gegebenenfalls Kompensation.

Begründung: Vorfluter und kartierte Gräben unterliegen dem Wasserrecht. Herstellung, Beseitigung oder wesentliche Umgestaltung eines Gewässers gelten als Gewässerausbau und sind regelmäßig planfeststellungs- oder plangenehmigungspflichtig. Verlegung oder Verrohrung sind daher nur mit Genehmigung der zuständigen Wasserbehörde zulässig und dürfen die Hydrologie sowie Oberlieger nicht erheblich beeinträchtigen. Das Fehlen von Vorflutern vermeidet diese Verfahren und mindert Termin- und Projektrisiken. Zuständig vor Ort ist die Untere Wasserbehörde.

Der Zielerreichungsgrad 2 differenziert sich dadurch, dass auf der Fläche keine Gräben vorhanden sind. Gräben sind insbesondere für die Entwässerung und den Hochwasserschutz wichtig. Die Entfernung/Verlegung von Vorflutern ist nur mit Genehmigung der Aufsichtsbehörde (z. B. in Schleswig-Holstein die untere Wasserbehörde) möglich. Die Hydrologie und Oberlieger dürfen von solchen Maßnahmen nicht erheblich betroffen werden.

Knicks und Wallhecken sind in Schleswig-Holstein gesetzlich geschützte Biotope. Eingriffe sind grundsätzlich untersagt und nur ausnahmsweise zulässig, dann mit naturschutzrechtlicher Zulassung und Kompensation. Kompensationen können über Ausgleichsflächen oder über Ökokonten mit dem Erwerb von Ökopunkten erfolgen. Diese Instrumente sind im Bundesnaturschutzrecht und im Bauplanungsrecht verankert.

Nicht wohnlich genutzte Bauwerke stellen planungsseitig ein Hindernis dar, das durch Anpassung des Anlagenlayouts oder durch Rückbau wirtschaftlich lösbar sein kann. Abstandskonflikte sind regelmäßig geringer als bei Wohnnutzung, jedoch können besondere Einzelfallumstände wie Altlasten, Schadstoffe, Denkmalschutz oder Emissionen eine abgestufte Bewertung erfordern.

Im Gegensatz dazu lassen sich Wallhecken bzw. Feldgehölz umsetzen bzw. entfernen. Hierfür sind über Kompensationsmaßnahmen für einen umweltgerechten Ausgleich von Baumaßnahmen vorzunehmen (§15 (2) Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG)). „Dies kann einerseits durch das Schaffen von Ausgleichsflächen geschehen, die der Vorhabenträger erwirbt und ökologisch aufwertet, indem er z.B. attraktiven Lebensraum für Amphibien oder Säugetiere schafft.

Eine andere Möglichkeit stellt der Erwerb von Ökopunkten dar: Ökopunkte stellen den Gegenwert einer bereits erfolgten ökologischen Aufwertung der Natur dar. Flächeneigentümer, die ihre Biotope aufwerten, indem sie z.B. Streuobstwiesen oder ähnliches schaffen, können sich diese Maßnahmen in Form von Ökopunkten honorieren lassen. Verwaltet werden diese Ökopunkte in sogenannten Ökokonten. (Ökopunktemarkt, 2025)“

Bauwerke ohne Wohnnutzung stellen ein Hindernis dar, welches sich durch Verschiebung der Anlagenplanung oder monetär lösen lässt. Abstandskonflikte sind weniger zu erwarten als bei Wohnnutzung.

Zielerreichungsgrad 1: Ebene Flächen mit geringem Anteil organischer Materialien, keine besonderen Bauwerke

Ein Punkt wird vergeben, obwohl auf der Fläche sowohl Vorfluter als auch Knicks beziehungsweise Feldgehölze vorhanden sind, aber eine prüffähige Bewertung der Bodengüte vorliegt. Maßgeblich ist der Gehalt an organischer Substanz im Oberboden beziehungsweise der TOC-Wert als fachlich anerkannter Messparameter für Humus.

Bewertungslogik: Die bodenkundliche Einstufung erfolgt anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 und der bundesweiten Karte *Gehalte an organischer Substanz in Oberböden*⁶. Die dort verwendeten Humusklassen basieren auf Medianwerten der organischen Substanz und sind für die flächenhafte Bewertung geeignet.

Als Orientierungswert gilt, dass ein Humusgehalt kleiner acht Prozent als günstig bewertet wird. Dieser Schwellenwert liegt im Übergangsbereich der KA5 Klassen h4 zu h5 und entspricht den in der von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Darstellung verwendeten Klassenbreiten.

Hohe Anteile organischer Substanz sind ein Indikator für verminderte Baugrundtauglichkeit aufgrund erhöhter Kompressibilität, Kriechneigung und Setzungsrisiken. *Tipp:* Organogene und organische Böden wie Torfe und Mudden sind geotechnisch besonders kritisch und im Regelfall nicht ohne besondere Maßnahmen als Baugrund geeignet (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016, p. 9).

Eine Übersetzung der Karteninhalte vom Geoportal ist mit der Tabelle 1 möglich. Bei einem TOC >6 ist davon auszugehen, dass diese Böden einen erhöhten Aufwand bei der weiteren Verwendung bedeuten. Aufgrund der enthaltenen Nährstoffe, welche bei Reaktion mit Sauerstoff sich zersetzen können, können Beeinträchtigungen bei anderen Böden oder dem Grundwasser die Folge sein.

Tabelle 2: KA5 mit TOC-Gehalt aus Basis von (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016, p. 6)

Humuskasse nach KA5 (Ad-Hoc-AG Boden, 2005)	Humusgehalt nach KA5 (Ad-Hoc-AG Boden, 2005)	TOC-Gehalt	Bezeichnung
h0 bis h2	0 bis < 2%	0 bis $\leq 1\%$	Humusfreie bis -arme Böden
h3 bis h4	2 bis < 8%	> 1 bis $\leq 6\%$	Humöse Böden

⁶ https://www.geoportal.de/map.html?map=tk_01-boeden-organische-substanz

h5	$8 \text{ bis } < 15\%$	$> 6 \text{ bis } < 10\%$	Humusreiche Böden
h6 bis h7	$\geq 15\%$	$\geq 10\%$	Organische Böden

Ein hoher Anteil organischen Materials kann ein Indiz für ein erschwertes Bauleitverfahren und Mehraufwand bei der Gründung aufgrund schlechter Baugrundeigenschaften sein.

Bauwerke sind separat zu betrachten und können zu einer Herabstufung auf 0 Punkte führen. Sind besonders viele oder prägende Bauwerke vorhanden, steigen die monetär notwendigen Mittel. Das finanzielle Risiko erhöht sich mit jedem Bauwerk (insbesondere bei Bauwerken zu Wohnzwecken) im Umfeld. Bei vereinzelten Bauwerken (auch zu Wohnnutzung) kann unter Umständen noch ein Punkt vergeben werden. Dies ist im Einzelfall zu entscheiden.

3.2.2 Wasser

Wasser ist die entscheidende Ressource bei der Herstellung von Wasserstoff im Wasser-Elektrolyse-Prozess. Darüber hinaus wird Wasser für die Kühlung der Anlage gebraucht. Die ausreichende Verfügbarkeit zählt also zu den wichtigsten Standortkriterien. Für einen langfristig gesicherten Bezug von Prozess- und Kühlwasser ist die Einholung entsprechender Auskünfte bei den zuständigen Behörden auf Basis einer Abschätzung des jährlichen Gesamtbedarfs notwendig. Der Bezug von Wasser für die verschiedenen Bedarfe muss im Hinblick auf einen verantwortungsbewussten Umgang geprüft und Gegenstand bei (späteren) behördlichen Anfragen sein. Konzepte im Sinne eines Wasser- oder Abwasserrecyclings durch Synergien mit anderen lokalen Betrieben kann nicht nur bei der Erteilung einer Bewilligung für die Entnahme und Entsorgung, sondern auch bei der Akzeptanz der Bevölkerung unterstützende Wirkung haben. Aufgrund zunehmender Wetterextreme, wie Trockenperioden, und einer wachsenden Nachfrage im Zuge des Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft werden derartige Konzepte zunehmend an Bedeutung gewinnen.

3.2.2.1 Wasserbezugsoptionen



Der Wasserbedarf zur Aufbereitung zu Trink- oder Reinstwasser hängt stark von der Qualität der verfügbaren Wasserquelle ab – je sauberer die Quelle, desto geringer der Aufbereitungsaufwand und Wasserverbrauch. Der Bezug von Grundwasser wäre daher die **vorteilhafteste** Lösung – mit einem hohen Potenzial für Interessenskonflikte. Also sollte der Fokus auf Flussgewässer, großen Speicherbecken oder Industriewasserversorger gelegt

Der Wasserbedarf für die Aufbereitung zu Trink- bzw. Reinstwasser ist abhängig vom Aufbereitungsaufwand und somit von den verfügbaren Quellen. Dabei gilt, je „süßer“ bzw. sauberer die Quelle ist, desto geringer ist der Aufbereitungsaufwand und damit die entnommene Wassermenge. Für die Abschätzung des Aufbereitungsaufwandes sind der Chloridgehalt, die Trübung und elektrische Leitfähigkeit des Wassers im weiteren Projektverlauf wichtige Indikatoren. Grundlage der Zielerreichungsgrade ist die Qualität der verschiedenen Quelle.

Der größte Aufbereitungsaufwand fällt im Zuge der ersten Aufbereitungsschritte, wie der Umkehrosmose an, welche je nach Quelle hohe Druckverhältnisse bedingen und damit hohe Energiekosten und Rohwasserbedarfe nach sich zieht. Bei der Aufbereitung zu Reinstwasserqualität, die für den Betrieb in der Regel erforderlich ist, kann der Bedarf an Rohwasser um das 1,3- bis 2,8-fache steigen. Der größere Teil des Wassers wird direkt für den elektrolytischen Prozess verbraucht.

Tipp: Als Richtwerte kann für eine 100MW-Anlage unter Vollast ein Reinstwasserbedarf von 15-20m³/h angenommen werden. Die Anforderungen für Kühlprozesse liegen unter denen für

Tipp

Reinstwasser und lassen insofern größere Toleranzen hinsichtlich der Leitfähigkeit und organischen Belastung zu. Der Aufbereitungsaufwand ist als geringer einzustufen. Der Bedarf an Kühlwasser richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten sowie dem gewählten Kühlungskonzept.

Je größer die Anlage dimensioniert wird, umso größer ist der Bedarf und die Auswirkung auf die Entnahmestelle. Die Bewertung der Geeignetheit, insbesondere in Bezug auf die Größe, liegt beim Anwender bzw. Projektentwickler.

Bewertet wird das Vorkommen potenzieller Wasserquellen auf Basis von digitalen Karten im Umfeld des potenziellen Standortes in einem Radius von ca. 10km.

Zielerreichungsgrad 3: Grundwasserleiter, Flüsse, Seen/ Stauseen/Speicherbecken, Regenrückhaltebecken, Industriewasserversorger

Drei Punkte werden vergeben, wenn eine Versorgung der Anlage mittels einer der folgenden Optionen darstellbar ist:

Grundwasser: Für den Elektrolyseprozess wird aus technischen und wirtschaftlichen Gründen in erster Linie Grundwasser bevorzugt, da der Aufwand für die Erreichung des prozessbedingten Reinheitsgrades am geringsten ist. Die Verfügbarkeit von Grundwasser ist deutschlandweit ungleichmäßig verteilt. Zu den zusammenhängend ergiebigsten Vorkommen zählen das Norddeutsche Tiefland, der Oberrheingraben, die Niederrheinische Bucht sowie das Niederrheinische Tiefland (Geowissenschaften, Bundesanstalt für, 2025). Bei der Nutzung im küstennahmen Raum kann sich durch einen Zustrom von Salzwasser das Grundwasser zunehmend versalzenen. Dieser Effekt kann sich durch eine übermäßige Entnahme von Grundwasser verstärken und den Grundwasserleiter in seiner Qualität beeinträchtigen.

Die Nutzung von Grundwasser ist aus wirtschaftlicher Sicht häufig die naheliegendste, zugleich aber auch kritischste Option. Die Nutzung auch ergiebiger Vorkommen kann zu einem begrenzenden Faktor werden, da Grundwasser primär für die Versorgung der Bevölkerung vorgehalten, aber auch für die Landwirtschaft sowie Gewerbebetriebe und Industrien bereitgestellt wird und droht bei Überbeanspruchung (Stichwort: „Grundwasser-Neubildungsrate“) nicht mehr zuverlässig zur Verfügung zu stehen. Die dauerhafte Sicherstellung der Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser ist von den Kommunen zu gewährleisten (Verwaltung-digital, 2025). Für die Bewertung der Eignung natürlicher Ressourcen im Umfeld des potenziellen Standorts sollte eine Prüfung der Niederschlagsprofile und Grundwasservorkommen in der Region einbezogen und mit den Bedarfen der Anlagen gegenübergestellt werden.

Tipp

Tipp: Für eine belastbarere Einschätzung kann in der Regel über eine Anfrage bei der Unteren Wasserbehörde der jeweiligen Landkreise, der Landesämter oder örtlichen Wasserversorgern eine Auskunft bezüglich der Verfügbarkeit von Grundwasser und die Möglichkeiten einer wasserrechtlichen Bewilligung der Entnahme eingeholt werden.

Fließgewässer: Für den Bezug von Wasser aus nahegelegenen Flüssen ist der naturschutzrechtliche Schutzstatus zu prüfen. Für Schleswig-Holstein gibt beispielsweise der DigitalAtlasNord (DigitalAtlasNord, 2025) bei Aktivierung entsprechender Kriterien (insb. *Naturschutz > u.a. Vertragsnaturschutz, Schutzgebiete, Natura2000*) eine Auskunft zu geschützten Flächen. Diese Status schließen einen Bezug von Wasser per se nicht aus, kann in Bezug auf Kosten und Zeit für die Erwirkung einer Genehmigung oder Bewilligung herausfordernd sein. Für die Potenzialermittlung der mengentechnischen Verfügbarkeit kann der mittlere Abfluss als erste Indikation herangezogen werden, als Quelle dient bspw. der Nationalatlas (Nationalatlas, 2025). Die kommerzielle, private und touristische Schifffahrt darf durch eine Entnahme von Wasser, insbesondere in Trockenzeiten der Sommer- und Wintermonate, nicht beeinträchtigt werden darf. Für weitergehenden Auskünften ist das Wasser- und Schifffahrtsamt zu kontaktieren und die europäische Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG, 2025) zu beachten.

Tipp

Tipp: Wird in Erwägung gezogen eine Deichlinie zu queren, ist die Untere Küstenschutzbehörde (z.B. der der Landesbetrieb für Küstenschutz) im Vorhaben zu beteiligen.

Seen, Stauseen: Stauseen halten in der Regel Flusswasser zurück. Diese sowie Seegewässer sind beim Aufbereitungsaufwand Flussgewässern qualitativ ähnlich. Entscheidend ist der regelmäßige Zulauf an Frischwasser und sollte je nach Zulauf und Entnahmebedarf eine langfristige Abnahme darstellbar machen. Perspektivisch sind mögliche weitere Nutzungen durch Industrien, Wasserversorger oder Energieerzeuger und einer damit verbundenen Absenkung des Wasserspiegels zu untersuchen, um ernsthafte Konkurrenzsituationen frühzeitig zu erkennen.

Regenrückhaltebecken: Aufgrund der guten Qualität von Niederschlagswasser wären grundsätzlich auch Regenrückhaltebecken geeignet. Gerade für kleinere Anwendungen als vorrangige oder bei großskaligen Anwendungen als ergänzende Quelle können Regenrückhaltebecken in entsprechender Dimensionierung eine gute Quelle von Wasser darstellen. Es ist hierbei zu beachten, dass bei höheren Temperaturen eine hohe Verdunstung und damit Aufkonzentrierung der enthaltenden Schwebstoffe und Salze des gespeicherten Wassers eintritt.

Industriewasserversorger: Industrie-Wasserversorger sind spezialisierte Unternehmen, die die Wasserversorgung für industrielle Kunden im großen Maßstab in Form von Trink- und Reinstwasser

bereitstellen und dabei auch für die Aufbereitung, das Recycling und die Einhaltung von Umweltstandards anbieten, sodass Wasserressourcen geschont und Umwelteinflüsse reduziert werden.

Zielerreichungsgrad 2: Klärwerke, Meere

Die Nutzung von Meerwasser und Abwässern von Klärwerken sind in der Regel aufwendiger als die Nutzung der unter Zielerreichungsgrad drei beschriebenen Optionen, prinzipiell aber möglich und werden daher mit zwei Punkten bewertet.

Klärwerke: In Abstimmung mit den zuständigen Stellen für die Entsorgung von Abwasser – den kommunalen Klärwerken, kann eine Nutzung von gereinigtem Abwasser aus zentralen Abwasserbetrieben für weitere Anwendungen erfolgen. Damit kann der Bezug von Wasser für Produktions- oder Kühlprozesse aus anderen, aufwändigeren Quellen deutlich reduziert oder ganz vermieden werden. Da Abwässer bereits einen aufwändigen Aufbereitungsaufwand erfahren, stellt das Wasser eine weitgehend gute Qualität (kein Trinkwasser) für die finalen Reinigungsschritte hin zu Trink- und Reinstwasser dar. Erhalten die Klärwerksbetriebe das Abwasser aus privaten Haushalten, öffentlichen Einrichtungen und Gewerbe bzw. (kleineren) Industriebetrieben, kann von einer weitgehend konstanten Verfügbarkeit ausgegangen werden. Befinden sich touristische Ballungsgebiete im Einzugsbereich, könnten sich Spitzen bei der Verfügbarkeit zeigen. Daher ist eine monatsweise Aufschlüsselung des Abwasseranfall aufschlussreich. Häufig begrüßen Klärwerksbetriebe eine Nachnutzung des gereinigten Abwassers.

Meere (Nord- und Ostsee): Die Entnahme von Wasser aus Nord- und Ostsee ist aufgrund des hohen Salzgehaltes und der biologischen Belastung mit Blick auf den Aufbereitungsaufwand als verhältnismäßig hoch und energieintensiv einzustufen. Dabei weist die Nordsee einen Salzgehalt von 3,5 %, die Ostsee von bis zu 1,8% auf. Daraus ergibt sich ein deutlich höherer technischer Aufwand bei der Nutzung von Nordseewasser. Da die Verfügbarkeit und der Salzgehalt am Ort der Entnahme als zuverlässig bezeichnet werden, ist damit auch der Aufbereitungsaufwand technisch und wirtschaftlich gut kalkulierbar.

Grundsätzlich kann in beiden Gewässern eine Entnahme erlaubnisfrei möglich sein. Dennoch sind besondere Klassifizierungen, wie der Nationalpark-Schutzstatus oder Naturschutzgebiete etc. zu beachten, die eine Entnahme bestimmte Voraussetzungen stellen. Am Ort der Entnahme ist, ebenso wie in anderen Gewässern, durch Vorrichtungen sicherzustellen, dass Pflanzen und Tiere bspw. durch Sogwirkungen nicht gefährdet werden. Hier können die jeweiligen Ministerien für Umwelt- und

Naturbelange sowie die unteren Küstenschutzbehörden der Länder Auskünfte erteilen. Befinden sich in der Nähe der geplanten Entnahmestelle ein Hafenbetrieb muss ggf. eine zivil rechtliche Genehmigung des Betreibers erwirkt werden.

Für den Bezug von Wasser ist daneben der naturschutz- und wasserrechtliche Schutzstatus zu relevant.

Tipp

Tipp: Für Schleswig-Holstein gibt beispielsweise der DigitalAtlasNord bei Aktivierung entsprechender Kriterien (insb. Naturschutz > u.a. Vertragsnaturschutz, Schutzgebiete, Natura2000) eine Auskunft zu geschützten Flächen. Für weitergehende Auskünften ist das Wasser- und Schifffahrtsamt zu kontaktieren und die europäische Wasserrahmenrichtlinie zu beachten. Der Aufbereitungsaufwandes des Wassers wird u.a. durch den Chlorid- und Stickstoffgehalt, die Trübung und elektrische Leitfähigkeit bestimmt.

Zielerreichungsgrad 1: Industrieabwasser, Flussmündung, künstliche Wasserstraßen

Da die Nutzung von Industrieabwasser, Flussmündungswasser oder die Entnahme aus künstlichen Wasserstraßen meist nur eingeschränkt und unter zusätzlichen technischen oder rechtlichen Auflagen möglich ist, wird diese Option im Vergleich zu den vorherigen Optionen nur mit einem Punkt bewertet.

Industrie: Die Nutzung von Abwasser aus Industriebetrieben bzw. industrieellem Klärwerk kann in Zeiten knapper werdender Süßwasserressourcen eine nachhaltige Alternative sein. Besonders in industriellen Ballungsräumen oder unmittelbarer Nachbarschaft kann so eine sinnvolle Kreislaufwirtschaft entstehen – ökologisch wie ökonomisch attraktiv. Einflüsse in Bezug auf die anfallenden Mengen aufgrund saisonaler Schwankungen durch unterschiedliche Produktionszeiträume der Betriebe können eine gleichbleibende Verfügbarkeit beeinflussen. Die Qualität des Industrieabwassers richtet sich nach der Art des Industriebetriebs, seiner Produktionsprozesse und den Einleitungsanforderungen und bestimmen insofern auch den weiteren Aufbereitungsaufwand. In Betrieben, wie der Chemiebrachen, kann daher die Aufbereitung im Weiteren aufwändiger sein. Da die Verfügbarkeit und Qualität maßgeblich von Dritten bestimmt werden, ist das Potenzial trotz des Kreislauf- und Recyclinggedankens als besonders herausfordernd einzurordnen.

Flussmündung: Im Bereich von Mündungsgebieten mischt sich Süßwasser zunehmend mit Salzwasser und es entsteht Brackwasser. Bei Entnahme von Wasser aus Gewässern mit Brackwasserqualität, stellt

sich der Aufbereitungsaufwand dennoch als weniger intensiv im Vergleich zu den Küstengewässern⁷ und Meeren dar, liegt allerdings deutlich über dem reiner Süßwasservorkommen. Die Qualität des Wassers kann entsprechend der Flussbewegungen und Wetterlagen schwanken, was den Aufbereitungsaufwand schwer kalkulierbar macht. Dieser basiert dann in der Regel auf einen angenommenen (hoch belasteten) Fall, um schließlich eine festgelegte Qualität des Wassers für den weiteren Elektrolyseprozess zu erreichen.

Künstliche Wasserstraßen: Durch Schleusen sowie die Abführung großer Wassermengen aus Entwässerungen der umliegenden Landschaft entsteht bei künstlichen Wasserstraßen meist ein Misch- bzw. Brackwasser mit einer geringen Fließgeschwindigkeit. Ist kommerzielle oder touristische Schifffahrt vorhanden, stellt diese aufgrund des notwendigen Tiefgangs eine wichtige Restriktion dar (Mindestwasserführung im Sommer, Sogwirkung etc.). Dies hat zur Folge, dass die Entnahmemenge und -qualität (besonders bei Großanlagen) schwer bzw. mit deutlich erhöhtem Aufwand zu kalkulieren ist. Abhängig von der Anlagengröße und den Alternativoptionen, kann sich eine Entnahme trotz der Herausforderungen darstellen lassen

3.2.2.2 Wasserentnahmestellen



Kurze Entfernung zwischen der Wasserbezugsoption und dem potenziellen Anlagenstandort sind für die Wirtschaftlichkeit eines Projekts am vorteilhaftesten. Höhere Baukosten durch bautechnische Hindernisse sind dabei weniger wahrscheinlich, jedoch nicht ausgeschlossen. Eine Entfernung von bis zu 10 km Luftlinie gilt branchenüblich als wirtschaftlich machbar, wobei größere Distanzen nicht grundsätzlich ausgeschlossen sind.

Die Entfernung zwischen Anlage und Entnahmestelle wirkt sich klar auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes aus. Eine kürzere Distanz wirkt sich tendenziell günstiger auf die Wirtschaftlichkeit aus, als deutlich längere und aufwändiger Entfernung. Allerdings können auch kürzere Distanzen höhere Baukosten verursachen, wenn beispielsweise ein Wassergraben oder Straßen gequert werden müssen. Aufgrund der Komplexität dieser äußeren Bedingungen zielt dieser Aspekt lediglich auf eine längentechnische Bewertung ab und wird auf bis zu 10 km (Luftlinie) gesetzt. Dieser Wert stellt weniger eine absolute Grenze als vielmehr eine näherungsweise Entfernung zwischen Entnahmestelle und Verwertungsstelle dar, die Branchenvertreter selbst annehmen und, vorbehaltlich etwaiger

⁷Küstengewässer sind küstennahe Bereiche des offenen Meeres sowie mit dem offenen Meer in wechselseitiger Verbindung stehende Gewässer, die an mehreren Seiten von Land umschlossen sind.

Störfaktoren, als grundsätzlich wirtschaftlich darstellbar angesehen wird. Größere Entfernung müssen damit nicht per se ausgeschlossen werden.

Im Rahmen der Bonus-Kriterien (Kap. 3.3) können weitere Besonderheiten, die bei der Wasserentnahme zu beachten sind, bewertet werden (siehe Kap. 3.2.2.2).

Der Bezug von ausreichend Wasser sollte aus dem Umfeld der Anlage stattfinden.

Bewertet wird die Entfernung zwischen dem untersuchten Standort (ausgehend vom Rand) und der bestbewerteten bzw. geeignetsten *Wasserbezugsoption* (Kap. 3.2.2.1) für den dauerhaften Betrieb der Elektrolyseanlage.

Zielerreichungsgrad 3: *Entnahme der bestbewerteten Option in einer Entfernung bis 1 km*

Trassenverläufe von bis zu 1km belasten die Wirtschaftlichkeit je nach äußeren Bedingungen am wenigsten stark.

Zielerreichungsgrad 2: „*Entnahme der bestbewerteten Option in einer Entfernung von 1 bis 5 km*“

Ein Wasserpipeline von 1km bis 5km hat einen mittleren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

Zielerreichungsgrad 1: „*Entnahme der bestbewerteten Option in einer Entfernung von 5 bis 10 km*“

Ein Trassenverlauf von 5km bis 10km hat einen deutlich größeren Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Hinzu kommen zusätzliche Aufwendungen bei der erneuten Aufbereitung des Wassers, welche aufgrund der Trassenlänge im Wasser ansammeln können.

3.2.2.3 Wasserentsorgungsstellen



Die Entsorgung der Abwässer aus der Wasseraufbereitung ist stark von der Menge und Zusammensetzung der Bezugsquelle abhängig. Für die Entsorgung kommen verschiedene Optionen infrage. Eine möglichst kurze Distanz zwischen potenziellem Standort (mit Aufbereitung) und Entsorgungsort ist üblicherweise am vorteilhaftesten. Als wirtschaftlich vertretbare Entfernung wird branchenüblich mit bis zu 30 km Luftlinie gerechnet.

Beim Bezug des Wassers und der Aufbereitung hin zu Trink- und Reinstwasser für den Elektrolyseprozess ist die Entsorgung der bei den Aufbereitungsstufen entstehenden Abwässer ein wirtschaftlich wichtiger Faktor zur Bewertung der Umsetzbarkeit. Menge und Zusammensetzung richten sich dabei maßgeblich nach der Quelle des Wassers. In der Regel ist zu unterscheiden in die Abwässer, welche im Rahmen der ersten Aufbereitungsstufe (Rohwasser zu Trinkwasser) und in der

zweiten Aufbereitungsstufe (Trinkwasser zu Reinstwasser) anfallen (Schematische Darstellung siehe Abbildung 4).

Für die (Ab-)Wasserbehandlung der ersten Stufe (Trinkwasseraufbereitung) können Fest- und Schwebstoffe häufig über sogenannte Absetzbecken herausgefiltert werden. Das übrig gebliebene, gereinigte Abwasser kann beispielsweise über einen Vorfluter oder Rohwasserbehälter für eine erneute Filterung zurückgeführt werden. Dies kann Ressourcen schonen und Rohwasserbedarfe reduzieren. Der anfallende Schlamm aus getrockneten Fest- und Schwebstoffen muss in der Regel über Deponien beseitigt werden. Das Abwasser nach der Wasserbehandlung in der Umkehrosmose (UO1) der zweiten Stufe (Reinstwasseraufbereitung) weist in erster Linie hohe Konzentrationen von Sole auf. Je nach Quelle und Ausbeute können weitere Stoffe, wie Chlorid, Sulfat und Kalium in verdichteter Konzentration vorhanden sein. Das Abwasser dieser zweiten Stufe ist aufgrund der Konzentrationen und Zusammensetzungen die kritische Masse, die für eine Entsorgung beachtet werden muss.

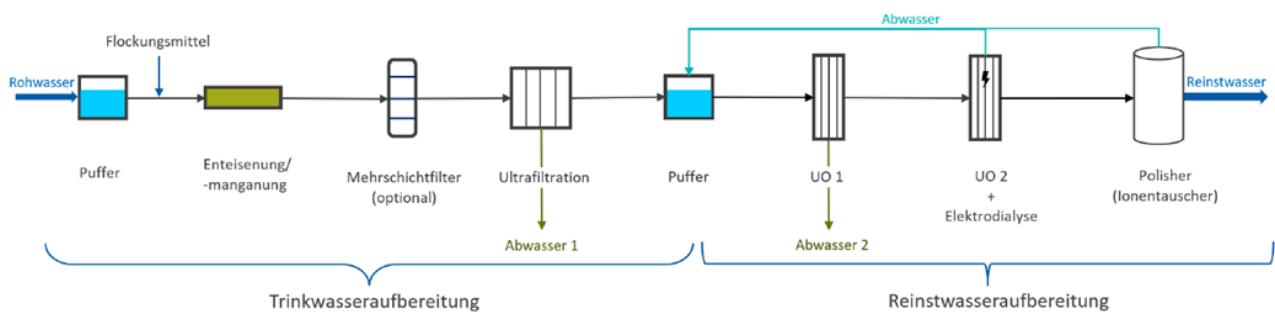


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Wasseraufbereitung zu Trink- und Reinstwasser (exemplarisch) (Zentner, 2024)

Die Entsorgung des Abwassers aus der Wasseraufbereitung ist im Umfeld der Elektrolyseanlage aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten und zur Sicherstellung eines reibungslosen Ablaufs anzuvisieren (Aufbereitung zu Reinstwasser nahe der Anlage). Wird Wasser aus dem Umfeld der Anlage bezogen, ist es technisch sinnvoll elektrolyse- bzw. bezugsnah auch die Entsorgung mit zu betrachten.

Die Entsorgungsmöglichkeiten dieses Abwassers kann über verschiedene Wege eruiert werden:

Örtlichen Abwasserentsorgung über Kläranlagen: Die Einleitung des Abwassers bei einem örtlichen Abwasserentsorger ist nur möglich, sofern das aufgesalzene Abwasser für den örtlichen Abwasserentsorger noch verwertbar ist. Abhängig von der weiteren Belastung des Abwassers kann es Einfluss auf die biologische Funktion des Abwasserprozesses im Klärwerk haben und daher ungeeignet

für diese Option sein. Ansprechpartner der örtlichen Abwasserverwertung können in der Regel eine Einschätzung zur Verwertung geben.

Industriewasserversorger: Als spezialisierte Unternehmen bieten sie neben der Wasserversorgung häufig auch eine Abwasserbehandlung für industrielle Kunden an. Diese kann neben der Entsorgung auch das Abwasser-Recycling beinhalten. Diese übernehmen dann eine umweltgerechte Abwasserbehandlung, sodass gesetzliche Vorgaben eingehalten, Ressourcen geschont und Umweltverschmutzungen vermieden werden.

(sehr große stehende oder fließende) Gewässer oder Küstengewässer: Eine direkte Einleitung des gereinigten Abwassers in nahegelegene Flüsse, große stehende Gewässer, Vorfluter, größere Kanäle, Wasserstraßen oder Meere kann eine Option sein werden. Bei einer Einleitung von Abwasser sind aus ökologischen Gesichtspunkten zwingen gewässerspezifische Temperatur- und Ökologieanforderungen einzuhaltenden. Diese lassen in der Regel bspw. nur wenige Kelvin in der Temperaturdifferenz bei der Einleitung zu. Die Abwasserverordnung (AbwV) sieht zudem u.a. Mindestanforderungen für das Einleiten von Abwasser aus bestimmtem Herkunftsgebieten in Gewässer vor. Die in den Anhängen festgelegten Konzentrationswerte dürfen nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung erreicht werden (§3 Abs. 3 AbwV). Eine Reduzierung der Konzentration durch Beimischung von (Süß-) Wasser, um die nötigen Anforderungen für die Einleitung zu erreichen, ist damit nicht gestattet. Dadurch würde sich der Zustand der Gewässer perspektivisch verschlechtern.

Zero Liquid Discharge (Flächenbedarf): Neben der Entsorgung kommt auch eine thermische Aufbereitung des Abwassers in Betracht. Das Abwassers kann durch eine weitere thermische Behandlung eine Qualität erreichen, bei der lediglich Feststoffe (Salze und Schwebstoffe) und gereinigtes Wasser übrigbleiben. Anlagen für diesen „Zero Liquid Discharge“-Prozess erhöhen den Platz- und Energiebedarf und bedürfen zusätzlicher Investitions- und Betriebskosten (Energiebereitstellung sowie Deponie der Reststoffe). Daher wäre im Umfeld der Anlage zusätzlicher Platzbedarf für den Aufbau einer solchen Anlage einzuplanen.

In Prozessen anderer Gewerbe- und Industrie: Je nach Beschaffenheit, insbesondere mit Blick auf die Zusammensetzung und Temperatur, kann auch eine Weiterverwendung des Abwassers betrachtet werden. Industrie- oder Gewerbebetriebe, welche sich im Umfeld der Anlage befinden, können ggf. das Abwasser (in Abhängigkeit der biologisch/chemischen Zusammensetzung) für verschiedene Prozesse oder zu Kühlzwecken verwerten. Auch Synergien im Rahmen einer gemeinschaftlichen Entsorgung des Abwassers über bereits vorhandene Infrastrukturen können in einer näheren

Betrachtung relevant werden. Dabei ist zu beachten, dass auch bei einer Vermischung von Abwässern verschiedener Betriebe die geltenden Anforderungen der AbwV eingehalten werden.

Eine Bewertung oder ein Ranking der oben genannten Optionen auf ihre tatsächliche Umsetzbarkeit, findet an dieser Stelle aufgrund der hohen Variabilität der Grundgegebenheiten (Qualität der Wasserbezugsquelle, Aufbereitungsmethodik, gesetzliche Vorgaben für die Einleitung, bestehende Abnehmer- und Einleitprofile, Trassenbedingungen etc.) nicht statt. In Abhängigkeit des Entsorgungsbedarfs erfolgt hier eine Abschätzung der verschiedenen Entsorgungsoptionen mit Blick auf ihr Realisierungspotenzial. *Tipp:* Näheres kann nur mit den jeweiligen Ansprechpartnern bzw. Wasserbehörden (z.B. Untere Wasserbehörde des Landkreises) abgestimmt werden. Aufgrund der Vielfältigkeit der äußeren Bedingungen und Optionen und den damit verbundenen Kosten für den Bau von Abwasserleitungen etc. zielt dieses Kriterium auf eine längentechnische Bewertung von bis zu **30 km** (Luftlinie) ab. Dieser Wert stellt weniger eine absolute Grenze als vielmehr eine näherungsweise Entfernung zwischen einer Entsorgungsmöglichkeit und potenziellem Standort dar. Diese Entfernung bewerten Branchenvertreter, vorbehaltlich etwaiger bautechnischer Störfaktoren, als grundsätzlich wirtschaftlich darstellbar. Größere Entfernung müssen damit nicht per se ausgeschlossen werden.

Bewertung: Bewertet wird der Abstand zwischen den oben genannten Optionen und dem potenziellen Standort (Luftlinie). Kommen mehrere Optionen in Betracht, kann die nächst gelegene Option für die Bewertung präferiert werden. Die Bevorzugung einer entfernteren Option, bspw. durch einen weitergehenden Informationsstand, die ist möglich.

Zielerreichungsgrad 3: Einleitungsoption(en) in einer Entfernung von bis zu 5km

Eine Einleitung in einer Entfernung von bis zu 5km wird als am wirtschaftlichsten bewertet. Je geringer und/ oder konfliktfreier die Distanzen sind, umso kostengünstiger lassen sich die Abwässer entsorgen.

Zielerreichungsgrad 2: Einleitungsoptionen(en) in einer Entfernung von 5 bis 10km

Die Einleitung in einer Entfernung von 5 bis 10 km birgt aufgrund der größeren Distanz ein erhöhtes Risiko auf Hindernisse (Straßen, Gewässer, Gebäude, Baumbereiche, Wind- und Solaranlagen, Parks, Schutzgebiete, Bahnübergänge, Wasserflächen uvm.) zu stoßen. Diese wirken sich auf die Kosten für den Bau der Leitungen und somit auch auf die Kostenstruktur der Wasseraufbereitung aus.

Zielerreichungsgrad 1: Einleitungsoption(en) in einer Entfernung von 10-30km

Die Einleitung des Abwassers in deutlich größeren Entferungen von 10 bis 30km lässt den Aufwand für Trassenfindung und Hemmnisbeseitigung deutlich steigen. In Abhängigkeit der Dimensionierung und des Tiefbaus kann bei diesen Entfernungen anstelle eines Pipelinebaus der Aufbau einer Trocknungsanlage für den Zero-Liquid-Discharge-Prozess aus wirtschaftlicher Sicht interessanter sein.

3.2.3 Strom- und Netzbedingungen

Ausgangspunkt ist der nächstgelegene geeignete Netzanschlusspunkt, in der Regel ein Umspannwerk (UW). Mangels freier Schaltfelder oder ausreichender Netzkapazität kann der Netzverknüpfungspunkt jedoch von den Netzbetreibern abweichend festgelegt werden. Dies kann größere Anschlussentferungen und höhere Kosten verursachen. Rechtsgrundlagen für Anspruch und Zumutbarkeit der Herstellung des Netzanschlusses ergeben sich aus EnWG und StromNZV; die konkrete Festlegung des Netzverknüpfungspunktes erfolgt fallbezogen durch den Netzbetreiber

Die pauschale Zuordnung zu einer Spannungsebene ist nicht möglich. Sie hängt von der örtlichen Netzsituation und den verfügbaren Kapazitäten im Verteil und Übertragungsnetz ab. TenneT weist darauf hin, dass Kundenanlagen an 380 kV, 220 kV oder an die 110 kV Sammelschiene angebunden werden können; die 110 kV Sammelschiene gehört dabei zur Umspannung Höchst in Hochspannung (Vgl. Abbildung 5). Der Netzbetreiber legt unter Abwägung von Standortnähe und Netzausbau den Netzanschlusspunkt fest. Für Anschlüsse ab 110 kV und Anlagenleistungen ab 100 MW greifen zudem die einschlägigen Verfahren und Formulare nach VDE AR N 4120 beziehungsweise VDE AR N 4130.

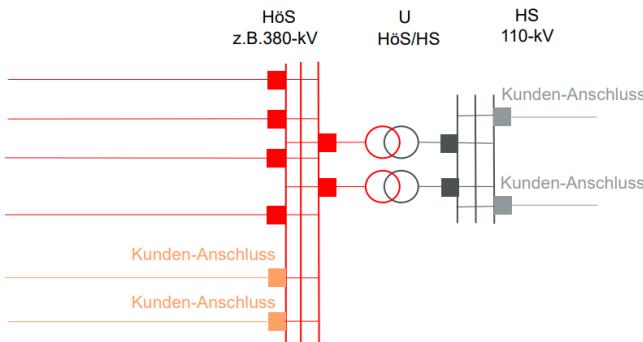


Abbildung 5: Schematische Darstellung OnShore Netzanschluss (Tennet, 2021)

Neben der reinen Elektrolyseleistung sind Balance of Plant (BOP) Verbraucher zu berücksichtigen, insbesondere Verdichter, Pumpen, Kühlung und Aufbereitung. In Systemstudien werden elektrische BOP-Anteile typischerweise im Bereich etwa 7 bis 11 Prozent der Stackleistung ausgewiesen; abhängig vom Scope und insbesondere bei hoher Verdichtung kann projektspezifisch auch ein höherer Ansatz

sinnvoll sein. Für eine 100 MW Anlage ist daher eine Anschlussleistung in einer Größenordnung von etwa 110 bis 120 MVA plausibel, abhängig von Wirk- und Blindleistungsführung des Gesamtsystems

Tipp

Tipp: In der Leistungsklasse von etwa 100 bis 200 MW ist ein Anschluss auf 110 kV vielfach technisch darstellbar, sofern ausreichende Kapazitäten und geeignete Schaltfelder vorhanden sind. Ab dieser Größenordnung kann, je nach Netzlage, auch ein Anschluss an die Höchstspannungsebene erforderlich werden. Die endgültige Entscheidung trifft der zuständige Netzbetreiber im Rahmen der Netzanschlussprüfung und unter Berücksichtigung des Netzentwicklungsplans.

Leistungen darüber müssen dann auf der 380 kV Ebene (Höchstspannung) angeschlossen werden. Besonders netzdienlich können so große Elektrolyseure an Netzknotenpunkten der Höchstspannung sein. Für Schleswig-Holstein sind beispielsweise die Standorte im Umfeld der Umspannwerke Heide/West und Audorf/Süd (Vgl. Abbildung 6). Bei den Annahmen im Standortkompass sind Anlagen >100 MW vorgesehen, daher wird bei den Überlegungen ein 380 kV Netzanschluss zugrunde gelegt.



Abbildung 6: Leitungsausbau in Schleswig-Holstein (Tennet, 2021)

3.2.3.1 Baukostenzuschuss zum Netzanschluss



Der Baukostenzuschuss beschreibt den finanziellen Anteil, den der Anschlussnehmer an den Kosten für die Herstellung oder Verstärkung des Netzanschlusses zu tragen hat. Die Höhe des Zuschusses hängt von der Entfernung zum nächsten geeigneten Einspeisepunkt, der Anschlussleistung sowie den Netzbedingungen des zuständigen Betreibers ab. Ein geringer oder entfallender Baukostenzuschuss wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit und damit

Für Anschlüsse oberhalb der Niederspannung existiert keine eigenständige Verordnung analog der Niederspannungsanschlussverordnung (NAV), die die Erhebung von Baukostenzuschüssen (BKZ) detailliert regelt. Die Bundesnetzagentur BNetzA hat deshalb ihre Rechtsauffassung in Positionspapieren niedergelegt. Das aktuelle Positionspapier der Beschlusskammer 8 vom 20. November 2024 (Beschlusskammer 8, Bundesnetzagentur, 2024) präzisiert Zweck, Bemessung und Differenzierung des BKZ und baut auf dem BKZ-Positionspapier der Beschlusskammer 6 aus dem Jahr 2009 (Beschlusskammer 6, 2009) auf. Für die Niederspannung bleiben gesonderte Regelungen maßgeblich, die vom neuen BKZ-Positionspapier ausdrücklich unberührt sind.

Der Anspruch auf Netzanschluss sowie die Bedingungen dafür folgen aus § 17 EnWG. Die Bedingungen und Entgelte für den Netzzugang unterliegen § 21 EnWG und müssen angemessen, diskriminierungsfrei und transparent sein. Diese Vorgaben betreffen primär Netzzugang und Entgeltbildung. Sie schließen BKZ nicht aus, verlangen aber Transparenz und Nichtdiskriminierung bei deren Erhebung.

Die BNetzA stellt klar, dass BKZ ein Preis-signales Instrument sind, um Anschlusskapazitäten netzdienlich zu nutzen. Großverbraucher wie Elektrolyseure sollen sich an Standorten ansiedeln, die das Netz weniger belasten. In der Pressemitteilung heißt es wörtlich, Anschlussnehmer sollten je nach Vorteilhaftigkeit des Standorts in unterschiedlicher Höhe an Netzkosten beteiligt werden (Beschlusskammer 8, Bundesnetzagentur, 2024, p. 7).

Für Übertragungsnetzbetreiber erlaubt das Positionspapier eine abgestufte BKZ-Bemessung nach standortbezogener Netzwirkung. Vorgesehen sind fünf Stufen zwischen 100 Prozent und 20 Prozent. Die Zuordnung erfolgt je Netzverknüpfungspunkt anhand der voraussichtlichen Mehrkosten beziehungsweise des Engpassmanagementbedarfs (vgl. Abbildung 7). Damit bleibt die Lenkungswirkung erhalten und erfolgt zugleich auf Basis einer einheitlichen und transparenten Methode der vier ÜNB. *Tipp:* Beispielhafte Größenordnung aus der BNetzA-Mitteilung: Bei 600 Megawatt Anschlussleistung entspräche dies einmalig rund 60 Millionen Euro bei 100 Prozent und 12 Millionen Euro bei 20 Prozent.

Tipp

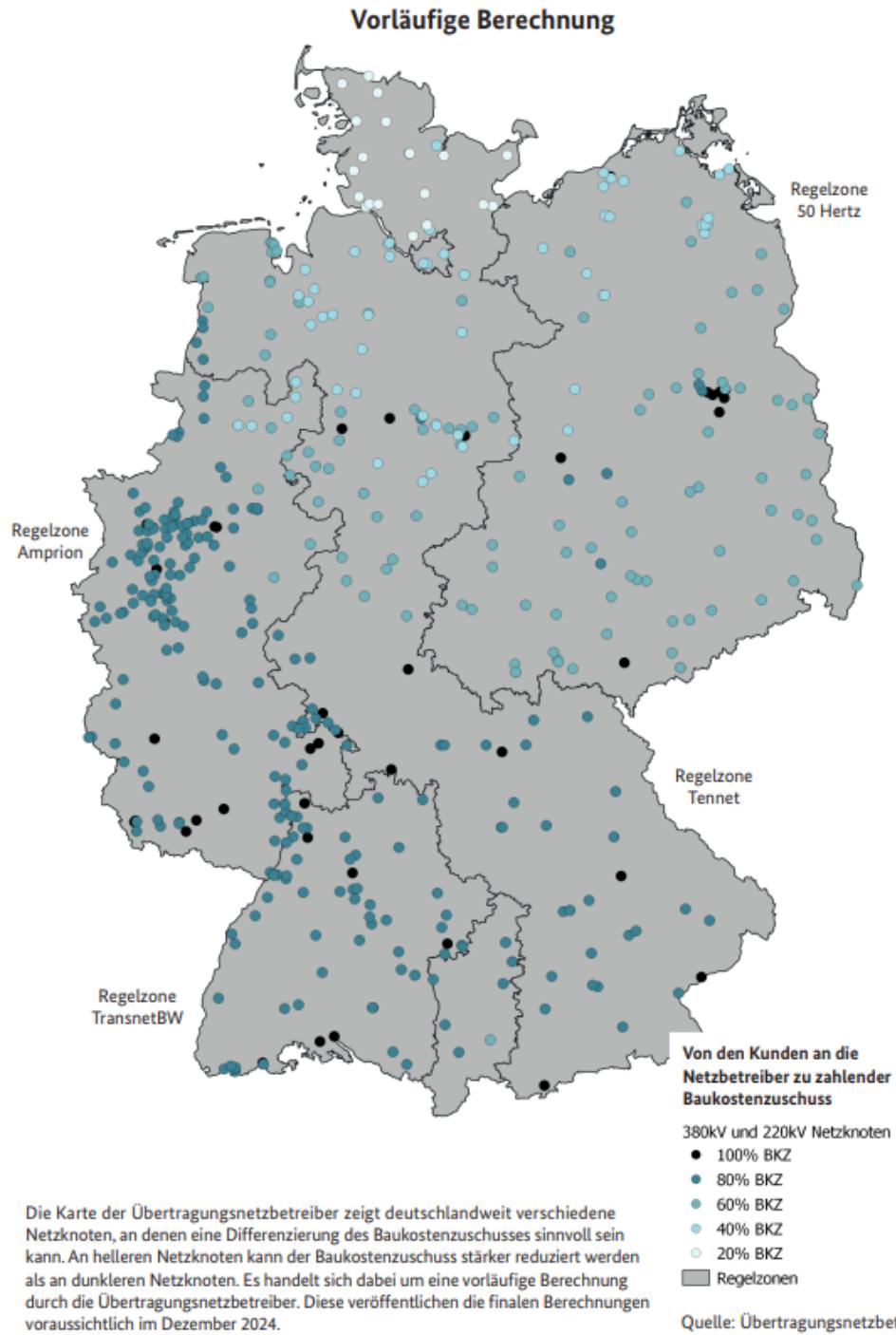


Abbildung 7: Auszug aus dem Positionspapier der Übertragungsnetzbetreiber zu regionalen Preissignalen für mehr Kosteneffizienz im Übertragungsnetz (Netztransparenz, 2024)

Eine vergleichbare räumliche Differenzierung für Verteilnetzbetreiber wird von der BNetzA wegen erhöhter Diskriminierungsrisiken nicht eröffnet. Für VNB bleibt es damit bei einheitlichen, nicht

standortgestaffelten BKZ innerhalb des jeweiligen Netzes. (Beschlusskammer 8, Bundesnetzagentur, 2024, p. 11)

Die obigen Aussagen betreffen BKZ als einmalige leistungsabhängige Beiträge zum vorgelagerten Netzausbau bei neuen oder verstärkten Anschlüssen. Netzentgelte für die laufende Netznutzung sind davon getrennt zu betrachten und werden durch StromNEV und Regulierungsvorgaben bestimmt. Die BNetzA betont, dass BKZ historisch nur einen einstelligen Prozentanteil der Gesamtnetzkosten abdecken; ihre Hauptfunktion ist die Lenkung, nicht die Systemfinanzierung.

Zielerreichungsgrad 3: 20% Baukostenzuschuss an dem Netzknotenpunkt

Voraussetzung: Der Netzknoten ist in der günstigsten Stufe eingestuft. Es verbleibt ein BKZ von 20 Prozent des maßgeblichen Leistungspreises.

Begründung: Ein BKZ von null ist nach Auffassung der Bundesnetzagentur ausdrücklich nicht sachgerecht. Zur Wahrung der Lenkungs- und Steuerungsfunktion ist mindestens 20 Prozent zu erheben. Damit wird die höchstmögliche Reduktion erreicht

Zielerreichungsgrad 2: 40% Baukostenzuschuss an dem Netzknotenpunkt

Voraussetzung: Der Netzknoten ist so eingestuft, dass 40 Prozent BKZ zu entrichten sind.

Begründung: Die Beschlusskammer 8 sieht für Übertragungsnetzbetreiber eine wirkungsbezogene Fünf Stufen Differenzierung von 100 bis 20 Prozent vor. 40 Prozent stellt die nächsthöhere Entlastungsstufe oberhalb des Minimums dar und signalisiert eine ausgeprägt netzdienliche Lage des Standorts.

Zielerreichungsgrad 1: 60% Baukostenzuschuss an dem Netzknotenpunkt

Voraussetzung: Der Netzknoten weist 60 Prozent BKZ aus.

Begründung: 60 Prozent liegt in der Mitte der vorgesehenen Stufen und dokumentiert eine moderate Entlastung gegenüber dem Ausgangswert ohne standortbezogene Vorteile.

Hinweis: Sind Netzknoten mit 80 Prozent oder 100 Prozent BKZ ausgewiesen werden keine Punkte vergeben. Diese Stufen entsprechen hoher beziehungsweise voller Zuschusshöhe und indizieren einen Standort mit geringen systemischen Entlastungswirkungen. 100% wird derzeit nur an 8% aller Netzknoten angesetzt. 52% der Netzknoten haben eine Einstufung als 80%. Positive Bewertungspunkte werden somit nur für die 40% der Netzknoten vergeben.

3.2.3.2 Entfernung Umspannwerk (Netzanschlusspunkt)



Das nächste Umspannwerk mit einem 380kV Netzanschluss sollte sich in unter 10 km Entfernung befinden. Je näher am Umspannwerk desto besser. Im Idealfall beträgt die Entfernung unter einem Kilometer. ACHTUNG: Wechselspiel mit anderen Kriterien möglich. Sollten Wasser, Strom und Gasnetzanschluss weiter als 5 km entfernt sein hat dies erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit

Die Entfernung zum Netzverknüpfungspunkt ist ein erheblicher Kostentreiber. Ausschlaggebend sind dabei die anzuschließende Spannungsebene sowie die Bauart der Leitung als Freileitung oder Erdkabel. In der Leistungsklasse von etwa 100 MW ist ein Anschluss auf 110 kV oder 380 kV grundsätzlich möglich. In der Praxis ist 110 kV häufig, bei größerer Skalierung oder knapper 110 kV Kapazität kann 380 kV zweckmäßig sein. Die Entscheidung trifft der Netzbetreiber im Einzelfall.

Kostenbandbreiten je Bauart und Ebene (Bundesnetzagentur, 2019):

- 380 kV Freileitung. Typisch rund 2,2 Millionen Euro pro Kilometer für eine Doppelleitung bei Neubautrasse.
- 380 kV Erdkabel. Mehrkostenfaktor gegenüber 380 kV Freileitung häufig vier bis fünf. Orientierungswerte von etwa 11,5 Millionen Euro pro Kilometer werden genannt
- 110 kV Erdkabel. Realisierte Projekte zeigen Spannen von etwa 1,0 bis 1,5 Millionen Euro pro km bei zweisystemiger Ausführung je nach Verlegebedingung

Für neue Trassen bis einschließlich 110 kV gilt der gesetzliche Erdkabelvorrang, solange die Gesamtkosten die der technisch vergleichbaren Freileitung nicht um mehr als den Faktor 2,75 übersteigen. Abweichungen kann die Planfeststellungsbehörde auf Antrag zulassen, wenn öffentliche Interessen nicht entgegenstehen.

Die Kostendifferenz begründet, weshalb die Leitungslänge niemals als geringer Kostentreiber zu werten ist. Beispielsweise verursacht eine zusätzliche Trassenlänge von 10 Kilometern bei 380 kV als Freileitung großenordnungsmäßig etwa 22 Millionen Euro, als Erdkabel etwa 115 Millionen Euro (Bundesnetzagentur, 2019).

Da 100 MW häufig als erste Ausbaustufe verstanden werden und eine spätere Skalierung zu erwarten ist, ist die Betrachtung eines 380 kV Anschlusses für die Wirtschaftlichkeitsbewertung plausibel. Mit wachsender Gesamtinvestition relativieren sich die spezifischen Anschlusskosten, größere Entfernungen werden in Relation zum Projektvolumen weniger gewichtig. Die Bauart bleibt jedoch ausschlaggebend, zumal Erdkabel die Akzeptanz erhöhen, aber deutlich höhere Investitionskosten verursachen.

Ausgehend von Daten aus 2025, können für eine 100 MW Elektrolyseanlage ca. 230 Mio.-260 Mio. € angenommen werden. Daten von europäischen Projekten ergeben spezifische Kosten von AEL-Elektrolyseuren von 2.310€ /kW (European Hydrogen Observatory, 2025), validiert kann dieses mit dem Projekt in Hamburg Moorburg werden. Bei einer Förderung von 154 Mio. € für einen 100 MW Elektrolyseur und einer angenommenen Förderquote von 60% der Förderfähigen Kosten, bedeutet eine Investition in Höhe von ca. 256 Mio. €.

Aus Kostengründen wird von der Planung des Anschlusses mit Freileitungen ausgegangen. Die Mehrkosten bei Erdkabeln sind so viel höher, dass man immer, wenn keine starken Gründe dagegensprechen, Freileitungen bevorzugen wird.

Letztendlich entscheidet der Business-Case einer Anlage darüber, wie stark Kosten Stromanschluss die Kosten beeinflussen.

Bewertungskennzahl K ist der prozentuale Anteil der Investitionskosten für die elektrische Anschlussleitung an der Gesamtinvestition des Vorhabens.

$$\text{Formel: } K = \frac{C_{\text{Leitung}}}{C_{\text{Gesamt}}} * 100$$

Für C_{Leitung} sind projektspezifische Einheitspreise je Kilometer und Bauart anzusetzen. Als Orientierungswerte können oben aufgeführte Kilometerkosten herangezogen werden

Zielerreichungsgrad 3: Entfernung zum nächsten Netzknotenpunkt (380kV) bis 1 km

Voraussetzung: Entfernung zum nächsten geeigneten Netzverknüpfungspunkt kleiner 1 Kilometer und

$$K < 1 \%$$

Bei kurzen Distanzen liegen die Grenzkosten an der 1 Kilometer Marke im einstelligen Millionenbereich. Bei Großanlagen mit Gesamtinvestitionen um etwa 250 bis 260 Millionen Euro für 100 MW führt dies bei 380 kV Freileitung zu Größenordnungen von rund 0,9 Prozent je Kilometer und

bei 110 kV Erdkabel zu etwa 0,5 bis 1,0 Prozent je Kilometer. Damit wird die Schwelle von 1 Prozent unterschritten.

Zielerreichungsgrad 2: Entfernung zum nächsten Netzknotenpunkt (380kV) zwischen 1 km – 5 km

Voraussetzung: Entfernung zwischen 1 Kilometer und 5 Kilometer und

$$1 \leq K \leq 5\%$$

Begründung: In dieser Distanzklasse steigen die Leitungskosten proportional zur Trassenlänge. Mit den oben genannten Einheitspreisen ergeben sich für 380 kV Freileitung bei rund 1 bis 5 Prozent bezogen auf eine Gesamtinvestition der genannten Größenordnung. Bei 110 kV Erdkabel liegen die prozentualen Werte im selben Intervall, abhängig von Verlegebedingungen und notwendiger Systemintegration.

Zielerreichungsgrad 1: Entfernung zum nächsten Netzknotenpunkt (380kV) zwischen 5 km – 10 km

Voraussetzung: Entfernung zwischen 5 Kilometer und 10 Kilometer und

$$K < 10\% .$$

Begründung: Bis 10 Kilometer erreicht der Kostenanteil bei 380 kV Freileitung rechnerisch etwa 9 Prozent bezogen auf eine Gesamtinvestition. Bei 110 kV Erdkabel liegt der Anteil projektabhängig im oberen einstelligen Prozentbereich. Ein Punkt ist daher weiterhin gerechtfertigt, solange die 10 Prozent Schwelle nicht überschritten wird.

3.2.3.3 Netzdienlichkeit



(Strom-)netzdienlich sind Anlagen, wenn Sie in Region gebaut werden, wo viel Erzeugungsleistung vorhanden ist und wenige Abnahmekapazität vorhanden ist. Erzeugter Strom muss nicht weggeleitet und ggf. abgeschaltet werden.

Netzdienlichkeit beschreibt die gezielte Integration von Elektrolyseuren in das Stromnetz mit dem Ziel, Netzengpässe zu vermeiden, Redispatchbedarf zu senken und den Einsatz erneuerbarer Einspeisung

zu erhöhen. Sie umfasst zwei komplementäre Komponenten: Standort und Betriebsweise. Ein netzdienlicher Standort liegt vor, wenn der Elektrolyseur in einer Region mit hoher erneuerbarer Einspeisung platziert wird und dort Strom nutzt, der andernfalls netzbedingt abgeregelt würde. Netzdienliche Betriebsweise bedeutet eine flexible Fahrweise in Abhängigkeit vom aktuellen Netzstatus, bis hin zu definierten Eingriffsrechten des Anschlussnetzbetreibers. Erst das Zusammenwirken von Standort und Betriebsweise entfaltet die volle netzdienliche Wirkung. Diese Systematik wird vom Nationalen Wasserstoffrat als zentraler Baustein für die Integration großer Elektrolysekapazitäten hervorgehoben.

Netzverträglichkeit ist die Mindestvoraussetzung und meint die Einhaltung technischer Anschlussregeln und Normen. Netzdienlichkeit geht darüber hinaus und nutzt die Flexibilität des Elektrolyseurs zur Entlastung des Stromnetzes. Systemdienlichkeit betrachtet zusätzlich die Einbindung in das Gesamtsystem, insbesondere die Verfügbarkeit von Wasserstoffinfrastruktur, Speicher und Abnehmern. Eine systemdienliche Verortung kann sowohl den Stromnetzausbau als auch die Gesamtkosten des Energiesystems senken.

Redispatch Eingriffe und deren Kosten sind zentrale Indikatoren für netzseitige Belastungen. Netzdienliche Elektrolyseure können diesen Bedarf mindern, indem sie lokale Einspeisespitzen aufnehmen und so Engpassmanagement reduzieren. Definition und Weiterentwicklung des Redispatch sind bei der Bundesnetzagentur dokumentiert.

Bewertet werden Umfeldfaktoren, die eine Netzdienlichkeit implizieren (z.B. §13k EnWG, Direktleitungen zu EE-Erzeugungsanlagen).

Zielerreichungsgrad 3: Überschussregion nach §13k EnWG

Netzdienlichkeit im Sinne von § 13k EnWG liegt vor, wenn der Elektrolyseur als zusätzlich zuschaltbare Last in einer von den ÜNB ausgewiesenen Entlastungsregion betrieben wird und die Zusätzlichkeits- sowie Betriebsanforderungen erfüllt. Ziel ist die Verringerung der Abregelung erneuerbarer Einspeisung durch aktivierte Zusatzverbrauch in Engpasslagen. Die rechtliche Grundlage ergibt sich aus § 13k EnWG; Ausgestaltung und Verfahren sind durch BNETZA Festlegungen sowie das ÜNB-Umsetzungskonzept konkretisiert.

Die ÜNB legen Entlastungsregionen fest und veröffentlichen sie auf der Plattform Netztransparenz⁸. Für die Erprobungsphase ab 1. Oktober 2024 wurden acht Regionen benannt; die geografische Zuordnung erfolgt auf Ebene von Landkreisen und kreisfreien Städten, also faktisch NUTS 3

Teilnahmeberechtigt sind registrierte, zusätzlich zuschaltbare Lasten in Entlastungsregionen. Die BNetzA differenziert drei Segmente mit operativer bzw. investiver Zusätzlichkeit und verlangt u. a. Steuerbarkeit, flexible Fahrweise und eine viertelstundenscharfe Messung; Fahrten nach Standardlastprofil sind ausgeschlossen (Bundesnetzagentur, 2024)

Voraussetzung:

- der Standort liegt in einer von den ÜNB veröffentlichten Entlastungsregion, und
- die Anlage ist für § 13k präqualifiziert und erfüllt die Zusätzlichkeitskriterien inklusive flexibler Fahrweise und Viertelstundenmessung der Abregelungsstrommengen.

Zielerreichungsgrad 2: Redispatch Potenzial 2035 > Anlagenleistung * 2000 h

Bewertet wird, wie hoch das technisch verfügbare Redispatch-Potenzial am Standort ist und ob es für den netzdienlichen Betrieb großer Elektrolyseure ausreicht. Datengrundlage ist der interaktive PoWerD Webatlas des Fraunhofer ISE⁹. Dort können über die Layerauswahl rechts die thematischen Ebenen zu Netzlast und Redispatch eingeblendet werden. Für eine robuste, längerfristige Einordnung aus Sicht 2025 wird der Layer Redispatch 2035 (vgl. Abbildung 8) herangezogen. Aufgrund langer Planungshorizonte von Planung bis Inbetriebnahme von einigen Jahren empfehlen die Autoren einen Layer zu nehmen mit einem Zeitpunkt $t > t_0 + 5$ Jahre.

⁸ <https://www.netztransparenz.de/de-de/Systemdienstleistungen/Betriebsfuehrung/Nutzen-statt-Abregeln/Entlastungsregionen>

⁹ <https://www.h2-powerd.de/>

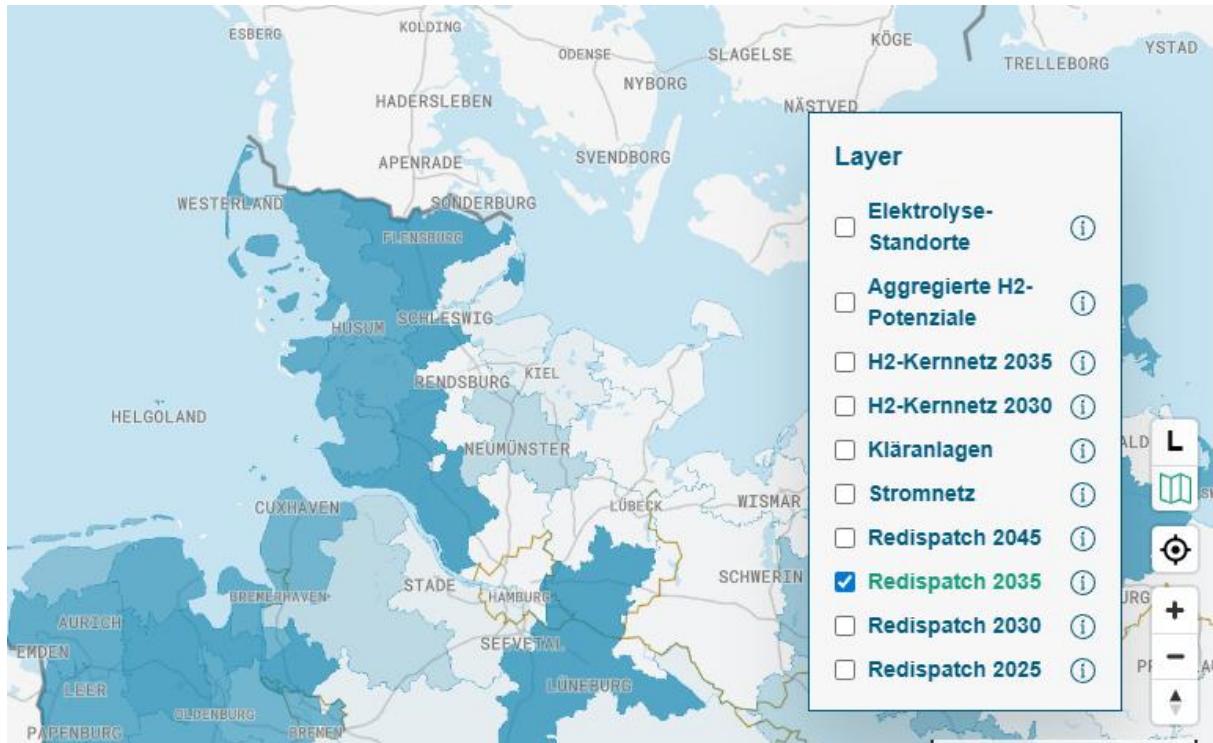


Abbildung 8: Redispatch Potenzial 2035 (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2024)

Nach heutigem Kenntnisstand begründet ein hohes Redispatch-Potenzial allein noch keinen unmittelbaren monetären oder planungsrechtlichen Mehrwert. Die Aussagekraft kann jedoch künftig zunehmen, insbesondere wenn Förderung oder Genehmigungskriterien explizit an Netzdienlichkeit geknüpft werden. Der politische Rahmen bekräftigt das Leitbild systemdienlicher Elektrolyseure, ohne bereits flächendeckende Detailmaßnahmen festzulegen.

Vergleich der jährlichen Redispatch-Energiemenge (E_{RD}) aus dem PoWerD Layer für den relevanten Standortkorridor mit der anlagenseitigen Mindestaufnahme (E_{min}).

$$E_{RD} \geq E_{min}$$

$$E_{min} = P_{El} * 2.000h \quad P_{El} \text{ gleich installierte Elektrolyseurleistung am Standort}$$

$$E_{RD} \geq P_{El} * 2.000h$$

Damit ist sichergestellt, dass das ausgewiesene Redispatch-Potenzial rechnerisch mindestens 2.000 Vollaststunden des Elektrolyseurs abdecken kann. Vorausgesetzt es ist das einzige Elektrolyseprojekt im Umfeld. Ein Redispatch-Potenzial, das mindestens etwa 2.000 Stunden beziehungsweise rund 23 Prozent eines Jahresbetriebs abdeckt, ist eine konservative Untergrenze, damit der Elektrolyseur nicht zusätzlich zu Engpässen beiträgt und absehbar abgeregelte Einspeisung lokal nutzbar macht

Zielerreichungsgrad 1: Region mit hoher EE-Erzeugung und geringem Strombedarf, aber keine §13k EnWG-Region innerhalb einer Gebotszone

Ein Punkt wird vergeben, wenn im relevanten NUTS-3-Gebiet nachhaltig mehr Strom aus Erneuerbaren Energien EE erzeugt wird als verbraucht, sodass der Elektrolyseur voraussichtlich keine zusätzlichen Netzengpässe induziert. Zusätzlich muss für die Anrechenbarkeit als „grüner Wasserstoff“ im Sinne der Treibhausgasquote bei Netzstrombezug die Regel-Trias der 37. BImSchV erfüllbar sein: Zusätzlichkeit § 6, zeitliche Korrelation § 7, geografische Korrelation § 8. Eine Direktleitung erfüllt die Anrechenbarkeit alternativ nach § 4.

Aktuell bilden Deutschland und Luxemburg eine gemeinsame Gebotszone. Eine künftige Aufteilung ist politisch und fachlich in Diskussion; bei einer Trennung steigt die Relevanz der geografischen Korrelation nach § 8 für die Anrechenbarkeit deutlich.

Ein Punkt wird vergeben, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

EE-Überschuss im Standortkreis: Die jährliche EE-Erzeugung (Bundesnetzagentur, 2025) im NUTS-3-Gebiet ist größer als der jährliche Stromverbrauch von

- Verarbeitendem Gewerbe und sonstiger Industrie sowie
- Privaten Haushalten.

Datenquellen: GENESIS Regionaldatenbank¹⁰ beziehungsweise Fachseiten von Destatis zur Energieverwendung Industrie und zum Stromverbrauch privater Haushalte (DESTATIS, 2023) (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025).

Zusätzlichkeit nach §6 37. BImSchV: Stromherkunft aus neuen EE-Anlagen mit Inbetriebnahme maximal 36 Monate vor der Elektrolyseur-Schnittstelle oder über PPA von entsprechend neuen, nicht geförderten EE-Anlagen. Direktleitung ist alternativ zulässig. Neuanlagen sind im MaStR registrierungspflichtig und dort prüfbar.

¹⁰ www.regionalstatistik.de

Zeitliche Korrelation §7 37. BImSchV: bis 2029 monatliche Korrelation, ab 1. Januar 2030 stündliche Korrelation; alternativ gilt die Bedingung als erfüllt, wenn der Day-Ahead-Preis $\leq 20 \text{ €/MWh}$ oder $< 0,36 \times \text{ETS-Preis}$ liegt.

Geografische Korrelation §8 37. BImSchV: EE-Erzeugung und Elektrolyse liegen in derselben Gebotszone oder in verbundenen Gebotszonen mit nicht niedrigerem Day-Ahead-Preis in der Erzeugungszone.

3.2.4 Planungs- und Baurechtliche Voraussetzung



Als idealer Standort gelten diese, welche eine zeitnahe rechtssichere Planungsgrundlage liefern welche Baurecht gewährt. Zu diesen zählen unter anderem Angebots Bebauungspläne, ausgewiesene Sondernutzungsbereiche oder Konversionsflächen. Die Möglichkeit der Ausweisung als Industriegebiet im Rahmen eines Vorhabenbezogenen Bebauungsplans ist im Einzelfall zu prüfen und stellt keinen Standortbegünstigten Faktor dar

Zielerreichungsgrad 3:

- GI im B Plan nach §9 BauNVO ausgewiesen (oder)
- Konversionsflächen / Umnutzungspotenziale ehemaliger GE/GI Flächen
- Sondernutzung nach §11 BauNVO

Wasserstoffanlagen mit mehr als 100 MW sind in Gewerbegebieten nach § 8 BauNVO nicht grundsätzlich ausgeschlossen. Maßgeblich ist, ob die konkrete Anlage städtebaulich als nicht erheblich belästigender Gewerbebetrieb eingestuft werden kann. Dies hängt im Einzelfall insbesondere von der Einhaltung der Immissionsrichtwerte nach TA-Lärm ab und vom geplanten Dauerbetrieb. Unabhängig vom Bauplanungsrecht sind großskalige Elektrolyseure in der Regel immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig. Der Wortlaut des § 8 BauNVO nennt Elektrolyseure nicht ausdrücklich; eine ausdrückliche Erweiterung des § 8 Absatz 2 um Wasserstoffanlagen ist Stand März 2025 nicht ersichtlich. Alternativ kann die Ausweisung eines Industriegebietes nach §9 BauNVO oder Sondergebiets nach § 11 BauNVO erfolgen. Bei Sondergebieten sollte eine mögliche Formulierung im direkten Kontext von Elektrolyseuren enthalten sein. Eine Beispielhafte Formulierung kann lauten: „Zulässig sind Anlagen zur Erzeugung, Umwandlung, Speicherung und Verteilung von Energie aus erneuerbaren Quellen durch Elektrolyse zur Umwandlung elektrischer Energie in Wasserstoff, Nebenanlagen wie Verdichter, Speicherbehälter, Trafostationen, Leitungsanlagen sowie

betriebsnotwendige Infrastruktur. Dies umfasst auch bauliche Anlagen zur erforderlichen Umwandlung und Weiterleitung der erzeugten elektrischen Energie.“ Die Detailausgestaltung erfolgt über textliche Festsetzungen und Plandarstellungen des Bebauungsplans.

Volle Zielerreichung mit 3 Punkten liegt vor, wenn zeitnah Rechtssicherheit über die planungsrechtliche Zulässigkeit besteht. Dies ist regelmäßig gegeben, wenn ein Bebauungsplan mit Rechtskraft vorliegt und das Vorhaben den Festsetzungen des qualifizierten Bebauungsplans nach § 30 Absatz 1 BauGB nicht widerspricht und die Erschließung gesichert ist. Dies ist nicht mit der Konzentrationswirkung des § 13 BImSchG gleichzusetzen.

Die Immissionsschutzrechtliche Genehmigung bündelt zwar anlagenbezogene Entscheidungen, schließt jedoch bestimmte zusätzliche Zulassungen, etwa einzelne wasserrechtliche Erlaubnisse, nicht zwingend ein.

Konversionsflächen ehemaliger Industrieflächen können die Herbeiführung von Baurecht beschleunigen, da bauleitplanerische Vorbelastungen und vorhandene Erschließungsstrukturen häufig vorliegen und naturschutzrechtliche Konflikte durch Vornutzungen reduziert sein können. Gleichwohl sind Altlasten und Emissionen im Einzelfall zu prüfen. Aus diesem Grund erfüllen sie diese ebenfalls die Anforderungen für Zielerreichungsgrad 3.

Hinweis zur Abgrenzung. Der Nachweis der Zulässigkeit in einem Gewerbegebiet setzt regelmäßig die Einhaltung der TA-Lärm über Tag und Nacht voraus. Für kleinere Elektrolyseure wurden 2024 und 2025 Verfahrensvereinfachungen im Immissionsschutzrecht eingeführt, die die Genehmigung beschleunigen können, die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit aber nicht ersetzen

Zielerreichungsgrad 2:

- **Ausweisung im Flächennutzungsplan (F-Plan) als gewerbliche Bauflächen**
- **Ausweisung im Flächennutzungsplan (F-Plan) als Sonderbaufläche**
- **Sondernutzung nach §11 BauNVO im Energiekontext ohne eindeutige Ausweisung spezieller Technologien**

Zwei Punkte werden vergeben, wenn der Flächennutzungsplan (FNP) der Gemeinde eine einschlägige Darstellungsabsicht für die in Rede stehende Nutzung erkennen lässt, zum Beispiel als gewerbliche Baufläche oder als Sonderbaufläche mit zweckbezogener Bezeichnung für Elektrolyseure, ein rechtskräftiger Bebauungsplan mit entsprechender Festsetzung jedoch noch nicht vorliegt. Der FNP dokumentiert die städtebauliche Entwicklungsabsicht, begründet aber für sich allein noch kein Baurecht.

Der Flächennutzungsplan ist der vorbereitende Bauleitplan. Er stellt die Art der Bodennutzung in Grundzügen für das gesamte Gemeindegebiet dar und signalisiert das städtebauliche Interesse der Gemeinde, etwa auch durch die Darstellung von Sonderbauflächen mit Zweckbestimmung. Eine Pflicht, aus einer FNP-Darstellung zwingend einen Bebauungsplan zu erlassen, besteht nicht. Bebauungspläne sind zwar aus dem FNP zu entwickeln, der FNP entfaltet jedoch primär Bindungswirkung gegenüber Behörden und nicht gegenüber Privaten. Deshalb erhöht eine einschlägige FNP-Darstellung die Umsetzungswahrscheinlichkeit, schafft aber ohne Bebauungsplan keine unmittelbare Rechtssicherheit.

Der Flächennutzungsplan stellt die Entwicklungsabsicht der Gemeinde dar und lässt auf ein Interesse der Gemeinde zum Erlassen eines entsprechenden Bebauungsplans schließen. Eine Pflicht aus einer Flächennutzungsplanung einen Bebauungsplan zu machen gibt es aber nicht. Bei den Sonderbauflächen können die Kommunen auch Zweckbestimmungen z. B. Elektrolyseanlagen ausweisen, welche die Umsetzungswahrscheinlichkeit nochmal erhöhen.

Sondergebiete nach §11 BauNVO mit einer weniger klaren Eingrenzung wie z. B. "Einrichtungen, Betriebe und Anlagen, die mit ihrer Arbeitsweise oder ihren Produkten in besonderem Maße zu einem umweltfreundlichen oder nachhaltigen Wirtschaften beitragen und die in besonderem Maße geeignet sind, die erzeugten Energien zu verwerten" bergen eine Auslegungsrisiko der Bauaufsicht. Grundsätzlich kann diese für und wider Argumentieren und über ein Baubegehren entsprechend Entscheiden. Auch wenn nicht explizit Elektrolyseure genannt sind, kann je nach Auslegung von einer Realisierungswahrscheinlichkeit ausgegangen werden. Aufgrund des Interpretationsrisikos werden aber nur 2 Punkte vergeben.

Zielerreichungsgrad 1:

- **Militärische Konversionsflächen**
- **Wasserstoff-Vorhaben sind im Rahmen der Regionalplanung auf dem Gebiet vorgesehen**
- **Vorhaben auf der Fläche entspricht dem Landesentwicklungsplan**
- **Flächen im unmittelbaren Industriemfeld oder anliegend an Sondernutzungsgebieten „Hafen“**

Ein Punkt wird vergeben, wenn mindestens eines der folgenden Kriterien nachweislich erfüllt ist. Rechtssicherheit ist damit nicht hergestellt, es liegt jedoch ein belastbares Indiz für die grundsätzliche Eignung des Standorts vor. Die genannten Einzeltatbestände sind belastbare Frühindikatoren für planerische Machbarkeit, ohne bereits Baurecht zu begründen.

Militärische Konversionsfläche: Die Fläche ist eine militärische Konversionsliegenschaft, die einer zivilen Nutzung zugeführt werden soll, und die Standortgemeinde signalisiert Mitwirkungsbereitschaft im Rahmen ihrer Planungshoheit. Konversionsflächen bieten häufig städtebauliche Entwicklungschancen und sind planungsrechtlich steuerbar

Regionalplanerische Positivindikation: Das Vorhaben ist im einschlägigen Regionalplan als zulässige beziehungsweise zu entwickelnde Nutzungsoption vorgesehen oder nicht ausgeschlossen, sodass eine Übereinstimmung mit übergeordneten Zielen und Grundsätzen der Raumordnung wahrscheinlich ist. Ziele der Raumordnung entfalten Bindungswirkung für öffentliche Stellen.

Kongruenz mit dem Landesentwicklungsplan ohne verbindliche Festsetzung: Der Standort liegt im unmittelbaren Industrieumfeld oder angrenzend an ein als Sondergebiet Hafen darstellbares beziehungsweise festsetzbares Areal und entspricht den Leitplanken des Landesentwicklungsplans. Eine verbindliche Festsetzung im Bebauungsplan liegt noch nicht vor.

3.2.5 Infrastrukturelle Anbindung (Markt und Fachkräfte)

In der ersten Phase der Markthochlaufs ist zu erwarten, dass zwischen Produktions- und Abnahmemärkte größere Distanzen überbrückt werden müssen. Da sich Entfernung stark auf die Kostenstruktur auswirken, ist es sinnvoll diese Distanzen so gering und kostengünstig, wie möglich zu gestalten. Ein Screening möglicher Marktzugänge unter verschiedenen Bedingungen kann die Standortwahl also entscheidend beeinflussen.

Gleiches gilt für die Entfernung vom potenziellen Standort zu künftigen Fachkräften bzw. Gebieten in denen Fachkräfte mit entsprechenden Qualifikationen gewonnen werden können. Diese Qualifikationen werden in den meisten Aufgaben keine neuen Bedarfe darstellen. Im Bedarfsfall können Kompetenzen durch Zusatz- und Weiterbildungen erweitert und spezifiziert werden. Da bereits heute Unternehmen um Fachkräfte mit technischem Hintergrund stark konkurrieren, sollte der potenzielle Standort für technische Berufsgruppen in Bezug auf die Erreichbarkeit attraktiv sein.

3.2.5.1 Anbindung für qualifizierte Mitarbeiter



Für den Aufbau und Betrieb von Elektrolyseanlagen werden Fachkräfte und akademische Spezialisten benötigt, deren Verfügbarkeit und Erreichbarkeit entscheidend für die erfolgreiche Projektumsetzung ist. Eine gute infrastrukturelle Anbindung und räumliche Nähe (Fahrzeit) zu zentralen Orten erhöhen die Wahrscheinlichkeit, qualifiziertes Personal zu gewinnen, wobei für Fachkräfte tendenziell kürzere Fahrzeiten als für Spezialisten

Im Rahmen des Markthochlaufs der Wasserstoffwirtschaft werden zahlreiche qualifizierte Fachkräfte gebraucht. Sie sind sowohl für den Aufbau der Leitungen und Elektrolysesysteme, als auch für deren Betrieb stark gefragt. Zu den relevanten, ausbildungstechnischen Berufsfeldern, die direkt der Wertschöpfungskette zugerechnet werden können, zählen u.a. Baulektrik, elektrische Betriebstechnik, Maschinenbau und Betriebstechnik (im Weiteren **Fachkräfte**) (Flake, 2025). Zusatzkompetenzen für den Umgang mit Hochvolt- und Gashochdrucksystemen sind bereits in anderen Branchen gefragt und stellen insofern keine neuen, wenngleich aber eine gängige Zusatzqualifikation dar. Zu den relevanten, akademischen Berufsgruppen, die für die Entwicklung von Projekten und den späteren Betrieb nachgefragt sein werden, können Ingenieure und IT-Spezialisten (im Weiteren **Spezialisten**) gezählt werden.

Für den umfassenden Betrieb einer Anlage bedarf es qualifizierte Mitarbeiter verschiedener Fachrichtungen. Es ist anzunehmen, dass ein Mehrschichtsystem für die Sicherstellung eines durchgehenden Betriebs und kurze Reaktionszeiten im Störfall notwendig ist. Pro Schicht können schätzungsweise 10-15 Personen unterschiedlicher Berufsgruppen u.a. für die Anlagenführung, Elektrotechnik, IT-Arbeiten, Ingenieursaufgabe notwendig sein.

Die infrastrukturelle Anbindung von Mitarbeitern an die Arbeitsorte der Wasserstoffprojekte (insb. Produktionsanlagen) ist ein zentraler Aspekt für den Erfolg und die nachhaltige Umsetzung solcher Projekte. Es ist zu erwarten, dass die Projekte größerer Dimension (größer 100MW) aufgrund des Platzbedarfes, der Emissionen sowie der baurechtlichen Einordnung vorrangig in Industrie- und Gewerbegebieten oder Randzonen realisiert werden. Eine gute Verkehrsanbindung durch Nah- und Fernverkehrsstraßen, öffentliche Verkehrsmittel oder unternehmenseigene Shuttle-Services können hier gute Bedingungen schaffen. Zudem ist eine etablierte Infrastruktur für Lagerung und Transport von Materialien, Ersatzteile und Ausrüstung erforderlich, um reibungslose Arbeitsabläufe zu ermöglichen.

Es ist zu erwarten, dass für den Betrieb einer Elektrolyseanlage pro Schicht sowohl Fachkräfte als auch Spezialisten benötigt werden. Die Wahrscheinlichkeit, diese Berufsgruppen in einer vertretbaren Entfernung zum Anlagenstandort erfolgreich anzusprechen, steigt, je näher sich der potenzielle Standort an einem sogenannten „zentralen Ort“ befindet. Es ist wird angenommen, dass **Spezialisten** tendenziell eher dazu bereit sind längere Fahrzeiten zum Arbeitsort zurück zu legen, als **Fachkräfte**. Die Differenzierung der Fahrzeiten beruht auf der Annahme, dass Fachkräfte mit handwerklichen Tätigkeiten fortwährend vor Ort sein werden und eine Rufbereitschaft gewährleisten müssen, wohingegen Spezialisten Teile ihrer Arbeit auch mobil bzw. remote erledigen und somit durch weniger Fahrtage zum Arbeitsort im Umkehrschluss zu längeren Fahrzeiten bereit sein könnten. Grundsätzlich

lässt sich festhalten, dass etwa $\frac{1}{3}$ der Vollzeit-Erwerbstätigen knapp 30 Minuten zu ihrer Arbeitstätte pendeln und gut $\frac{1}{4}$ der Arbeitnehmer bis zu 60 Minuten (Destatis-Microzensus, 2025) benötigen.

Bewertet wird für dieses Kriterium daher eine zeitbezogene Entfernung zwischen Anlagenstandort und den nächst gelegenen zentralen Orten sowie differenziert nach **Fachkräften** und **Spezialisten**. Dabei wird als Basisszenario die Fahrzeit vom nächstgelegenen Stadtrand zum untersuchten Anlagenstandort angesetzt, die mit einem PKW unabhängig von Hauptverkehrszeiten zurückgelegt werden.

Es wird unterstellt, dass in den sogenannten „zentralen Orten“ (vgl. §24 Abs. 1 LaplaG Schleswig-Holstein) entsprechend der jeweiligen Einwohnergröße sowie der verkehrstechnischen und sozialen Infrastrukturen die Verfügbarkeit von Fachkräften und Spezialisten verschieden stark ausgeprägt sein wird, wodurch eine Abstufung der Zielerreichungsgrade vorgenommen wurde. *Tipp:* Die Klassifizierung der zentralen Orte (Ober-, Mittelzentrum etc.) ist u.a. den **Regional-, Landesentwicklungs- bzw. Raumordnungsplänen** (Schleswig-Holstein.de-1, 2025) der Bundesländer zu entnehmen. Das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen stellt über eine interaktive Karte für Raumordnungspläne der Bundesländer entsprechende Informationen bereit (BMWSB-1, 2025).

Tipp

Zielerreichungsgrad 3: Entfernung zum Oberzentrum mit potenziellen Fachkräften von 30 min.
Fahrzeit

Zielerreichungsgrad 3: Entfernung zum Oberzentrum mit potenziellen Spezialisten von 60 min.
Fahrzeit

Die Verfügbarkeit von Mitarbeitern wird in der Nähe von sogenannten **Oberzentren**, einer **Metropole** oder einem **Ballungsgebiet**, am höchsten sein. Oberzentren & Co. verfügen u.a. über eine sehr gut ausgebauten Bildungsinfrastruktur (Grundschulen bis Berufsbildungsstätten und Universitäten verschiedener Fachrichtungen), eine hohe Bevölkerungsdichte sowie eine gute überregionale verkehrliche Anbindung, sodass die Verfügbarkeit von Mitarbeitern der entsprechenden Ausbildungs- und Studienberufe grundsätzlich sehr hoch sein wird. (BMWSB-2, 2025) (BMWSB-3, 2025) Durch die vorhandenen Infrastrukturen leisten Oberzentren die Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen des höheren spezialisierten Bedarfs und haben hohe industrieller Bedeutung, was für einen Elektrolysestandort in Bezug auf die infrastrukturelle Anbindung (Markt und Fachkräfte) vorteilhaft sein kann. (schleswig-holstein.de-2, 2025)

Es ist wird angenommen, dass Fachkräfte bereit sind im Schnitt bis zu 30 Minuten und Spezialisten bis zu 60 Minuten Fahrzeit, ausgehend von Oberzentren u. ä., zum Arbeitsort zurück zu legen. Sind Oberzentren, Metropolen oder Ballungsgebiete entsprechend „nah“, steigt die Chance ein qualifiziertes Team für den Betrieb der Anlage aufbauen und erhalten zu können, sodass dem potenziellen Standort der Zielerreichungsgrad 3 zugeschrieben werden kann.

Zielerreichungsgrad 2: Entfernung zum Mittelzentrum mit potenziellen Fachkräften von 30 min.

Fahrzeit

Zielerreichungsgrad 2: Entfernung zum Mittelzentrum mit potenziellen Spezialisten von 60 min.

Fahrzeit

In einer Abstufung der Potenziale für qualifizierte Mitarbeiter sind auch **Mittelzentren** von Bedeutung. Im Falle von sogenannten „Mittelzentren im Verdichtungsraum“ sollten bei der Bewertung von den Randbereichen der Mittelzentren ausgegangen werden. Für Mittelzentren charakteristisch ist häufig eine Einwohnergröße von circa 40.000 Personen und die Versorgung mit Gütern und Dienstleistungen des gehobenen langfristigen Bedarfs mit Ansätzen zur Ausbildung eines industriellen Potenzials (vgl. §28 Abs. 2 und 3 LaplaG Schleswig-Holstein). Die Bildungsinfrastruktur ist weniger breit aufgestellt als in Oberzentren, erfüllt aber dennoch die Grundanforderungen hinsichtlich der Aus- und Weiterbildungen von Fachkräften und Spezialisten. Zur Gruppe der **Mittelzentren** sind auch Ausprägungen wie „**Unterzentren mit Teilfunktionen von Mittelzentren**“ und „**Stadtrandkerne I. Ordnung mit Teilfunktionen von Mittelzentren**“ u. ä. zuzählen.

Es ist wird angenommen, dass Fachkräfte im Schnitt bis zu 30 Minuten und Spezialisten bis zu 60 Minuten Fahrzeit ausgehend vom Stadtrand der Mittelzentren bereit sind zum Arbeitsort zurück zu legen. Sind Mittelzentren u. ä. entsprechend weit entfernt, ist die Chance ein qualifiziertes Team für den Betrieb der Anlage aufbauen und erhalten zu können als „gut“ zu bewerten, sodass dem potenziellen Standort der Zielerreichungsgrad 2 zugeschrieben werden kann.

Zielerreichungsgrad 1: Entfernung zum Unterzentrum mit potenziellen Fachkräften von 30 min.

Fahrzeit

Zielerreichungsgrad 1: Entfernung zum Oberzentrum mit potenziellen Spezialisten von 60 min.

Fahrzeit

Die Wahrscheinlichkeit potenzielle Fachkräfte und Spezialisten für den Betrieb einer größeren Elektrolyseanlage zu akquirieren, wird mit zunehmender Entfernung von großen und mittleren Städten und Gemeinden aufgrund der Einwohnergröße und örtlichen Strukturen kleiner.

Dennoch bestehen aufgrund der dynamischen Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt und den Möglichkeiten flexibler und ortsunabhängiger Aus- und Weiterbildung im Umfeld von Unter- bzw. Grundzentren solide Chancen qualifizierte Mitarbeiter zu finden.

Wenngleich **Unterzentren** bzw. **Grundzentren** überwiegend der Grundversorgung des Umfelds dienen, so weisen sie im Nahbereich doch eine Bevölkerungszahl von meist 10.000 Menschen und eine grundsätzliche Ausstattung (BMWSB-4, 2025) (Schulen, Kinderbetreuung etc.) an verkehrstechnischer und sozialer Infrastruktur vor (vgl. §26 Abs. 1 und 2 LaplaG Schleswig-Holstein), was beispielsweise im Bereich der Jugend- und Erwachsenenbildung hohe Relevanz haben kann.

Es ist wird angenommen, dass Fachkräfte im Schnitt bis zu 30 Minuten und Spezialisten bis zu 60 Minuten Fahrzeit ausgehend von Unter- bzw. Grundzentrum bereit sind zum Arbeitsort zurück zu legen. Sind Unterzentren u. ä. entsprechend nah, besteht eine solide Chance ein qualifiziertes Team für den Betrieb der Anlage aufbauen zu können und ist insofern noch hinreichend zu beachten, sodass dem potenziellen Standort in diesem Kriterium der Zielerreichungsgrad 1 zugeschrieben werden kann.

3.2.5.2 Entfernung zum nationalen Wasserstoffnetz



Das nationale Wasserstoffkernnetz („H2-Backbone“) ist ein zentraler Bestandteil der nationalen Wasserstoffstrategie und soll mit über 9.000 km Leitungen die Versorgung von Industrie, Gewerbe und weiteren Sektoren sicherstellen. Für Elektrolyseurbetreiber ist die (perspektivische) Nähe zum Kernnetz daher strategisch bedeutsam, da sie eine flexible Einspeisung, Risikoreduzierung und potenzielle Kostenvorteile beim Wasserstofftransport

Das Wasserstoffkernnetz, auch „H2-Backbone“ genannt, ist ein fester und wichtiger Baustein für die Schaffung einer breiten Verfügbarkeit von Wasserstoff für potenzielle Abnehmer aus den Bereichen Industrie, Gewerbe, Mobilität, Kraftwerksbetrieb und weiteren Sektoren. Für Anlagenbetreiber ist daher die Möglichkeit einer Anbindung an dieses Netz ein wichtiger Faktor. Die nationale

Wasserstoffstrategie des Bundes legte in 2020 und 2023 den Grundstein (BMWK, 2025). Das von den Fernleitungsnetzbetreibern entwickelte und durch die Bundesnetzagentur im Oktober 2024 genehmigte Wasserstoffkernnetz umfasst 9.040km Leitungen. Etwas mehr als die Hälfte dieses Kernnetzes wird durch Umwidmung und Ertüchtigung bestehender Erdgasleitungen realisiert. Der Anteil des Neubaubedarfs liegt bei knapp 4.000km (44%). Die Abbildung 9 stellt den Verlauf des Wasserstoffkernnetzes unterteilt in Neubau- und Umstellungsleitungen dar (Bundesnetzagentur-H2Backbone, 2025). Die Anbindung an eine neugebaute oder umgewidmete Leitung ist für Elektrolyseurbetreiber gleichermaßen interessant. Wobei zu erwarten ist, dass die Inbetriebnahme einer ertüchtigten Leitung schneller realisiert werden kann, als eine Neubauleitung.

Die Nähe zum Wasserstoffkernnetz offeriert Anlagenbetreibern neben einer direkten Nutzung (on-side) auch eine Abnahme und Vorhaltung des produzierten Wasserstoffs für Abnehmer andernorts. Dies kann als Redundanz im Falle eines Ausfalls der Abnahme vor Ort von hoher Relevanz sein, die Auslastung erhöhten und Risiken mindern. Die Einspeisung ins Netz ermöglicht zudem Lieferungen zu Kunden an unterschiedliche Standorte, wodurch Kosten für einen möglichen Transport per LKW oder Bahn reduziert werden und ein Kostenvorteil entstehen kann. Wenngleich der Transport aufgrund des fehlenden Nationalen Wasserstoffkernnetzes derzeit noch häufig per LKW erfolgt, wird der Transport von Wasserstoff per Straße und Schiene aus Kostengründen perspektivisch eine immer geringere Rolle spielen (BMWK-H2, 2025).

Die Gruppe potenzieller Abnehmer aus dem Kernnetz dürfte in den nächsten Jahren steigen, denn viele Standorte zahlreicher Industrie- und Gewerbebetriebe sowie Industriezentren befinden sich bereits nahe des Kernnetzes und schaffen damit ein großes Abnahmepotenzial. Mit Hilfe von Wasserstofftechnologien sieht gut jedes dritte Unternehmen aus den Sektoren Industrie, Bauwesen und Dienstleistungen in der Dekarbonisierung ihrer Betriebsprozesse und Dienstleistungen gute und große Chancen für rentable Investitionen (IW-Report 10/2024, S.13, 2024). Dabei bietet Wasserstoff als vielseitig einsetzbare Ressource zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten die Dekarbonisierung auch umzusetzen.

Aufgrund der Wichtigkeit des Kernnetzes als Schnittstelle zur allgemeinen Wasserstoffwirtschaft wird die Entfernung zwischen potenziellen Standort und zum nationalen Wasserstoffkernnetz (per vorhandenem Einspeisepunkt oder neu zu schaffendem Anschluss im Leitungsverlauf) via Luftlinie gewertet.

Wenngleich eine Einspeisung in das Kernnetz (zunächst) nicht Teil des Geschäftsmodells ist, so sollte diese Option dennoch als Redundanz im Sinne einer Reduzierung von Risiken betrachtet werden. Die

Kosten für einen selbst hergestellten Anschluss (Zuleitung) an das Kernnetz richten sich u.a. nach den örtlichen Gegebenheiten (bauliche, naturschutzrechtliche, infrastrukturtechnische Hemmnisse) sowie der Größe und Auslastung (Betriebsmodell) der Elektrolyseanlage. *Tipp:* Ausgehend von den kalkulierten Kosten des Wasserstoffkernnetzes (Bundesnetzagentur-Anlage 3, 2024) liegt der Preis für mittlere Leitungsdimensionierungen von DN 200 bis 500 bei ca. 2.000€ bis 2.200€/m¹¹ (Leitung, Bau, GDRM). Die Kosten für kleinere Leitungen von DN 100¹², wie sie für den Transport von Wasserstoff aus einer 100MW Elektrolyse in Frage kommt, dürften leicht darunter liegen.

Bewertet wird die Entfernung (Luftlinie) vom potenziellen Standort zum nationalen Wasserstoffnetz. Dies kann per Abschätzung des potenziellen Standortes zum mutmaßlichen Verlauf des Kernnetzes, wie es derzeit von der Bundesnetzagentur kartiert ist (Abbildung 9), und der Maßnahmenkarte (Bundesnetzagentur-FNB Anlage 3, 2024) (Bundesnetzagentur- Anlage6, 2024). Zusätzlich kann auf neu geplante oder perspektivisch umgestellte Leitungen, die in der Nähe des potenziellen Standortes geplant sind, abgestellt werden (siehe Anlage 3 (Neubau) (Bundesnetzagentur-geä.Anlage3, 2024), 4 (Umstellung) (Bundesnetzagentur-geä.Anlage3, 2024) oder 5 (erdgasverstärkende Maßnahmen) (Bundesnetzagentur-Anlage4, 2024) zur geänderten Fassung des Wasserstoffkernnetz

Tipp

¹¹ Im Weiteren werden die untere Kostengrenze angenommen. Preisvergleichen liegen an der Stelle nicht vor.

¹² Annahmen: Dauerbetriebs einer 100MW Elektrolyse, Transport bei ca. 80bar, unter Normbedingungen, Strömungsgeschwindigkeit von 10 m/s = Rohrdurchmesser rund 100mm.

(Bundesnetzagentur-H2Backbone,

2025).

Genehmigtes Wasserstoffkernnetz

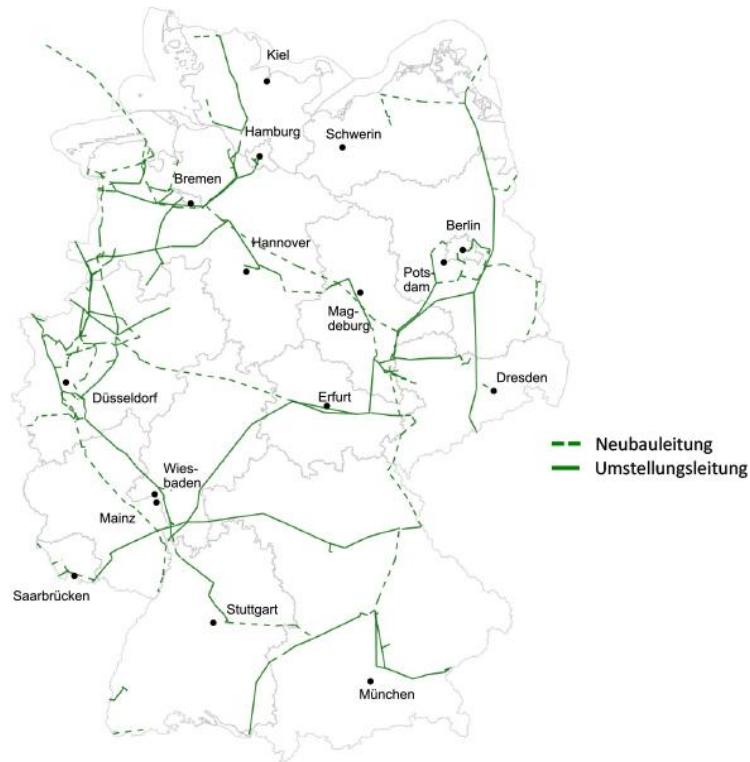


Abbildung 9: Grafik des genehmigten Wasserstoffkernnetzes in Deutschland (Bundesnetzagentur-H2Backbone, 2025)

Zielerreichungsgrad 3: Entfernung zum nationalen Wasserstoffkernnetz bis 1 km

Die Nähe zum Wasserstoffkernnetz wird im Zuge des Markthochlaufs eine bedeutende Abnahmeoption darstellen. Für den Anschluss an das Wasserstoffkernnetz wird in jedem Fall eine Anschlussleitung einzuplanen sein. Die Kosten für diese Anschlussleitung fallen in der Regel geringer aus, je näher sich der Standort am Kernnetz bzw. dessen nächstem Einspeisepunkt liegt. Besondere Gegebenheiten, wie beispielsweise bauliche Hindernisse (Ortschaften, Gewerbe- und Industriegebiete, Strom- und Gasleitungen, Schienen- und Autobahnen) aber auch Natur- und Landschaftsschutzgebiete sowie Gewässer können zu höheren Anforderungen und Entferungen und damit auch zu höheren Kosten für den Leitungsbau führen.

Ausgehend von einem abgeschätzten Leitungspreis für den Neubau von 2.000 € pro (Bundesnetzagentur-Anlage 3, 2024)¹³ Meter (siehe Einleitung 3.2.5.2) können für den Anschluss an das Kernnetz in einer Entfernung von 1km ca. 2,0 Mio. € zusätzliche Investitionskosten hinzukommen. Bei einer kürzeren Distanz zwischen potenziellem Standort und Wasserstoffkernnetz (per eigenem oder vorhandenem Einspeisepunkt) können Kosten für den Bau einer Anschlussleitung sowie mögliche Speicheranlagen als Redundanzfaktoren geringer ausfallen.

Zielerreichungsgrad 2: Entfernung zum nationalen Wasserstoffkern von 1 bis 5 km

Ausgehend von Kosten in Höhe von durchschnittlichen 2.000¹⁴ € pro Meter Wasserstoffleitung (siehe Einleitung 3.2.5.2) kann der Investitionsbedarf in diesem Entfernungsbereich je nach Länge, Dimension, Druckniveau etc. bei schätzungsweise 2,0 bis 10,0 Mio. € liegen. Diese Beträge erhöhen die Kosten des produzierten Wasserstoffs wesentlich. In Relation zu den Gesamtkosten wird diese Kostenposition von Branchenvertretern als noch vertretbar eingestuft, sodass diese Entfernung mit dem Zielerreichungsgrad 2 bewertet wird.

Zielerreichungsgrad 1: Entfernung zum nationalen Wasserstoffkernnetz von 5 bis 10 km

Da geeignete Flächen für potenzielle Standorte in direkter Umgebung des Wasserstoffkernnetzes begrenzt sein werden, müssen unter Umständen auch größere Entfernung in Kauf genommen werden. Abhängig von der transportierten Menge und Konstanz (gasförmig, flüssig etc.) sind Leitungen über größere Entfernung deutlich kostspieliger, wenngleich notwendig. Fällt die Anlage aus wirtschaftlichen Gründen größer aus, kann auch die Dimensionierung größer ausgelegt werden. Die Höhe der Baukosten werden dabei in erster Linie durch größeren Rohrdurchmesser und weniger vom Betriebsdruck bestimmt.

Ausgehend von Kosten in Höhe von durchschnittlichen 2.000¹⁵ € pro Meter Wasserstoffleitung (siehe Einleitung 3.2.5.2) kann der Investitionsbedarf je nach Länge, Dimension, Druckniveau etc. bei

¹³ Geänderte Anlage 3: Neubaumaßnahmen (Antrag 22.07.2024) > ermittelt wurden die Durchschnittlichen Kosten pro Meter, inkl. pauschaler Annahmen für Nebenanlagen/ GDRM

¹⁴ Im Weiteren werden die untere Kostengrenze angenommen. Preisvergleichen liegen an der Stelle nicht vor.

¹⁵ Im Weiteren werden die untere Kostengrenze angenommen. Preisvergleichen liegen an der Stelle nicht vor.

schätzungsweise 10,0 bis 20,0 Mio. € liegen. Diese Beträge sind auch bei Anlagendimensionen von 100 MW und größer nicht unerheblich und steigern die Produktkosten deutlich.

3.2.5.3 Abnehmermarkt



Die Abnahme von Wasserstoff ist entscheidend für den wirtschaftlichen Betrieb einer Elektrolyseanlage, wobei das Interesse potenzieller Abnehmer – insbesondere aus Industrie, Mobilität und Energie – aufgrund steigender Dekarbonisierungsziele kontinuierlich wächst. Wasserstoff bietet dafür zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten zur Emissionsreduktion. Eine große Anzahl potenzieller Abnehmer im Umkreis von etwa 10 km ist daher besonders

Grundsätzlich ist die Sicherstellung der Abnahme essenziell für den wirtschaftlichen Betrieb der Elektrolyseanlage. Die Gruppe potenzieller Abnehmer aus dem Kernnetz dürfte zunehmend steigen, denn zahlreiche Industrie- und Gewerbebetriebe sowie Industriezentren haben nicht nur ihren Standort nahe des Kernnetzes. Gut jedes dritte Unternehmen aus den Sektoren Industrie, Bauwesen und Dienstleistungen sieht in einer Dekarbonisierung ihrer Betriebsprozesse (z.B. m. H. v. Wasserstoff) und Dienstleistungen gute und große Chancen für ihre Investitionen (IW-Report 10/2024, S.13, 2024). Wasserstoff bietet als vielseitig einsetzbare Ressource daher zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten die Dekarbonisierung auch umzusetzen. Als eines der Megatrends der Zukunft unterstützt es die verschiedenen Sektoren die Ziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes¹⁶ in Bezug auf die Reduzierung ausgestoßener Treibhausgasmengen zu erreichen.

Zu den potenziellen Senken bzw. Branchen, die Wasserstoff perspektivisch abnehmen könnten, zählen:

- Mobilitätssektor: z.B. Carsharing- und Flottenanbieter, Autovermietung, Tankstellenbetreiber mit (potenzieller) Wasserstoff- oder Erdgastankstelle (Beimischung), Logistik-Unternehmen, Abfallwirtschaft, Busflotten (privat, ÖPNV) (Nordfriesland, 2020)
- Industriesektor: z.B. Raffinerien (Methanolherstellung, Kraftstoffsynthesen etc.), Metallverarbeitung
- Wärmesektor: z.B. Beimischung über Gasnetzeinspeisepunkte, BHKWs,
- Stromsektor: Brennstoffzellen-BHKW
- Speichersektor: Speichertankanlagen, unterirdische Kavernen, Batteriespeicher

¹⁶ Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 235) geändert worden ist

- Transportsektor: Wasserstoffkernnetz, Binnen- und Seehafen, Eisenbahnanschluss

Bewertet werden die Option bzw. die Anzahl möglicher Abnehmer in einer Entfernung bis zu ca. 10km zum potenziellen Standort.

Zielerreichungsgrad 3: n-Abnahmeoptionen durch Anschluss an das Wasserstoffkernnetz im Umkreis von bis zu 10km

Die Nähe des potenziellen Standortes zum Wasserstoffkernnetz in einem Umkreis von ca. 10km orientiert sich am Kriterium „Entfernung zum Wasserstoffnetz“ (siehe Kap. 3.2.5.2), da diese auch bei Distanzen von bis zu 10km noch mit einem Punkt bewertet werden können. Die Option Wasserstoff in das Kernnetz einzuspeisen wiegt in diesem Kriterium größer als ein oder mehrere potenzielle Abnehmer aus den o.g. genannten Beispiel-Branchen, da die Zahl der Wasserstoffsenken über das Netz deutlich größer, branchenbezogen vielfältiger und von der Entfernung quasi unabhängig sind.

Zielerreichungsgrad 2: Mehr als eine sonstige Abnahmeoption (nicht das Kernnetz) im Umkreis von 10km

Da die Anbindung ans Wasserstoffkernnetz nicht an jedem Standort wirtschaftlich realisierbar sein wird, kommt nur noch die Lieferung an Abnehmer im möglichst nahen Umfeld in Frage. Idealerweise besteht mit der Planung der Elektrolyseanlage bereits ein LOI mit einem Abnehmer. Kommen in einem Umkreis von ca. 10km weitere Abnehmer in Betracht (ohne das Kernnetz), ist dieser Umstand für die Risikobewertung ein wichtiger Faktor. Die tatsächlichen Absatzchancen werden sich nach der Branchenzugehörigkeit der potenziellen Abnehmer (Beispiel-Branchen, s.o.) und der damit verbundenen Zahlungsbereitschaft für grünen Wasserstoff richten.

Zielerreichungsgrad 1: Eine sonstige Abnahmeoption (nicht das Kernnetz) im Umkreis von 10km

Im Falle einer weniger entwickelten Umgebung rund um den potenziellen Standort, sollte sich zumindest ein Abnehmer (Beispiel-Branchen, s.o.) in einem Umkreis von ca. 10km identifizieren lassen bzw. per LOI im Boot sein. Aufgrund der hohen Kosten für die Herstellung einer Wasserstoffleitung zum Abnehmer (siehe Kriterium „Entfernung zum nationalen Wasserstoffkernnetz“, Kap. 3.2.5.2) oder

alternativen Transportoptionen, wie beispielsweise dem LKW- oder Zug-Trailering¹⁷, sollten größeren Distanzen vermieden werden. Denn diese Anbindung und Verlademöglichkeiten sind zwingende Voraussetzung und nur selten bereits Vorort gegen, sodass sie mit zusätzlichen, hohen Investitionen einhergehen. Werden diese Kosten in Kauf genommen, können auch weitere Distanzen über 10km betrachtet werden.

3.2.6 Abwärme

Beim elektrolytischen Prozess wird bei der Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff auch Wärme freigesetzt. Diese Wärme kann je nach Elektrolysetechnologie bis zu $\frac{1}{3}$ der eingesetzten Energie ausmachen und stellt damit einen signifikanten Anteil dar. Abwärme fällt zudem in den Nebenanlagen, wie der Gleichrichtereinheit, an. Die in diesem Prozess entstehenden Verluste (Abwärme) nimmt über die Betriebslaufzeit stetig zu. Über Wärmetauscher an den entsprechenden Stellen besteht die Möglichkeit einen Teil der entstehenden Wärme aufzunehmen und direkt bzw. mittels Temperaturanhebung weiter zu nutzen. Die Weiterverwendung der Abwärme reduziert in der Regel die Investitionskosten in ein Kühlsystem nur teilweise, denn aus Sicherheitsgründen wird immer ein vollständiges Kühlsystem geplant. Es eröffnet vielmehr die Möglichkeit zusätzlicher Einnahmen und reduzierter Betriebskosten. Dadurch besteht bei geschickter Steuerung die Möglichkeit die Wasserstoff-Gestehungskosten zu senken.

Für die bei Prozessen entstehende Abwärme sind Unternehmen verpflichtet Lösungen zu finden, um diese Abwärme zu vermeiden, zu reduzieren oder wiederzuwenden (vgl. §16 Abs 1 und 2 EnEfG). Dabei sind die Möglichkeiten nach dem Stand der Technik sowie die Zumutbarkeit der Maßnahme zu beachten.

Eine Verwendungsoption ist die Nutzung der Abwärme in einem Fernwärmennetz. Die Nutzung von Energiepotenzialen sollte, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, Bestandteil der Anlagenplanung sein. *Tipp:* Um diese Potenziale mit Blick auf die Abwärme zu heben, kann ein Austausch mit lokalen Betrieben über mögliche Bedarfe und Verwertungsmöglichkeiten zweckmäßig sein. Stadtwerke, Regionale Wirtschaftsförderungen oder Regionalmanagements können zentrale Ansprechpartner sein.

Tipp

¹⁷ Hinweis: Bei einem Transport per LKW können ca. 0,7-1t Wasserstoff bewegt werden. Für die Verdichtung und Standzeiten können zum Herstellungspreis noch ca. 1-1,20€/kg H₂ zzgl. Transportkosten gerechnet werden. Bei Nutzung von Zugtrailern kann mit bis 30t deutlich mehr Wasserstoff transportiert werden. Die Kosten belaufen sich auf das ca. 0,5-3-fache im Vergleich zum LKW. (evety, 2023)

Sollte keine oder keine ausreichende Möglichkeit für die Nutzung der Abwärme zur Verfügung stehen, sind in jedem Fall die Wegkühl-Optionen zu prüfen. Dies kann über Wasser aus verschiedenen Quellen erfolgen oder über eine Trockenkühlung nahe des Standortes.

3.2.6.1 Abwärmenutzung



Die Nutzung von Abwärme aus dem Elektrolyseprozess ist energetisch sinnvoll und kann bspw. durch Einspeisung in Wärmenetze oder Nutzung in Industrie oder Landwirtschaft zusätzliche Einnahmen generieren. Ein hoher Anteil der Abwärmenutzung kann dabei als besonders vorteilhaft gewertet werden. Das nutzbare Potenzial liegt je nach Technologie bei 50–75 °C und macht oft im Weiteren eine Temperaturanhebung erforderlich.

Grundsätzlich stellt die Abwärmenutzung eine energetisch und volkswirtschaftlich sinnvolle Anwendung dar. Zum einen können Effizienzpotenziale im Kühlsystem der Anlagen durch eine weitere Nutzung untersucht und gehoben werden und zum anderen stellt eine Abgabe der Abwärme eine interessante Erweiterung des Geschäftsmodells dar, da sich bei einem Verkauf der Wärme zusätzliche Einnahmen generieren lassen. Daei gilt, je mehr Wärme sich weiter nutzen lässt, umso besser stellt es sich für die Gesamtenergiebilanz dar.

Das Temperaturniveau der beim Prozess entstehenden Abwärme beträgt je nach Technologie ca. 50-60°C (get-h2, 2024), mitunter auch 75°C. Das nutzbare Potenzial wird durch das Temperaturniveau begrenzt, welches das System nach der Nutzung mindestens zurückerhalten muss. Dieses beträgt ca. 40°C. Dieses Niveau kann nur in wenigen Anwendungen direkt weitergenutzt werden. In vielen Fällen ist eine Temperaturanhebung über beispielsweise eine Wärmepumpe, Elektrostab, BHKW u. ä. notwendig.

Die Abwärme ist grundsätzlich nutzbar

- In Gemeinden mit kalten (bis ca. 40°C) und heißen Wärmenetzen (ab ca. 70°C),
- in der Landwirtschaft (Fischzucht (ca. 30°C), Unterglas-Gemüseanbau wie bspw. Paprika, Gurke, Tomate u.ä., Algenfarming (ca. 15-30°C)),
- in der Klärschlammtröcknung (ca. 45-50°C),
- Wäscherein,
- thermische (Ab-)Wassernachbehandlung oder
- sonstigen Industrie- und Produktionsbetrieben.
- Auch der Bedarf an Kälte für bspw. große Kühlager oder Klimaanlagen kann über Absorptionskältemaschinen (ca. 50-95°C) aus der Abwärme bereitgestellt werden. (ESN, 2023)

Einen Hinweis zu potenziellen Wärme-(oder Kälte-)abnehmern im Umfeld des potenziellen Standortes, wie Wärmenetze oder Industrie-/Gewerbebetriebe, können gängige Kartendienste, Regional- und

Bebauungsplänen, Wirtschaftsförderungsgesellschaften oder der Wärme- oder Energieatlas gefunden werden.

Tipp

Tipp: Eine gute Übersicht über potentielle Abwärmnutzungsoptionen z.B. in Schleswig-Holstein enthält die **Wärmebedarfskarte** des **DigitaleAtlasNord** (DigitalerAtlasNord-Wärme, 2019)¹⁸ und in Mecklenburg-Vorpommern der **Energieatlas** (Energieatlas-MV, 2024)¹⁹.

Bewertet wird die ungefähre, prozentuale Menge an Abwärme des geplanten Elektrolyseurs, die von Ortschaften, Gewerbe und Industrie in einem Umkreis von ca. 5 km abgenommen werden kann. Überschlägig kann von einer Abwärmeleistung von 30% der Elektrolyseleistung bspw. 4000 Vollbenutzungsstunden (anpassbar) ausgegangen werden.

Zielerreichungsgrad 3: Im Umkreis von bis zu 5 km können über 50% der Abwärme genutzt werden

In einem Umkreis von bis zu 5 Kilometer ist eine große Zahl potenzieller Wärmeanwendungen (s.o.) zu erkennen, sodass über 50% der Abwärme nutzbar sein könnte, sodass ein großer Teil der Abwärme technisch und wirtschaftlich sinnvoll verwertet werden kann. Überschlägig kann von einer Abwärmeleistung von 30% der Elektrolyseleistung ausgegangen werden.

Zielerreichungsgrad 2: Im Umkreis von bis zu 5 km können >25 bis 50 % der Abwärme genutzt werden

Es sind einige Abnahmemöglichkeiten (s.o.) vorhanden, die eine relevante, aber nicht überwiegende Menge der Abwärme von 25 bis 50% aufnehmen können. Ein Teil der Abwärme bleibt ungenutzt. Überschlägig kann von einer Abwärmeleistung von 30% der Elektrolyseleistung ausgegangen werden.

Zielerreichungsgrad 1: Im Umkreis von bis zu 5 km können zwischen 10 und 25% der Abwärme genutzt werden

Es bestehen nur wenige oder kleinvolmige Abnehmer, sodass nur ein kleiner Teil der Abwärme von 10 bis 25% sinnvoll verwertet werden kann. Überschlägig kann von einer Abwärmeleistung von 30% der Elektrolyseleistung ausgegangen werden.

¹⁸ Hinweis: Themenkarte „Wärmebedarf KGE 2019“. Wärmebedarf der jeweiligen Gemeinden erkennbar durch Klick ins Gemeindegebiet, Zeile „Gesamt“. Die so ermittelten Wärmebedarfsdaten dienen der groben Einschätzung des Wärmebedarfes. Zu beachten ist, dass die Datengrundlage dieser zusätzlichen Karte auf einen Gebäudebestand von 2017.

¹⁹ Karte „Wärme“ und „Energieverbrauch für Wärme 2023“

3.2.6.2 Wegkühloptionen



Die Kühlung ist für den sicheren Betrieb einer Elektrolyseanlage unverzichtbar, unabhängig davon, ob die entstehende Abwärme weiterverwendet wird oder nicht. Dabei kommen je nach Anlagengröße meist Wasser- oder Luftkühlsysteme zum Einsatz. Bei Wasserkühlung ist die stetige Verfügbarkeit des Kühlmediums als besonders vorteilhaft und bis zu einer Entfernung ca. 10km als wirtschaftlich sinnvoll zu bewerten.

Neben der Möglichkeit zusätzliche Einnahmen durch eine Weiterverwendung der unvermeidbaren Abwärme, ist die Sicherstellung der Kühlleistung für das gesamte System unabdingbar. Denn auch im Falle eines Ausfalls oder Störungen der Abwärmenutzung durch Dritte ist der Betrieb der Elektrolyse durch ein eigenes Kühlsystem sicherzustellen. Es kann davon ausgegangen werden, dass ca. 30% der eingesetzten elektrischen Energie in Form von Wärme umgesetzt wird.

In diesen und größeren Anlagedimensionen kommen in der Regel Wasser und Luft als Kühlmedien in Frage. Im Falle einer Wasserkühlung wird in der Regel eine Zu- und Ableitung zwischen Wasserquelle und Kühlsystem (z.B. Tisch-, Trocken-, Nass- oder Hybridkühlung) am Anlagenstandort einzuplanen sein. Hierfür wird von Branchenvertretern im Mittel ein Umkreis von ca. 10 km als allgemein wirtschaftlich vertretbare Entfernung gewertet. Größere Entferungen sind per se nicht auszuschließen, sondern vielmehr im Kontext der geplanten Anlagengröße und damit des Kühlwasser- bzw. Platzbedarfs zu betrachten und aufgrund höherer Baukosten abgestuft (Zielerreichungsgrad 1 oder 2) zu bewerten.

Bewertet werden die Verfügbarkeit von Entnahmemöglichkeiten der verschiedenen Kühlmedien im Umfeld von ca. 10km um den potenziellen Standort.

Zielerreichungsgrad 3: Flusswasser im Umkreis von 10km

Abhängig von der Größe der Anlage, ist das Kühlsystem und -medium entsprechend auszulegen. Wasser ist ein effizientes Trägermedium zur Abführung der Abwärme. Für eine Kühlung über Nass oder Hybridkühlsysteme kann das benötigte Wasser in ausreichenden Mengen beispielsweise aus Fließgewässern gewonnen werden. Diese haben den Vorteil, dass in der Regel große Mengen und gute Fließgeschwindigkeiten vorhanden sind. Das ist vor allem bei Großanlagen mehrerer hundert MW von großer Relevanz.

Die Nutzung von Klärwasser aus Kläranlagen ist aufgrund der temperatursensiblen Biochemie im Klärungsprozesses in der Regel nicht möglich.

Zielerreichungsgrad 2: Grundwasser, Küstengewässer, Verbindungsflüsse / Fjorde im Umkreis von 10km

Für die in Zielerreichungsgrad 3 genannten Kühlmethoden kann theoretisch auch Grundwasser genutzt werden. Aufgrund der vielerorts begrenzten Verfügbarkeit und starken Nutzungskonkurrenz (Trinkwasserversorgung, Tourismus, Landwirtschaft, bestehende Rechte für Industrie und Gewerbe), wird seitens der Behörden häufig auf andere Quellen gedrängt, eine Grundwassernutzung jedoch nicht von Rechtswegen per se ausgeschlossen. Eine Nutzung von Grundwasser für kleinere Systeme (z.B. 100MW) kann darstellbar sein. Informationen zu Grundwasserleitern können auf den Informationsseiten der Bundesländer entnommen werden. Auf den Seiten der Umweltministerien (z.B. das Umweltportal Schleswig-Holstein (Umweltportal-SH, 2024)) sind Hydrogeologische Karten kostenlos einzusehen. Eine Auskunft über die Nutzungsfähigkeit kann in der Regel die Untere Wasserbehörde der Kreisverwaltungen nach einem schriftlichen Antrag geben. Eine Aussage zur allgemeinen Auslastung können in Rücksprache mit den zuständigen Sachbearbeitern bzw. Bereichsleitungen ggf. auch formlos erfolgen.

Küstengewässer, Verbindungsflüsse fjordähnliche Gewässer weisen oft eine hohe Verfügbarkeit auf, durch die Verbindung zu den Meeren allerdings auch hohe Salzgehalte. Anlagen für eine Aufbereitung des Wassers sind je nach Salzgehalt auszulegen. Je nach Komplexität können diese technisch und flächenseitig umfangreich ausfallen zu höheren Kosten führen.

Zielerreichungsgrad 1: Fläche für Trockenkühlung im Umkreis von 10km

Ein Kühlsystem kann alternativ zu Wasser auch Umgebungsluft in Verbindung mit Kühlmitteln heranziehen. Für den Aufbau entsprechender Kühlsysteme (z.B. sog. „Tischkühler“) sind weitere Flächen notwendig. Pro **100MW** kann eine Kühlleistung von ca. 25MW überschlägig angenommen werden. Wird dies in Form von Tischkühlern realisiert, ist so ein zusätzlicher Flächenbedarf von ca. **400-500 m²** notwendig. Da die Restriktionen für diese Form nicht an die Bedingung einer hohen Wasserverfügbarkeit geknüpft sind, steigt die Wahrscheinlichkeit diese auf einem Grundstück im Umfeld der Elektrolyse errichten zu können. Allerdings hat diese Form der Kühlung bei einer Umgebungsluft von ca. 30-35°C größere Herausforderungen in Bezug auf die Kühlleistung und Bedarf u. U. größerem energetischen Aufwand. Für den Aufbau der Kühlung zu beachtende Rahmenbedingungen, wie Baurecht und Lärmmissionen etc., sind geltenden Bebauungsplänen u. ä. zu entnehmen.

3.3 Bonus-Kriterien

Neben den qualitativen Kriterien zur Bewertung eines bzw. mehrerer Standorte, gibt es zahlreiche weitere Faktoren, die die Umsetzbarkeit eines Elektrolyse-Projektes positiv oder negativ beeinflussen können. Einige dieser Faktoren werden als „Bonus-Kriterien“ erfasst und können bei einem Vergleich von mehreren Standorten die jeweiligen Unterschiede (Vorteile und Nachteile) deutlich machen. Sie bedürfen weiterer Recherchen oder sogar offizieller Anfragen bei Behörden. Der Grad des Aufwandes kann selbst bestimmt werden. Nicht jedes Bonus-Kriterium muss bewertet werden. Diese Kriterien können insbesondere dann herangezogen um zwischen den am besten geeigneten Standorten noch weiter zu differenzieren.

Bei Vorliegen einer positiven Einschätzung des Bonus-Kriteriums für das Projekt oder den Standort kann dieses mit 1 Punkt honoriert werden. Ist es hingegen nicht vorhanden, für das Projekt/ den Standort negativ oder (ad hoc) nicht bewertbar, werden 0 Punkte empfohlen.

Auf die Differenzierung der Bonus-Kriterien nach verschiedenen Ausprägungen, wie sie in den Bewertungskriterien vorgenommen wurde, wird zu Gunsten der Handhabbarkeit verzichtet. Hinweise auf mögliche Quellen, die Informationen oder Auskünfte zu den einzelnen Bonuskriterien geben können, wurde aufgrund der Vielzahl und Komplexität nicht gegeben. Hierbei wird vielmehr auf eine Kenntnis des Marktes Vorort bzw. einem Wissenstand gesetzt, der sich aus der vorausgegangenen Bewertung der Standortkriterien (siehe Kap. 3) gewinnen lässt.

Die Bonus-Kriterien sind in acht Kategorien gruppiert und im Folgenden kurz erläutert:

3.3.1 Technologieumfeld

das Technologieumfeld umfasst alle externen Faktoren, die die technische und wirtschaftliche Umsetzung einer Elektrolyseanlage beeinflussen.

a) Kooperationsmöglichkeiten im direkten Umfeld der Anlage (Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft):
Potenzielle Partnerschaften mit Unternehmen aus angrenzenden Sektoren (Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft) sowie weitere Elektrolyseanlagen können Synergien schaffen, wie z. B. die Nutzung von Abwärme oder die gemeinsame Nutzung von Infrastruktur. Dies kann die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Elektrolyseanlage fördern. Hierfür sollte der Radius aufgrund möglicher, physischer Verbindungen eng gefasst werden und daher im näheren Umfeld des potenziellen Standortes (ca. 5 km) geprüft werden.

- Bewertung: Kooperationsmöglichkeiten sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

b) Forschungseinrichtungen im Umfeld: Die Nähe zu Forschungseinrichtungen bietet die Möglichkeit, neue Technologien oder Prozessoptimierungen schnell umzusetzen und innovative Lösungen zu integrieren. Die Kooperation kann je nach Themenfeld unterschiedlich ausgeprägt und organisiert sein und auch über größere Entfernung (ca. 50km) sinnvoll geführt werden. Bei Teilnahme an interessanten Förderprogrammen der Länder oder des Bundes kann eine Kooperation zu Forschungs- und höheren Bildungseinrichtungen vorteilhaft sein.

Bewertung: potenzielle Forschungseinrichtungen vorhanden/nicht vorhanden

- Bewertung: Forschungseinrichtungen sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

c) Unternehmen vor- und nachgelagerte Wertschöpfungskette: Ein Elektrolysestandort profitiert von einer gut entwickelten Wertschöpfungskette, die eine schnelle Beschaffung von Materialien und eine effiziente Verwertung von Endprodukten (z. B. Wasserstoff als Industrierohstoff oder Treibstoff) ermöglicht

- Bewertung: Unternehmen der vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

3.3.2 Fachkräfte

Die Verfügbarkeit und Qualifikation von Fachkräften ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg einer Elektrolyseanlage, da die Technologie hochspezialisiertes Wissen erfordert. Die Chancen qualifizierte Fachkräfte und Spezialisten zu bekommen, können mit Vorliegen der folgenden Faktoren steigen:

d) Berufsausbildungseinrichtungen vor Ort: Ein gutes Ausbildungsangebot (für Beispiele Anlagenmechaniker*innen, Elektroniker*innen MSR-Techniker*innen etc.) im Umfeld des potenziellen Standortes (Annahme ca. 40-50km) sorgt für eine kontinuierliche Versorgung mit qualifizierten Arbeitskräften, die für die Betriebsführung und Wartung der Anlage erforderlich sind. Mit der Bereitschaft auch mittlere Distanzen zurückzulegen, bestehen grundsätzlich Chancen diese Arbeitskräfte gewinnen zu können.

- Bewertung: Berufsausbildungseinrichtungen sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

e) Weiterbildungsmöglichkeiten: Durch regelmäßige Weiterbildungen können Fachkräfte auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden, was für den langfristigen Betrieb und die Optimierung der Anlage wichtig ist. Die Verfügbarkeit von Weiterbildungslehrstätten im Umfeld (Annahme ca. 80-100km) ermöglicht eine Teilnahme in Präsenz mit möglichst kurzer Reisezeit und wenigen zusätzlichem Kostenaufwand für Unterbringung, Verpflegung und Reisekosten. Weiterbildungsmöglichkeiten könnten wieder in Form von Berufsbildungszentren oder Hochschulen gegeben sein aber auch durch

die Nähe regionalen Industrie- und Handelskammer (IHK) oder Forschungs- und Demonstrationszentren.

- Bewertung: Weiterbildungsmöglichkeiten sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

f) Hochschul- und Universitätseinrichtungen: Die Nähe (Annahme 100-150km) zu Hochschulen und Universitäten fördert den Zugang zu innovativen Forschungsansätzen sowie hochqualifizierten Absolventen, die die Entwicklung und Optimierung der Elektrolyse-Technologie unterstützen können. Dabei sind vor allem technische Studienberufe von besonderer Bedeutung. Dies kann darüber hinaus die Chancen erhöhen hochausgebildete Menschen in der Region nach dem Studium zu halten.

- Bewertung: Hochschul-/Universitätseinrichtungen sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

g) Historisch gewachsene Strukturen von Arbeitsplätzen mit ähnlichen Anforderungen: Regionen mit einem historischen Fokus auf ähnliche Technologien (z.B. Chemieanlagen, Gasversorgern, Kraftwerksbetrieben) haben oft das erforderliche Know-how und die Arbeitsstrukturen, die für den Betrieb eines Elektrolyseurs von Vorteil sind.

- Bewertung: Ähnliche Gewerbebetriebe sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

h) Fachkräfteinitiativen: Regionale Initiativen zur Gewinnung und Ansiedlung von Fachkräften sind für den langfristigen Erfolg eines Elektrolyseprojekts von großer Bedeutung. Oft sind es lokale/regionale Arbeitsgeberverbände, die Agentur für Arbeit oder die Gemeinden selbst, die solche Initiativen aufgrund starker Bedarfe starten. Von diesen Bemühungen können auch Elektrolysebetreiber profitieren.

- Bewertung: Fachkräfteinitiativen sind vorhanden bzw. geplant (1) /nicht vorhanden (0)

i) Welcome Center regional vor Ort: Ein Willkommenszentrum für Fachkräfte kann dazu beitragen, Arbeitskräfte aus anderen Regionen oder Ländern anzuziehen und sich schnell in der Region einzuleben. Häufig werden diese von Unternehmen der Region initiiert und von Gemeinden aufgebaut und sind besonders weitreichenden Entwicklungen einer Region (Strukturwandel) gefragt.

- Bewertung: Welcome Center sind vorhanden bzw. geplant (1) /nicht vorhanden (0)

j) Konkurrenzunternehmen der gleichen Branche: Die Präsenz von anderen Unternehmen in der Branche fördert den Austausch von Wissen und Erfahrungen und schafft ein günstiges Wettbewerbsumfeld sowie Synergien. Es schafft zudem mehr Gewicht und Bedeutung bei den oben

genannten Punkten (Fachkräfte, Welcome Center, Bildungseinrichtungen etc.). Idealer gibt es aufgrund dessen bereits erste Entwicklungen, die durch weitere Konkurrenzunternehmen begünstigt werden.

- Bewertung: Konkurrenzunternehmen sind vorhanden (1)/nicht vorhanden (0)

3.3.3 Internet

Eine stabile und schnelle Internetverbindung ist für die Steuerung und Überwachung der Elektrolyseuranlage von wesentlicher Bedeutung.

k) Stabile Verbindung: Eine zuverlässige Internetverbindung ist notwendig, um die Kommunikation zwischen der Elektrolyseanlage und den zentralen Steuerungseinheiten sicherzustellen.

- Bewertung: Stabile Internetverbindung sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

l) Hohe Uploadraten: Hohe Uploadgeschwindigkeiten sind wichtig, um große Datenmengen (wie Betriebsdaten) in Echtzeit zu übertragen und die Analyse und Optimierung der Betriebsprozesse zu ermöglichen.

- Bewertung: Eine hohe Upload-Rate sind vorhanden (1)/nicht vorhanden (0)

m) Kabelgebundene Verbindung / Richtfunkverbindung / Internet über Satelliten: In abgelegenen Gebieten müssen auch alternative Verbindungsmöglichkeiten wie Richtfunk oder Satelliten-Internet geprüft werden, um sicherzustellen, dass die Anlage kontinuierlich überwacht und gesteuert werden kann.

- Bewertung: Alternative Verbindungsmöglichkeiten sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

3.3.4 Akzeptanz

Die gesellschaftliche und politische Akzeptanz eines Elektrolysestandorts kann den Erfolg maßgeblich beeinflussen.

n) Bürgerinitiativen und Interessenvertretungen: Das Vorhandensein von Bürgerinitiativen oder lokalen Interessenvertretungen kann die Akzeptanz eines Projektes maßgeblich beeinflussen. Initiativen, die sich pro erneuerbare Energien und Wasserstoff engagieren, stärken die gesellschaftliche Unterstützung und können dazu beitragen, Einwände im Genehmigungsverfahren zu reduzieren. Umgekehrt können Initiativen mit ablehnender Haltung gegenüber erneuerbaren Energien

oder Wasserstofftechnologien Widerstände verstärken, die Umsetzung verzögern und zusätzliche Konflikte hervorrufen.

- Bewertung: PRO-Bürgerinitiativen oder Interessenvertretungen sind vorhanden (1) / keine oder CONTRA-Bürgerinitiativen oder Interessenvertretungen sind vorhanden (0)

o) Öffentliche Stellungnahmen: Öffentliche Äußerungen von führenden Persönlichkeiten, politischen Vertretern oder Unternehmen können die Wahrnehmung eines Projekts entscheidend beeinflussen. Unterstützende Testimonials, die die Vorteile von Wasserstoff und erneuerbaren Energien betonen, stärken das Vertrauen, fördern die gesellschaftliche Akzeptanz und wirken sich positiv auf Genehmigungsprozesse aus. Kritische oder ablehnende Stellungnahmen hingegen können Skepsis in der Bevölkerung verstärken, Widerstände hervorrufen und den Projektfortschritt erheblich erschweren.

- Bewertung: Positive öffentliche Stellungnahmen sind vorhanden (1) / keine oder negative bzw. Kritische öffentliche Stellungnahmen sind vorhanden (0)

p) Regionale Projekterfahrung: Eine Region mit einer positiven Geschichte in der Nutzung von erneuerbaren Energien oder Wasserstoff zeigt eine bereits offene Einstellung, was die Erfolgsaussichten des Projekts steigert. Bestehende Projekte können ein Indiz hierfür sein. Damit können die bisherigen Vorhaben wertvolle Hinweise auf regionale Herausforderungen liefern, die es zum Zeitpunkt der Projektentwicklung gab bzw. noch gibt.

- Bewertung: Positive regionale Projekterfahrungen sind vorhanden (1) / keine oder negative regionale Projekterfahrungen sind vorhanden (0)

q) Politische Ausrichtung und Unterstützung: Die Haltung politischer Entscheidungsträger auf kommunaler, regionaler und nationaler Ebene beeinflusst die Realisierungschancen von Wasserstoffprojekten erheblich. Aktive Unterstützung und Förderung durch Politik und Verwaltung können Genehmigungsprozesse beschleunigen und Planungssicherheit schaffen. Ablehnende oder zurückhaltende politische Positionen können hingegen zu Verzögerungen, erhöhtem Widerstand oder zusätzlichen Auflagen führen.

- Bewertung: Aktive politische Unterstützungen sind vorhanden (1) / keine oder ablehnende politische Unterstützungen sind vorhanden (0)

3.3.5 Netzbedingungen

Die Rahmenbedingungen des Stromnetzes zählen zu den zentralen Standortfaktoren für Elektrolyseure. Neben der grundsätzlichen Anbindung an Netzknotenpunkte und Umspannwerke spielen dabei insbesondere die verfügbare Anschlusskapazität, mögliche Befreiungen von Netzentgelten sowie zukünftige Preisunterschiede durch eine eventuelle Einführung von Stromgebotszonen eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit.

r) Netzknotenpunkte und Anschlussoptionen im Umspannwerk: Bisher wurde nur die Entfernung zum nächstmöglichen USW bei den Bewertungskriterien geprüft. Bei einer detaillierteren Betrachtung ist es aber zwingend nötig zu prüfen, ob es an diesem Punkt auch tatsächlich ausreichende Anschlusskapazitäten vorliegen.

- Bewertung: Ausreichende Anschlusskapazitäten sind vorhanden (1) / nicht vorhanden (0)

s) Vermeidung von SIPs: Nach aktueller Rechtslage sind Wasserelektrolyseure, die mit Strom aus dem Netz betrieben werden und die bis spätestens 2029 in Betrieb genommen werden, gemäß § 118 Abs. 6 EnWG für 20 Jahre von Netzentgelten befreit. Für die Zeit danach besteht bislang keine rechtliche Klarheit; diskutiert wird eine mögliche Anknüpfung an Kriterien der „Systemdienlichkeit“ von Elektrolyseuren, für die bislang jedoch noch keine verbindliche Definition existiert. Angesichts des erheblichen Kostenanteils der Netzentgelte aber auch anderer SIP's (staatlich induzierte Preisbestandteile) an den Wasserstoffgestehungskosten ist dieses Thema für die Standortwahl von hoher Relevanz. Sollten an einem Standort besondere Voraussetzungen für eine Reduktion von SIPs gegeben sein, ist dies positiv zu bewerten.

- Bewertung: Reduzierte SIPs möglich bzw. sind vorhanden (1) / keine Reduzierung der SIPs möglich bzw. nicht vorhanden (0)

t) Stromgebotszonen (potenzielle zukünftige Entwicklung): Die Einführung von Stromgebotszonen in Deutschland wird derzeit diskutiert, ist aber noch nicht beschlossen. Sollte es zukünftig zu einer Aufteilung des Strommarktes kommen, kann die Wahl eines Standorts in einer tendenziell günstigeren Gebotszone (z. B. im windreichen Norden Deutschlands) erhebliche Kostenvorteile für den Betrieb einer Elektrolyseanlage mit sich bringen. Daher kann es sinnvoll sein, schon heute Standorte in Regionen mit hohem Anteil erneuerbarer Energien zu berücksichtigen, da diese bei einer möglichen Einführung von Stromgebotszonen voraussichtlich von niedrigeren Preisen profitieren werden.

- Bewertung: Stromgebotszone mit Kostenvorteilen sind vorhanden (1)/nicht vorhanden (0)

3.3.6 Fördermöglichkeiten

Die Verfügbarkeit geeigneter Förderinstrumente ist ein wichtiger Faktor für die Realisierung großskaliger Elektrolyseanlagen, da sie maßgeblich über die Investitionsbereitschaft und die langfristige Wirtschaftlichkeit solcher Projekte bestimmen kann.

u) Fördermöglichkeiten: Der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft hat auf europäischer und Bundesebene zunehmen größere Bedeutung. Gleichzeitig geht die Marktdurchdringung nur schleppend voran, da die Produktionskosten für Wasserstoff aufgrund der besonderen, möglichst grünen Herstellungsbedingungen deutlich über den herkömmlichen Herstellungsmethoden liegen und damit der Absatz mangels Wirtschaftlichkeit deutlich erschwert wird. Durch gezielte Förderung von Anlageninvestitionen und teilweise auch dessen Betrieb sollen diese Nachteile abgebaut werden. Sowohl die EU, als auch der Bund und die Länder haben, ausgehend von ihren jeweiligen Wasserstoffstrategien, Förderprogramme auf den Weg gebracht. Diese können sich hinsichtlich ihrer Existenz, Förderbedingungen, -quoten und -voraussetzungen in den verschiedenen Ländern unterscheiden und damit einen Standort signifikant aufwerten.

- Bewertung: Fördermöglichkeiten sind vorhanden (1) /nicht vorhanden (0)

v) Förderprogramme in Aufstellung: Auch geplante oder in der Entwicklung befindliche Programme können wichtige finanzielle Unterstützung bieten und die Machbarkeit eines Projekts verbessern. Informationen hierüber liefern die Webpräsenzen der Länder sowie des BMWE (Investitionskostenförderung).

- Bewertung: Förderprogramme in Aufstellung sind vorhanden (1)/nicht vorhanden (0)

3.3.7 Baugrund

Die Eigenschaften des Baugrunds sind ein wesentlicher Standortfaktor, da sie die technische Planbarkeit, die Baukosten sowie die zeitliche Umsetzbarkeit von Elektrolyseanlagen unmittelbar beeinflussen. Neben der Tragfähigkeit des Bodens spielen auch mögliche archäologische Funde, Kampfmittelbelastungen oder Altlasten eine zentrale Rolle, da sie erhebliche Zusatzkosten verursachen und den Projektfortschritt verzögern können.

w) Bodenbeschaffenheit: Eine stabile und tragfähige Bodenbeschaffenheit ist notwendig, um die Anlage sicher zu errichten und die Tragfähigkeit langfristig zu gewährleisten. Häufig bedürfen unbefestigte, lockere oder nicht tragfähige (bindige) Böden, wie in Moorgebiete, der Marsch, bei Lehm-, Ton- oder Schluffuntergründe, aber auch organhaltige Böden zusätzlicher Maßnahmen, um

die Tragfähigkeit herzustellen. Eine erste grobe Indikation der Bodenbedingungen liefert die Bodenübersichtskarte des Umweltbundesamtes.

- Bewertung: Tragfähige Böden sind vorhanden (1)/ weniger tragfähige bzw. bindige Böden vorhanden (0)

x) Kampfmittelfreiheit: Im Falle der Ermittlung der Kampfmittelbelastung des potenziellen Standortes kann eine erste Einschätzung über die örtliche Gemeinde erfolgen, da häufig entsprechendes Kartenmaterial dort vorliegt. Liegt eine Kampfmittelverordnung des jeweiligen Bundeslandes vor (z.B. Schleswig-Holstein), besteht häufig eine Pflicht zur (kostenpflichtigen) Auskunftseinhaltung über die Kampfmittelbelastungen bestimmter Gebiete beim zuständigen Innenministerium (z.B. das Landeskriminalamt in Schleswig-Holstein).

- Bewertung: Kampfmittelfreiheit ist vorhanden (1)/nicht vorhanden (0)

y) Bodenkontamination / Altlasten: Die Untersuchung auf Bodenkontaminationen und möglichen Altlasten schützt vor unerwarteten Aufräumarbeiten und erhöht die Sicherheit der Anlage. Ob auf einem Grundstück ein Verdacht auf Bodenbelastungen, wie zum Beispiel Altlasten oder schädliche Bodenveränderungen besteht, kann eine kostenpflichtige Auskunft aus dem Boden- und Altlastkataster/Altlasthinweiskataster der jeweils dafür zuständigen Behörde beantragen. In Schleswig-Holstein werden diese Kataster beispielsweise von den unteren Bodenschutzbehörden der Kreise und kreisfreien Städte geführt. Vor der Anfrage bei der Behörde kann unter Umständen auch die örtliche Gemeinde und/oder die Grundstückseigentümer eine Auskunft erteilen.

- Bewertung: Bodenkontamination bzw. Altlastenfreiheit ist nicht vorhanden (1)/ vorhanden (0)

Tipp

Tipp: Bei der Anwendung des Standortkompasses sind regelmäßig Aktualisierungen der Datensätze zu berücksichtigen, da Schutzgebiete, das Strommarktdesign, Eigentumsverhältnisse und viele weitere Rahmenbedingungen dynamischen Änderungen unterliegen. Eine Prüfung der Aktualität der Datenquellen und ggf. individuelle Anpassung der Kriterien wird daher ausdrücklich empfohlen.

4 Gewichtung der Bewertungskriterien

Insgesamt wurden Acht Expertinnen und Experten aus Wirtschaft und Kommunalen Einrichtungen, sowie 2 KI Sprachmodelle befragt. Bei jeder Befragung wurde eine Gewichtung der einzelnen Kriterien ermittelt. Um die in Tabelle 3 aufgeführte Gewichtung zu erhalten wurde ein Mittelwert aus den jeweiligen Einzelwerten gebildet. Hierbei ist jedes Befragungsergebnis gleichwertig zu betrachten, da keine Spezialisierung für bestimmte Anwendungsfälle vorgenommen werden sollte.

Die Boxplot-Auswertung (vgl. Abbildung 10 Boxplot Auswertung der Ergebnisse) erlaubt neben der Betrachtung von Medianwerten auch eine differenzierte Analyse der Streuung innerhalb der einzelnen Kriterien. Besonders aussagekräftig sind hierbei die Boxen, die das zweite und dritte Quartil (Q2–Q3) darstellen, also den Bereich, in dem 50 % der mittleren Bewertungen liegen. Je kompakter die Box ausfällt, desto größer ist der Konsens unter den Befragten, während breite Boxen auf deutliche Meinungsunterschiede hinweisen.

Tabelle 3 Auswertung der Bewertungen

Kriterium (geordnet)	Gewichtung	Standard-abweichung	Min	Max	Median	Quartils-abstand	1 Quartil	3 Quartil
Baurechtliche / Regulatorische	8,74%	±1,858	5,2	10,4	8,3	0,4	8,3	9,8
Wasserbezugsoptionen	8,70%	±1,454	5,7	10,7	7,8	1,0	7,8	8,8
Flächensicherung	7,98%	±1,224	3,1	7,2	4,8	1,5	4,8	6,1
Flächengröße	7,91%	±1,323	6,1	10,2	8,9	1,1	8,9	9,9
Entfernung Umspannwerk	7,70%	±1,482	3,9	8,7	7,1	1,7	7,1	7,9
Abnehmermarkt	7,63%	±1,689	3,9	9,4	6,5	1,3	6,5	7,9
Entfernung zum nationalen	7,36%	±1,495	4,0	9,8	5,4	1,4	5,4	6,1
Wasserentnahmestelle	6,77%	±1,582	5,0	9,8	7,6	0,8	7,6	9,3
Wasserentsorgungsstelle	6,33%	±2,254	3,4	9,9	5,3	1,4	5,3	8,2
Netzdienlichkeit	6,17%	±1,908	4,4	10,7	9,5	2,9	9,5	9,9
Baukostenzuschuss zum	5,69%	±1,229	3,2	7,4	3,9	0,7	3,9	5,2
Abwärmennutzung	5,32%	±1,869	4,0	10,0	7,7	1,1	7,7	9,2
Flächentopografie	4,98%	±1,696	4,7	10,0	7,9	1,3	7,9	9,1
Anbindung für qualifizierte	4,43%	±1,187	3,6	7,6	5,0	1,3	5,0	6,2
Wegkühloptionen	4,29%	±0,869	3,0	6,4	4,1	0,6	4,1	4,7

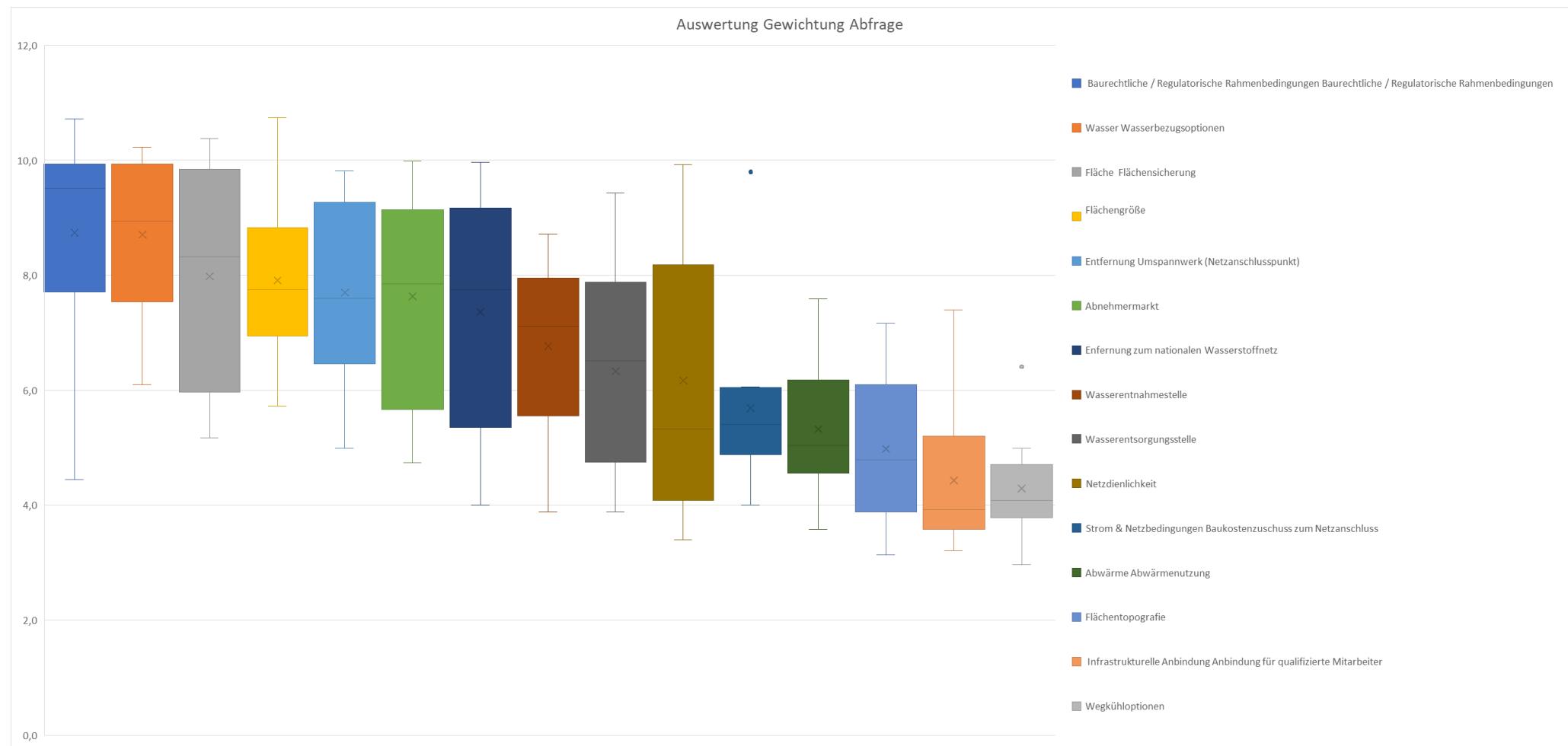


Abbildung 10 Boxplot Auswertung der Ergebnisse

Bei den baurechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen fällt die Box vergleichsweise klein aus, mit einem Median nahe am oberen Ende der Skala. Dies verdeutlicht, dass die Mehrheit der Befragten diesem Faktor eine ähnlich hohe Relevanz zuschreibt und kaum abweichende Einschätzungen existieren. Ein ähnliches Muster zeigt sich bei den Wasserbezugsoptionen, wenngleich die Box hier etwas breiter ist. Dies lässt den Schluss zu, dass zwar ein breiter Konsens über die hohe Bedeutung besteht, einzelne Befragte den Faktor jedoch leicht niedriger einordnen.

Im Gegensatz dazu weisen Kriterien wie Flächensicherung oder Abnehmermarkt größere Boxen auf, die sich über einen breiten Bewertungsbereich erstrecken. Hier liegen die mittleren 50 % der Antworten deutlich weiter auseinander, was auf unterschiedliche Interpretationen und Projekterfahrungen hindeutet. Für die Flächensicherung könnte dies bedeuten, dass ein Teil der Befragten Flächenfragen als kritischen Erfolgsfaktor ansieht, während andere diese eher als formale, aber lösbare Rahmenbedingung einordnen.

Die Whisker – also die minimalen und maximalen Werte außerhalb der Box – geben Aufschluss über die Spannweite der Bewertungen. Bei Kriterien wie der Entfernung zum nationalen Wasserstoffnetz oder der Abwärmenutzung sind diese Whisker sehr lang. Dies signalisiert eine erhebliche Uneinigkeit: Manche bewerten die Faktoren als entscheidend (Maximalwerte nahe 10), während andere sie als kaum relevant ansehen (Minimalwerte um 3). Solche Unterschiede deuten auf heterogene strategische Perspektiven hin – einerseits orientiert an nationaler Infrastruktur und Nachhaltigkeit, andererseits an kurzfristiger Machbarkeit und Kostenoptimierung.

Besondere Aufmerksamkeit verdient das Kriterium Baukostenzuschuss zum Netzanschluss. Hier zeigt sich ein Ausreißer am oberen Ende der Skala: Während der Median im mittleren Bereich liegt, bewerten einzelne Befragte den Zuschuss als extrem wichtig. Statistisch betrachtet signalisiert dieser Ausreißer, dass es eine Minderheit gibt, die die Finanzierungskosten als entscheidenden Engpass sieht. Für die Interpretation bedeutet dies, dass Förderinstrumente oder Zuschüsse in bestimmten Fällen den Ausschlag für die Standortwahl geben könnten, auch wenn sie von der Mehrheit als sekundär eingestuft werden.

Bei den eher nachrangigen Kriterien wie Flächentopografie, Mitarbeiteranbindung oder Wegkühloptionen fallen die Boxen klein und die Whisker kurz aus. Dies verdeutlicht, dass hier ein breiter Konsens über die geringere Relevanz besteht. Der niedrige Median zeigt, dass diese Faktoren zwar nicht völlig irrelevant sind, jedoch als technisch oder organisatorisch beherrschbar wahrgenommen werden und daher keine hohe Standortpriorität genießen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Boxplots nicht nur eine Rangfolge der Kriterien aufzeigen, sondern auch die Konsistenz der Einschätzungen sichtbar machen. Während hohe Mediane mit engen Boxen (z. B. Baurecht, Wasserbezugsoptionen) auf unumstrittene Schlüsselfaktoren verweisen, deuten breite Boxen und lange Whisker (z. B. Flächensicherung, Abnehmermarkt, Wasserstoffnetz) auf divergierende Sichtweisen hin, die im Rahmen der Standortbewertung besonders diskutiert werden sollten. Ausreißer, wie beim Baukostenzuschuss, liefern wichtige Hinweise auf Mindermeinungen, die in spezifischen Projektkontexten dennoch entscheidungsrelevant werden können.

5 Einordnung der Standortqualität

Die im Rahmen des Standortkompasses vorgenommenen Bewertungen und Gewichtungen ermöglichen nicht nur den Vergleich einzelner Flächen, sondern auch eine generelle Einordnung der Standortqualität. Auf Grundlage der aggregierten Ergebnisse aus der Region Heide, weiteren potenziellen Standorten (u. a. Jevenstedt, Brunsbüttel, Lubmin) sowie willkürlich ausgewählten Vergleichsflächen ergibt sich eine Abstufung in drei Qualitätskategorien:

Sehr gute Standortqualität (Zielerreichungsgrad 80–100 %)

Standorte in diesem Bereich erfüllen die wesentlichen Kriterien in hohem Maße und weisen damit besonders günstige Voraussetzungen für die Realisierung großskaliger Elektrolyseprojekte auf. Neben der Verfügbarkeit von Flächen und Ressourcen zeichnen sich diese Standorte durch eine vorteilhafte Anbindung an Strom- und Wasserstoffinfrastruktur sowie durch gute Rahmenbedingungen in Bezug auf Baurecht, Akzeptanz und mögliche Synergien aus. Die Qualität des Standortes bietet sehr gute Voraussetzungen für eine Projektumsetzung.

Gute Standortqualität (Zielerreichungsgrad 60–80 %)

Diese Standorte erfüllen die Kriterien insgesamt zufriedenstellend und ermöglichen eine realistische Umsetzung. Zwar können einzelne Kriterien Schwächen aufweisen – etwa eine größere Entfernung zu Netzknotenpunkten oder Einschränkungen bei der Flächensicherung –, diese Defizite sind jedoch in der Regel durch technische Anpassungen oder höhere Investitionen auszugleichen. Ein Standort in dieser Kategorie stellt grundsätzlich eine tragfähige Option dar, wenn die Projektziele und Rahmenbedingungen dies zulassen.

Eingeschränkte Standortqualität (Zielerreichungsgrad unter 60 %)

Standorte, die weniger als 60 % der maximal möglichen Zielerreichung erzielen, weisen in mehreren zentralen Kriterien deutliche Defizite auf. Die Umsetzung wäre hier mit erheblichen Mehrkosten oder erhöhten Risiken verbunden. Dazu zählen insbesondere fehlende Flächenverfügbarkeit, ungünstige Anbindungsbedingungen an Strom- und Wasserstoffnetze oder ein hoher Planungs- und Genehmigungsaufwand. Für diese Standorte wird empfohlen eine vertiefte Prüfung hinsichtlich anpassbarer Kriterien vorzunehmen oder Alternativen zu prüfen, da die wirtschaftliche und zeitnahe Realisierung stark in Frage gestellt ist.

6 Exemplarische Standortbewertung am Beispiel Region Heide

Die Region Heide besteht aus der Kreisstadt Heide sowie den elf umliegenden Gemeinden. Aus Sicht der Entwicklungsgesellschaft Region Heide wird im Folgenden der Standortkompass exemplarisch angewendet um potentielle Elektrolysestandorte in der Region zu identifizieren und zu bewerten.

6.1 Identifizierung von Potenzialflächen in der Region Heide

Zunächst wurden wichtige Infrastrukturpunkte für die Wasserstoffproduktion in eine OpenStreetMap Karte in QGIS eingezeichnet. Hierzu zählt das geplante Multi-Terminal-Hub bei dem davon ausgegangen wird, dass in Zukunft freie Schaltflächen für Großelektrolyseanlagen vorhanden sein werden. Des Weiteren soll Hemmingstedt in der Region Heide an das Nationale Wasserstoffnetz angeschlossen werden, dies wird voraussichtlich durch einen Neubau einer Wasserstoffleitung entlang der bereits existierenden Gasleitung nach Brunsbüttel realisiert. Ein weiterer wichtiger Infrastrukturpunkt ist die Wasserversorgung. In diesem Rahmen wird aktuell in einer Studie die Entnahme aus dem Miele Speicherbecken untersucht weshalb diese hier als Wasserversorgungspunkt angenommen wurde. Die verschiedenen Punkte sind in Abbildung 11 dargestellt. Zieht man um die Wichtigen Infrastrukturpunkte einen Radius von 10km, was hier als maximal wirtschaftlich realisierbare Entfernung angesehen wird (Abbildung 12A), erhält man den in Abbildung 12B dargestellten eingeschränkteren Potenzialraum. Dieser wird maßgeblich durch die Entfernung zum Miele Speicherbecken und die Region Heide an sich definiert.



Abbildung 11: Einzeichnen von kritischen Infrastrukturpunkten, eigene Darstellung in QGIS



Abbildung 12: A: Räume von 10km um wichtige Infrastrukturpunkte und die Region Heide einzeichnen; B: Potenzialraum, maßgebliche bestimmt durch die Region Heide und die Entfernung zum Miele Speicherbecken ; eigene Darstellung in QGIS

Im weiteren Verlauf wurden Datensätze zu allen Ausschlusskriterien und Ausschlusskriterium mit Prüfoption in QGIS geladen (Abbildung 13) und im Potenzialraum angezeigt, sodass sich daraus wiederum entsprechende Weißflächen ermitteln lassen.



Abbildung 13: Anzeigen aller Ausschlusskriterien und Kriterien mit Prüfoption; eigene Darstellung in QGIS



Abbildung 14: Identifizierung von Weißflächen; eigene Darstellung in QGIS

Die Entwicklungsagentur Region Heide geht von einer Ansiedlung von Elektrolyseanlagen im Bereich von 2 GW aus. Um die Logistik bezüglich Wasser- und Stromversorgung sowie Anbindung an das Nationale Wasserstoffnetz zu erleichtern wird eine Entwicklung der Anlagen an einem Standort favorisiert. Wenn man von einem minimalen Platzbedarf von ca. $0,1 \text{ km}^2/\text{GW}$ Elektrolyseleistung ausgeht (Kapitel 3.2.1.1). Fallen die Flächen B und C aus der Betrachtung heraus (Siehe Abbildung 15).

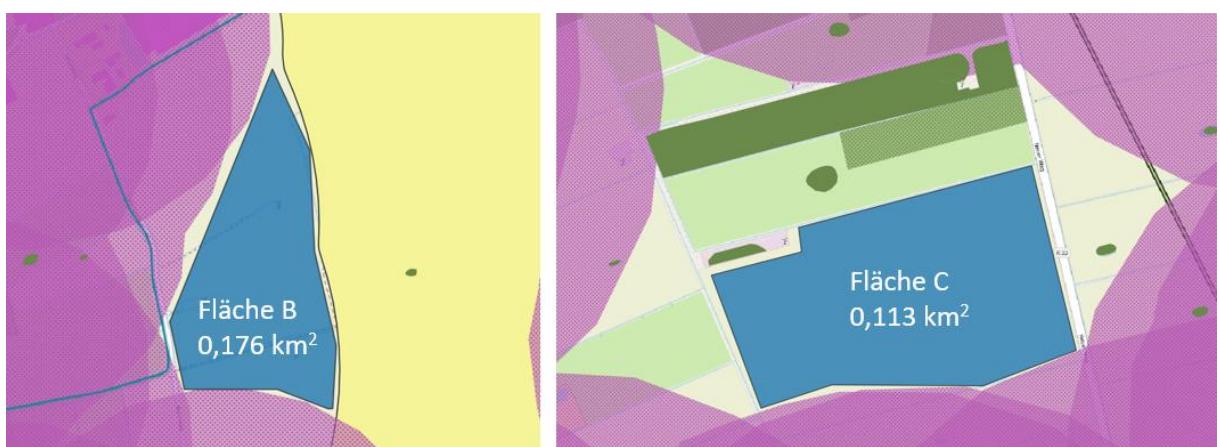


Abbildung 15: Detailliertere Flächenbetrachtung von Potenzialfläche B und C; eigene Darstellung in QGIS

Darüber hinaus sind auf bzw. in unmittelbarer Nähe dieser Flächen Windkraftanlagen errichtet, welche einen Genehmigungsprozess der Elektrolyseanlage erschweren. Für eine detailliertere Standortbewertung werden folglich nur die Flächen A, D und E weiter betrachtet. Da sich die Flächen der Region Heide bezüglich Ihrer Stromversorgungs-, Wasserversorgungs-, und Wasserstoffabnahme Punkte nicht unterscheiden wurde zur Validierung des Standortkompass noch weitere Standorte außerhalb der Region Heide bewertet.

6.2 Bewertung der Potenzialflächen der Region Heide

Um die Standorte gut vergleichen zu können, wurde innerhalb der Potenzialfläche der bestmögliche Standort identifiziert (minimale Hindernisse und eine Flächengröße von ca. 125% der benötigten Fläche). Um die Fläche in QGIS einzulegen und anschließend auch zu berechnen kann folgendermaßen vorgegangen werden: Layer-Layer erstellen- Neuer Shapenfile Layer erstellen, Metrisches Koordinatensystem Bsp: EPSG:25832 - ETRS89 / UTM zone 32N – Bearbeitungsmodus (Bleistift) -Polygonobjekt hinzufügen; Berechnung der Fläche: Attributabelle öffnen- Feldrechnersymbol- Dezimalzahl \$area/1.000.000 für Ausgabe in km².

Folgende drei identifizierte Potenzialflächen haben sich aus der Kartenarbeit ergeben:

Potenzialfläche/Standort A Norderwöhrden



Abbildung 16: Beispielhafte Standortidentifizierung Norderwöhrden ; eigene Darstellung in QGIS

Potenzialfläche/Standort D Wöhrden

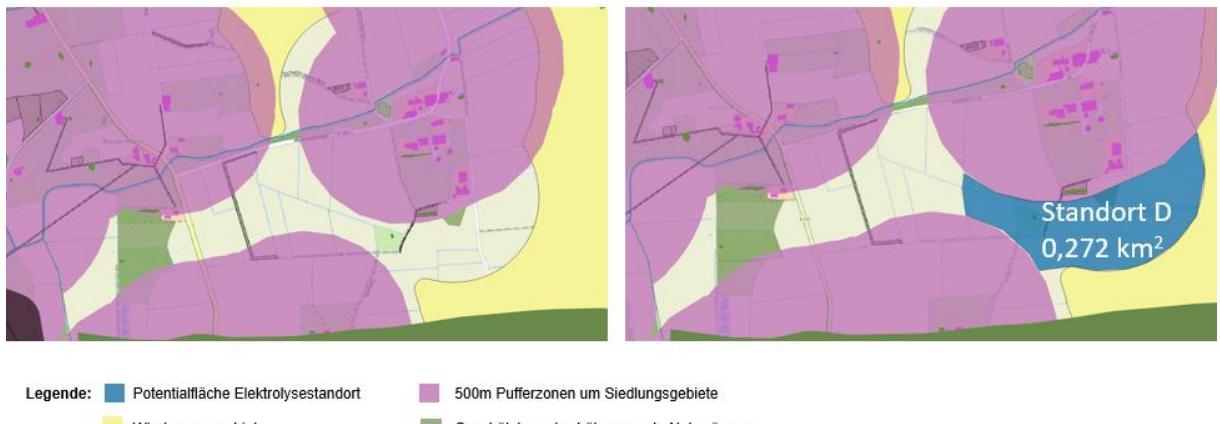


Abbildung 17: Beispielhafte Standortidentifizierung Wöhrden; eigene Darstellung in QGIS

Potenzialfläche/Standort E Hemmingstedt



Abbildung 18: Beispielhafte Standortidentifizierung Hemmingstedt ; eigene Darstellung in QGIS
Die drei untersuchten Standorte der Region Heide (A Norderwöhrden, D Wöhrden, E Hemmingstedt) erreichen mit 61 %, 73 % und 68 % Zielerreichung durchweg den Bereich *gute Standortbedingungen*. Damit liegen sie oberhalb der Schwelle von 60 % und zeigen, dass die Region insgesamt günstige Voraussetzungen für Elektrolyseprojekte bietet.

Kennzeichnend für die Standorte der Region Heide ist die Kombination aus Nähe zu wesentlichen Energieinfrastrukturen (380-kV-Netz, künftiges Wasserstoffkernnetz, Speicherbecken als Wasserquelle) und die Verfügbarkeit von größeren Flächen im unmittelbaren Umfeld. Gleichzeitig

bestehen in allen Fällen Einschränkungen bei der Flächensicherung, Wasserbezugsoptionen und baurechtlichen Rahmenbedingungen, die eine Realisierung erschweren können.

Im Vergleich zu Brunsbüttel wird deutlich, dass Heide nicht dieselbe industrielle Vorprägung und direkte Anbindung an Hafen- und Chemieinfrastrukturen aufweist. Brunsbüttel erreicht daher in der Bewertung ein deutlich höheres Niveau (88 %), insbesondere durch die gesicherte Flächenverfügbarkeit.

Gegenüber einem willkürlich gewählten Standort im Südosten-Schleswig-Holstein zeigt sich hingegen die Stärke der Region Heide klar: Während am Beispielstandort im Südosten Schleswig-Holsteins größere Entfernungen zu Netz- und Wasserinfrastruktur bestehen und eine schwächere industrielle Einbettung vorliegt, kann Heide durch die Bündelung von Energie- und Wasserstoffinfrastrukturen punkten.

Fazit: Die Region Heide bietet solide Standortbedingungen, die zwar nicht das Spitzenniveau etablierter Industriekluster wie Brunsbüttel erreichen, aber im landesweiten Vergleich deutlich überdurchschnittlich abschneiden. Die Beispielstandorte verdeutlichen damit die grundsätzliche Realisierbarkeit großskaliger Elektrolyseprojekte, auch wenn für eine Priorisierung in der Projektentwicklung jeweils noch planerische und infrastrukturelle Hürden zu adressieren sind.

7 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Standortkompass bietet eine strukturierte und methodisch fundierte Grundlage, um potenzielle Flächen für großskalige Elektrolyseure systematisch zu identifizieren und zu bewerten. Durch die Kombination aus Ausschlusskriterien, detaillierten Standortfaktoren und ergänzenden Bonuskriterien können Standorte sowohl objektiv miteinander verglichen als auch regionale Besonderheiten berücksichtigt werden.

Die beispielhafte Anwendung in der Region Heide verdeutlicht, wie sich die Methodik auf konkrete Standorte übertragen lässt. Aufgrund der bau- und planungsrechtlichen Hoheit der Bundesländer wurde der Kompass in vielen Teilen anhand der rechtlichen und planerischen Rahmenbedingungen Schleswig-Holsteins entwickelt. Die Vorgehensweise ist jedoch prinzipiell auf andere Regionen in Deutschland übertragbar, da sie methodisch offen angelegt ist und durch anpassbare Gewichtungen oder zusätzliche Kriterien flexibel weiterentwickelt werden kann.

Zukünftige Entwicklungen – etwa die Einführung von Stromgebotszonen, die Ausgestaltung der Netzentgeltbefreiung nach 2029 oder neue Förderprogramme – werden die Standortwahl zusätzlich beeinflussen. Daher ist es entscheidend, die Bewertung regelmäßig an aktuelle politische, regulatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen anzupassen.

Der Standortkompass schafft damit eine belastbare Entscheidungsgrundlage, die regionale Planungsprozesse unterstützt und zugleich auf andere Regionen in Deutschland angewendet werden kann.

Die Autorinnen und Autoren begrüßen ausdrücklich, wenn der Standortkompass in zukünftigen Projekten, Studien oder Planungsverfahren angewendet und individuell weiterentwickelt wird. Dabei sollte stets auf dieses Dokument als methodische Grundlage verwiesen werden, um die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Perspektivisch bietet dieser Kompass vielseitige Erweiterungsmöglichkeiten. Eine Erweiterung der Kriterien beispielsweise um Themen wie *Investitionsrisiko*, *Stromgebotszonen* oder *Nutzung des Nebenproduktes Sauerstoff* werden neuen Entwicklungen im Markt gerecht. Auch eine Digitalisierung in Form eines Onlinetools stellt eine spannende Zusatzfunktion dar.

Durch solche Ergänzungen kann der Standortkompass langfristig als lebendiges Werkzeug für die Standortbewertung und -entwicklung großskaliger Elektrolyseure dienen und einen Beitrag zur weiteren Professionalisierung der Wasserstoffhochlaufs in Deutschland leisten.

8 Literaturverzeichnis

(IPP), H. P. (T. H., 2024. *Austausch EARH / hypion IPP* [Interview] (Januar 2024).

Amprion GmbH, 2025. *Bautechniken*. [Online]

Available at: <https://a-nord.amprion.net/Bauweise/Bautechniken/>

[Zugriff am 22 04 2025].

Amt Heider Umland, 2022. *Potentialstudie für Freiflächen-Photovoltaikanlagen*. s.l.:s.n.

Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016. *LBB Bayern*. [Online]

Available at: <https://www.lbb-bayern.de/fileadmin/merkblaetter/201604-LfU-Merkblatt-Entsorgung-humusreiches-Bodenmaterial.pdf>

[Zugriff am 07 2025].

Beschlusskammer 6, B., 2009. <https://www.bundesnetzagentur.de/>. [Online]

Available at: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/_bis_2010/2006/BK6-06-003/BK6p-06-003_Positionspapier%20BKZ.pdf?blob=publicationFile&v=1

[Zugriff am 2025].

Beschlusskammer 8, Bundesnetzagentur, 2024. *Bundesnetzagentur.de*. [Online]

Available at:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/BK08/BK8_04_InfoRundschr/43_Leitfaeden/Downloads/Positionspapier_DL.pdf?blob=publicationFile&v=7

[Zugriff am 2025].

BMWK, 2025. www.bmwk.de. [Online]

Available at:

<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Dossiers/wasserstoffstrategie.html>

[Zugriff am 29 04 2025].

BMWK-H2, 2025. www.bundeswirtschaftsministerium.de. [Online]

Available at:

<https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Wasserstoff/Downloads/Fortreibung.html>

[Zugriff am 29 04 2025].

BMWSB-1, 2025. www.bmwsb.bund.de. [Online]

Available at: https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/raumentwicklung/was-ist-das/deutschlandkarte_verlinkte-karte.html

[Zugriff am 25 04 2025].

BMWSB-2, 2025. www.bmwsb.bund.de. [Online]

Available at:

<https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/raumentwicklung/raumordnung/zentrale-orte/zentrale-orte-node.html>

[Zugriff am 25 04 2025].

BMWSB-3, 2025. www.bmwsb.bund.de. [Online]

Available at:

<https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/raumentwicklung/raumordnung/zentrale-orte/zentrale-orte-trenner-langfassung.html>

[Zugriff am 25 04 2025].

BMWSB-4, 2025. www.bmwsb.bund.de. [Online]

Available at:

<https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/raumentwicklung/raumordnung/zentrale-orte/zentrale-orte-node.html>

[Zugriff am 29 04 2025].

BUND, 2025. *Nationalparks: Natur Natur sein lassen*. [Online]

Available at: <https://www.bund.net/themen/naturschutz/schutzgebiete/nationalparks/>

[Zugriff am 29 04 25].

Bundensnetzagentur, 2010. *Wettbewerbliche Entwicklungen und Handlungsoptionen im Bereich Zähl- und Messwesen und bei variablen Tarifen*, Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen .

Bundesamt für Naturschutz, 2025. [bfn.de](http://www.bfn.de). [Online]

Available at: <https://www.bfn.de/naturschutzgebiete>

[Zugriff am 29 04 2025].

Bundesnetzagentur- Anlage6, 2024. www.bundesnetzagentur.de. [Online]

Available at:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/_DL/A

[ntrag_FNB_Anlage6.pdf? blob=publicationFile&v=1](#)

[Zugriff am 24 05 2025].

Bundesnetzagentur, 2019. *netzentwicklungsplan.de*. [Online]

Available at: https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/NEP_2030_2019_2_Entwurf_Kostenschaetzungen.pdf

[Zugriff am 2025].

Bundesnetzagentur, 2024. *bundesnetzagentur.de*. [Online]

Available at:

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/NSA/Festlegungskriterien.pdf? blob=publicationFile&v=3>

Bundesnetzagentur, 2025. *marktstammdatenregister.de*. [Online]

Available at:

<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht>

Bundesnetzagentur-Anlage 3, 2024. *www.bundesnetzagentur.de*. [Online]

Available at:

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html>

[Zugriff am 23 05 2025].

Bundesnetzagentur-Anlage4, 2024. *www.Bundesnetzagentur.de*. [Online]

Available at:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/_DL/geaendert_Anlage5.xlsx? blob=publicationFile&v=4

[Zugriff am 06 05 2025].

Bundesnetzagentur-FNB Anlage 3, 2024. *www.bundesnetzagentur.de*. [Online]

Available at:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/_DL/Antragsentwurf_FNB_Anlage3.xlsx? blob=publicationFile&v=2

[Zugriff am 24 05 2025].

Bundesnetzagentur-geä.Anlage3, 2024. *www.bundesnetzagentur.de*. [Online]

Available at:

https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/_DL/geoaendert_Anlage3.xlsx?blob=publicationFile&v=3
[Zugriff am 06 05 2025].

Bundesnetzagentur-H2Backbone, 2025. www.bundesnetzagentur.de. [Online]

Available at:

<https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/start.html>
[Zugriff am 29 04 2025].

Destatis, 2023. destatis.de. [Online]

Available at: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/private-haushalte/Tabellen/stromverbrauch-haushalte.html>

Destatis-Microzensus, 2025. www.destatis.de. [Online]

Available at: https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-3/zeitaufwand-weg-arbeit.html?utm_source=chatgpt.com
[Zugriff am 25 04 2025].

DigitalAtlasNord, 2025. www.danord.gdi-sh.de. [Online]

Available at: <https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Anonym/index.html?lang=de#>
[Zugriff am 04 03 2025].

DigitalerAtlasNord-Wärme, 2019. www.danord.gdi-sh.de. [Online]

Available at: <https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Waerme/index.html?lang=de#>
[Zugriff am 10 06 2025].

E.ON Hanse Vertrieb, 2010. *Anonymisierte Auswertung der Zähler, Zählerstände, Lastgänge*. Husum:

E.ON Hanse Vertrieb GmbH.

e-energy, 2011. <http://www.e-energy.de/de/modellregionen.php>. [Online]

Available at: www.e-energy.de

[Zugriff am 02 03 2011].

Energieatlas-MV, 2024. www.energieatlas-mv.de. [Online]

Available at: <https://energieatlas-mv.de/>

[Zugriff am 12 06 2025].

ESN, I., 2023. *Machbarkeitsstudie: Regionale Nutzungsmöglichkeiten zur Integration sowie mögliche Verfahren zur Abführung prozessbedingter Abwärme aus Produktion und Großelektrolyse*, s.l.: s.n.

ETG, 2010. *Smart Energy 2020*, Frankfurt am Main: VDE Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik e.V..

EU 20-20-20, 2008. *Mitteilung der Kommission*. [Online]
[Zugriff am 03 03 2011].

European Hydrogen Observatory, 2025. *observatory.clean-hydrogen.europa.eu*. [Online]
Available at: <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/tools-reports/levelised-cost-hydrogen-calculator>

evety, 2023. „*Infrastrukturanalyse und Potenzialermittlung im Kontext der Erzeugung von H2 und synthetisches Methanol unter Verwendung regionalem CO2 und Nutzung des O2*“, s.l.: s.n.

Flake, P. R. / J. T. / M. K. / R., 2025. www.iwkoeln.de. [Online]
Available at: <https://www.iwkoeln.de/studien/paula-risius-jurek-tiedemann-malte-kueper-regina-flake-nadeloehr-fuer-den-wasserstoffhochlauf.html>
[Zugriff am 01 03 2025].

FNN Expertennetzwerk, "., 2013. *Anschluss und Betrieb von Speichern am Niederspannungsnetz*. Berlin: Forum Netztechnik / Netzbetrieb im vde (FNN).

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2024. *h2-powerd*. [Online]
Available at: <https://www.h2-powerd.de/>

Geofabrik GmbH und OpenStreetMap Contributors, 2018. *OpenStreetMap Data für Schleswig-Holstein*, s.l.: s.n.

Geowissenschaften, Bundesanstalt für, 2025. www.bgr.bund.de. [Online]
Available at:
https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Grundwasser/Deutschland/grundwasser_deutschland_node.html
[Zugriff am 05 03 2025].

get-h2, 2024. www.get-h2.de. [Online]
Available at: <https://www.get-h2.de/wp-content/uploads/GET-H2-Factsheet-Nebenprodukte->

[Elektrolyse-241203.pdf](#)

[Zugriff am 02 10 2025].

Giordano, V. et al., 2012. *Smart Grid projects in Europe: Lessons learned and current developments*, Netherlands: European Commision JRC Scientific and Policy Reports.

IW-Report 10/2024, S.13, 2024. www.econstor.eu/. [Online]

Available at: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/283625/1/1881512304.pdf>

[Zugriff am 07 05 2025].

Kessler, C., 2010. *Automatisierung von Ortsnetzstationen auf Pellworm unter Berücksichtigung unterschiedlicher Übertragungstechniken*. Heide: s.n.

LLUR, 2015. umweltportal.schleswig-holstein.de. [Online]

Available at: https://umweltportal.schleswig-holstein.de/documents/llur/boden/bodenbewertung/dok/erlaeuterungen_bodenbewertung.pdf

[Zugriff am 25 04 2025].

LLUR, 2023. opendata.schleswig-holstein.de. [Online]

Available at: <https://opendata.schleswig-holstein.de/dataset/biotopkartierung>
[Zugriff am 29 04 2024].

Lukas Büsch, M. J. D. S. C. M. L. C. J. S. H. ,. N. ,. F. ,. S. ,. E. ,. K. ,. A. T. S. B. K., 2024. HyPLANT100: Industrialization from Assembly to the Construction Site for Gigawatt Electrolysis. *MDPI*, pp. 9, 10.

Maximilian Pfennig, M. v. B. N. G., 2021. *PtX-Atlas*. s.l.:s.n.

MEKUN, 2025. umweltportal.schleswig-holstein.de. [Online]

Available at: <https://umweltportal.schleswig-holstein.de/>
[Zugriff am 29 04 2025].

Nationalatlas, 2025. www.archiv.nationalatlas.de. [Online]

Available at: https://archiv.nationalatlas.de/wp-content/art_pdf/Band2_126-129_archiv.pdf
[Zugriff am 13 02 2025].

Netztransparenz, 2024. www.netztransparenz.de. [Online]

Available at: <https://www.netztransparenz.de/de-de/%C3%9Cber-uns/Baukostenzuschuss>
[Zugriff am 27 10 2025].

Nordfriesland, W., 2020. „*Entwicklungspfade einer Wasserstoffwirtschaft an der Westküste*“, s.l.: s.n.

Ökopunktemarkt, 2025. [Ökopunktemarkt.de](http://xn--kopunktemarkt-hmb.de). [Online]

Available at: <https://xn--kopunktemarkt-hmb.de/was-sind-oekopunkte/>
[Zugriff am 05 09 2025].

RL 2000/60/EG, 2025. [www.eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu). [Online]

Available at: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF
[Zugriff am 10 02 2025].

Schleswig-Holstein.de-1, 2025. www.schleswig-holstein.de. [Online]

Available at: <https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/themen/planen-bauen-wohnen/landesplanung/raumordnungsplaene>
[Zugriff am 25 04 2025].

schleswig-holstein.de-2, 2025. www.schleswig-holstein.de. [Online]

Available at: https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/L/landesplanung/weitereThemen/raumordnung_zentraloertliches_system
[Zugriff am 25 04 2025].

Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2025. [regionalstatistik.de](http://www.regionalstatistik.de). [Online]

Available at:
<https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=themes&code=4#abreadcrumb>

SynergieKomm, 2010. *Weiterentwicklung des Energiekonzeptes für die Gemeinde Pellworm*, Bonn:
SynergieKomm Agentur für Nachhaltigkeit und Innovation.

TenneT TSO GmbH, 2025. [tennet.eu](http://www.tennet.eu). [Online]

Available at: <https://www.tennet.eu/de/projekte/technik-bau>
[Zugriff am 22 04 2025].

Tennet, 2021. <https://netztransparenz.tennet.eu/>. [Online]

Available at:

https://netztransparenz.tennet.eu/fileadmin/user_upload/The_Electricity_Market/German_Market/Grid_customers/Kundenforum_2021/6_Kundenforum_30_11_21_Vortrag_Netzanschlus_und_Prozess.pdf

[Zugriff am 2025].

Trinh, N. D., 2011. *Auswertung zur Bürgerbefragung für die Innovationsstudie Pellworm, 31.03.2011, Interner Bericht*, Heide: s.n.

Umweltportal-SH, 2024. www.umweltportal.schleswig-holstein.de. [Online]

Available at: [https://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuuid=D33114C6-A6CF-459E-BD6A-983EDE23C716](http://umweltportal.schleswig-holstein.de/trefferanzeige?docuuuid=D33114C6-A6CF-459E-BD6A-983EDE23C716)

[Zugriff am 23 05 2025].

Verwaltung-digital, 2025. www.verwaltung.bund.de. [Online]

Available at:

[https://verwaltung.bund.de/leistungsverzeichnis/DE/leistung/99129012168000/herausgeber/](http://verwaltung.bund.de/leistungsverzeichnis/DE/leistung/99129012168000/herausgeber/RP-199014008/region/07)
[RP-199014008/region/07](http://verwaltung.bund.de/leistungsverzeichnis/DE/leistung/99129012168000/herausgeber/RP-199014008/region/07)

[Zugriff am 05 03 2025].

Zentner, M., 2024. *Technische Machbarkeitsstudie zur Wasserversorgung von großskaligen Elektrolyseanwendungen*, s.l.: s.n.