Freie und Hansestadt Hamburg

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
BUKEA: Amt für Energie

Behörde für Wirtschaft, Arbeit und Innovation
BWAI: Stabstelle Wasserstoffwirtschaft

Anlage zur Hamburger Stellungnahme zu den Netzentgelten für Elektrolyseure und zum Sachstandspapier im Rahmen des AgNes Prozesses (Orientierungspunkte Netzentgeltkomponenten; GBK-25-01-1#3)

System- und Netzdienlichkeit von Elektrolyseuren im Rahmen des Festlegungsverfahrens „Allgemeine Netzentgeltsystematik Strom (AgNeS)“

1. Gegenstand der Stellungnahme und Bedeutung elektrolytischer Flexibilität

Die fortschreitende strukturelle Transformation des deutschen Energiesystems erfordert im Zuge der Energiewende eine grundlegende Modernisierung der Netzentgeltsystematik. Vor diesem Hintergrund nehmen die unterzeichnenden Behörden die Gelegenheit wahr, die System- und Netzdienlichkeit von Elektrolyseuren im Kontext der zukünftigen Netzentgeltgestaltung zu beleuchten und im Rahmen des laufenden Festlegungsverfahrens fachlich einzuordnen. Der wachsende Anteil volatiler erneuerbarer Energien sowie der parallele Hochlauf von Flexibilitätsoptionen, insbesondere von Elektrolyseuren, führen zu veränderten technischen und systemischen Anforderungen an das Stromsystem und zu einer einmaligen Möglichkeit den Stromsektor systemdienlicher zu gestalten. Eine zukünftige Entgeltstruktur muss diesen technischen Realitäten entsprechen und systemdienliches Verhalten adäquat berücksichtigen.Dabei ist zu bedenken, dass der systemdienliche einer Flexibilitätsoption nur durch die Betriebsweise sondern auch durch die Standortwahl definiert wird. Vor diesem Hintergrund analysiert die Stellungnahme die Rolle von Elektrolyseuren aus technischer, systemischer und regulatorischer Perspektive. Die Analyse wird dabei gestützt durch Szenarioberechnungen, die das Norddeutsche Reallabor (NRL)[1] im Rahmen seiner AG Netze und Infrastrukturen für den Bereich Schleswig-Holstein und Hamburg durchgeführt hat (siehe Anlage).

Im genehmigten Szenariorahmen Strom 2025 für den Netzentwicklungsplan 2037/2045 wird für das Jahr 2045 eine Elektrolyseleistung zwischen rund 31,6 GW und etwa 70 GW ausgewiesen. Der Wert von 31,6 GW ergibt sich aus den heute bekannten Projekten und dem erwartbaren Anlagenbestand. Darüber hinaus enthält der Szenariorahmen modellierte Entwicklungspfade, die – abhängig von Annahmen zur Nachfrage, zum Ausbau erneuerbarer Energien und zu energiepolitischen Zielsetzungen – höhere Werte bis zu rund 70 GW berücksichtigen. In mehreren dieser Varianten wird eine Elektrolyseleistung von rund 40 GW als plausibler mittlerer Ausbaupfad bis 2045 angenommen. Diese Bandbreite beschreibt den

[1] Das NRL wurde im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms als eines der Reallabore der Energiewende ausgewählt und wird mit rund 30 Mio. Euro durch das BMWE gefördert.

derzeit anerkannten Erwartungskorridor der Übertragungsnetzbetreiber und bildet damit eine belastbare Grundlage für die Einschätzung der elektrischen Lasten durch Elektrolyseure im zukünftigen Stromsystem.

Elektrolyseure übernehmen in einem zunehmend elektrifizierten Energiesystem eine spezifische Rolle, die sich deutlich von klassischen Lasten unterscheidet. Sie können ihren Stromverbrauch zeitlich flexibel über Stunden bis hin zu durch Wetterperioden definierte längere Zeiträume von Tagen oder Wochen, anpassen und dabei in Phasen hoher Wind- und Solarstromproduktion erhebliche Mengen erneuerbarer Erzeugung aufnehmen. Während Batteriespeicher vorrangig kurzfristige Leistungsflexibilität bereitstellen, ermöglichen Elektrolyseure die Nutzung struktureller Erzeugungsüberschüsse über längere Zeiträume und erzeugen damit systemisch relevante Entlastungseffekte im Übertragungsnetz. Angesichts der im Szenariorahmen ausgewiesenen Ausbaugrößen wird deutlich, dass die Integration dieser flexiblen Großverbraucher für die Netz- und Systemstabilität der kommenden Jahrzehnte von zentraler Bedeutung ist. Dabei ist eine räumliche Nähe zu Erzeugungsanlagen aufgrund bereits existierender und weiterhin zu erwartender Netzengässe für eine deutschlandweite Netzdienlichkeit notwendig.. Die Szenarioberechnung des NRL zeigt in diesem Zusammenhang bspw., wo genau regional entsprechende Entlastungen möglich bzw. notwendig sind und durch systemdienliche Elektrolyseure erreicht werden könnten.

Über die unmittelbare Wirkung als flexible Last hinaus sind Elektrolyseure systemisch als integraler Bestandteil einer künftig unverzichtbaren Rückverstromungsprozesskette zu betrachten. In Kombination mit Wasserstoffspeichern, wasserstofffähigen Gaskraftwerken und ergänzenden Batteriespeichern ermöglichen sie eine doppelte netzdienliche Wirkung: Einerseits nehmen sie Strom in Phasen hoher erneuerbarer Einspeisung auf und entlasten das Netz als steuerbare Last. Andererseits schaffen sie die Voraussetzung für gesicherte Stromerzeugungskapazitäten in sogenannten Dunkelflauten, indem zuvor gespeicherter Wasserstoff rückverstromt werden kann. Elektrolyseure erfüllen damit nicht nur eine kurzfristige Flexibilitätsfunktion, sondern stellen einen entscheidenden strukturellen Baustein der saisonalen Systemstabilisierung und Versorgungssicherheit dar.

2. Standortabhängige Netzwirkungen und technische Systemeffekte

Aus technischer Sicht ist die systemische Wirkung von Elektrolyseuren eindeutig von der räumlichen Ebene abhängig. Mehrere unabhängige Forschungsarbeiten, darunter die Studie „Systemdienliche Integration von grünem Wasserstoff“ (u. a. Consentec 2023, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, TU Berlin) sowie netztechnische Analysen aus dem wissenschaftlichen Umfeld[2], belegen übereinstimmend, dass die netzstützende Wirkung von Elektrolyseuren wesentlich durch ihren Standort bestimmt wird. Die Standortwahl bestimmt das Ausmaß der Entlastung bestehender und absehbarer Netzengpässe, da nur an bestimmten Netzknoten eine unmittelbare Verringerung der Transportlast in Zeiten erhöhter Einspeisung möglich ist. Diese Erkenntnis deckt sich mit der Beobachtung, dass Netzengpässe im deutschen Übertragungsnetz weiterhin maßgeblich durch Nord-Süd-Flüsse und die hohe Konzentration erneuerbarer Einspeisung in Norddeutschland geprägt sind. Elektrolyseure an geeigneten Standorten können in diesen Regionen den Transportbedarf reduzieren, Redispatch-Maßnahmen verringern und die Abregelung erneuerbarer Erzeugung signifikant vermindern.

Die Netzdienlichkeit flexibler elektrischer Lasten von Elektrolyseuren zeigt sich daher vor allem in ihrer Fähigkeit, lokal unausgeglichene Einspeise- und Lastsituationen strukturell zu harmonisieren. An Netzknoten mit hoher erneuerbarer Einspeisung führt die Bereitstellung steuerbarer Last unmittelbar zu einer Verringerung der thermischen Auslastung überlasteter Netzabschnitte. Dieser technische Effekt – eine Reduktion der Spitzenlast auf den relevanten

[2] Anlage NRL sowie ISFH und Leibnis Universität Hannover „Weniger Abregeln durch mehr Flexibilität im Energiesystem“

Leitungsabschnitten – lässt sich unmittelbar in sowohl geringere Redispatchkosten übersetzen als auch geringere Netzübertragungsverluste und wirkt zudem dämpfend auf den langfristigen Netzausbaubedarf. Systemanalysen beziffern die mögliche Gesamtkostenreduktion durch gezielt lokalisierte Elektrolyseure bis zum Jahr 2050 auf über 60 Milliarden Euro. Es handelt sich damit um einen signifikanten systemökonomischen Effekt, der klar zeigt, dass die Einbindung elektrolytischer Flexibilität nicht nur betriebswirtschaftliche, sondern vor allem netzbezogene Vorteile erzeugt. Dies begründet die besondere Bedeutung der Standortwahl für einen intendierten systemdienlichen Betrieb zukünftiger Elektrolyseure und eine evtl. damit einhergehende Reduktion oder Befreiung von zu zahlenden Netzentgelten

3. Regulatorische Konsequenzen für eine kostenreflexive Netzentgeltsystematik

Eine moderne Netzentgeltsystematik, wie sie im AgNeS-Prozess entwickelt wird, muss die dargestellten technischen und systemischen Zusammenhänge konsequent abbilden. Die Bundesnetzagentur hat mit der Aufnahme räumlicher Differenzierungsoptionen und der verstärkten Berücksichtigung netzdienlicher Effekte wichtige Schritte eingeleitet. Die regulatorischen Leitziele – insbesondere Kostenreflexivität und die Anerkennung systemdienlicher Wirkungen – bilden eine geeignete Grundlage für die sachgerechte Einordnung von Elektrolyseuren im Netzentgeltsystem. Entscheidend ist hierbei, dass Netzdienlichkeitsmerkmale standortspezifisch und transparent berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass Regionen mit hohem fluktuierendem Einspeiseverhalten, ausgeprägten Engpassmustern und strukturellen Übertragungslastproblemen im Entgeltsystem gezielte und verlässliche Preissignale erhalten müssen, die eine entsprechende Lokalisierung von Flexibilitätsanlagen begünstigen.

Vor diesem Hintergrund sollte regulatorisch klar zwischen einer standortbezogenen Anerkennung netzdienlicher Wirkung und einer betriebsbezogenen Nachweispflicht netzdienlichen Verhaltens unterschieden werden. Für Elektrolyseure an eindeutig definierten netzdienlichen Standorten ergibt sich die Netzdienlichkeit bereits aus der räumlichen Einbindung in strukturell belastete Netzsituationen. Eine zusätzliche, kontinuierliche Nachweisführung netzdienlichen Betriebs – wie sie etwa im Rahmen des § 13k EnWG vorgesehen ist – würde diesen systemischen Zusammenhang verkennen und die Investitionsanreize für den erforderlichen Hochlauf elektrolytischer Kapazitäten deutlich schwächen. Die Netzentgeltbefreiung sollte daher grundsätzlich an den Standort gekoppelt werden und nicht an einen laufenden betrieblichen Nachweis netzdienlicher Aktivität.

Auch europarechtlich bestehen hierfür klare Anknüpfungspunkte. Privilegierungen im Netzentgeltrecht sind zulässig, sofern die begünstigten Einheiten eine angemessene Gegenleistung für das Energiesystem erbringen. Diese Gegenleistung kann bei Elektrolyseuren an netzdienlichen Standorten eindeutig nachgewiesen werden, weil die Wirkung auf die Reduzierung netzbezogener Kosten – insbesondere Redispatch –, auf die Vermeidung von Abregelungen und auf die Dämpfung des langfristigen Netzausbaubedarfs fachlich klar belegbar ist. Im regulatorischen Sinne handelt es sich damit um eine kostenreflexive Anreizsetzung, die das Verhalten der relevanten Akteure systemführend beeinflusst und zugleich mit den europarechtlichen Grundsätzen der Nichtdiskriminierung und Kostenorientierung kompatibel ist.

4. Systemische Bedeutung von Standortsignalen und Importsubstitution

Hinzu kommt ein weiterer systemischer Aspekt von hoher Relevanz: Die Frage der Importsubstitution. Hohe Kosten für inländischen Elektrolysestrom erhöhen den Anreiz, Wasserstoff in wachsendem Umfang zu importieren. Dies hat unmittelbare systemtechnische Effekte. So verringert sich zunächst die inländische Stromnachfrage, wodurch zwar kurzfristig die gesamte Netzauslastung bilanziell sinkt, aber unter lokaler Betrachtung das bis heute für Redispatch-Maßnahmen verwantwortliche Nord-Süd-Gefälle erhalten bliebe und zukünftig

noch weiter verstärkt würde. Importierte Wasserstoffmoleküle entfalten bei hoher EE-Erzeugung keine netzdienliche Wirkung im Stromsystem, da sie die Engpassbewirtschaftung im Übertragungsnetz nicht unterstützen können. In Zeiten von Dunkelflauten bliebe Deutschland weiter abhängig von Energieimporten. Die netztechnische Wertschöpfungskette eines inländischen Elektrolyseurs – von der Aufnahme erneuerbarer Überschüsse über Lastmanagement, die Vermeidung von Abregelungen und langfristige Speicherung und Nutzung von EE-Stromüberschussmengen – entfällt bei Importen vollständig. Dies unterstreicht die zusätzliche strategische Bedeutung einer regulatorische Anerkennung der tatsächlichen Systemwirkung inländischer Elektrolysekapazitäten.

Um diese Zusammenhänge in eine anreizgerechte Netzentgeltsystematik zu überführen, erscheint eine räumlich differenzierte Entgeltstruktur als sachgerechter Ansatz. Instrumente wie Baukostenzuschüsse oder das Mechanismusdesign nach § 13k EnWG setzen zwar erste Signale, verfügen jedoch aufgrund ihrer begrenzten wirtschaftlichen Wirkung nur über eine eingeschränkte Allokationskraft. Die Differenz zwischen den Effekten dieser Instrumente und der deutlich höheren Wirksamkeit einer reduzierten oder vollständig entfallenden Netzentgeltkomponente ist erheblich. Für Elektrolyseure an technisch eindeutig definierten netzdienlichen Standorten kann eine substanzielle Entgeltentlastung hingegen eine zentrale wirtschaftliche und verhaltenslenkende Größe darstellen.

Eine stärkere Abstützung des Wasserstoffsystems auf Importe birgt zudem das Risiko erheblicher Preisvolatilitäten und geopolitischer Abhängigkeiten. Überschussstrombasierter Wasserstoff aus inländischer Produktion erhöht demgegenüber die Resilienz des Energiesystems gegenüber zukünftigen Importpreisrisiken. Wird der inländische Elektrolysehochlauf hingegen durch dauerhaft hohe Stromkosten und Netzentgelte gehemmt, ist zu erwarten, dass das bestehende Nord-Süd-Gefälle im Stromnetz nicht nur fortbesteht, sondern weiter verstärkt wird. Hohe erneuerbare Überschussmengen im Norden könnten dauerhaft nicht genutzt werden, während importierter Wasserstoff diese strukturellen Netzprobleme nicht adressieren kann. Eine belastbare Wirtschaftlichkeitsperspektive für Elektrolyseure im Norden ist daher zwingend erforderlich und lässt sich realistisch nur über einen dauerhaft reduzierten Strompreis – einschließlich einer signifikanten Netzentgeltentlastung – erreichen.

5. Schlussfolgerung: Rolle netzdienlicher Elektrolyseure im zukünftigen Entgeltsystem

Schließlich ist auch die investive Planungsperspektive zu berücksichtigen. Viele Elektrolyseprojekte befinden sich derzeit in frühen Entwicklungsphasen und werden in den kommenden Jahren ihre finale Investitionsentscheidung treffen. Eine Übergangsstruktur im zukünftigen Entgeltsystem sollte deshalb so gestaltet sein, dass die verlässliche und langfristige Integration netzdienlicher Standortentscheidungen nicht gefährdet wird. Eine anreizkompatible Ausgestaltung neuer Entgeltkomponenten lässt sich in geordneten Übergangspfaden so implementieren, dass sowohl systemtechnische Ziele als auch die rechtliche und wirtschaftliche Planungssicherheit gewahrt bleiben.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Elektrolyseure in einem erneuerbaren Energiesystem zentrale netzdienliche Funktionen übernehmen können, sofern sie an geeigneten Netzstandorten integriert werden. Ihre Fähigkeit, regionale Erzeugungsüberschüsse aufzunehmen, Engpässe zu entschärfen und die langfristige Entwicklung des Netzausbaus positiv zu beeinflussen, ist fachlich und empirisch umfassend belegt. Die Weiterentwicklung der Netzentgeltsystematik im AgNeS-Prozess eröffnet die Möglichkeit, diese Effekte kostenreflexiv abzubilden und ein Entgeltsystem zu schaffen, das die systemtechnischen Eigenschaften dieser neuen Nutzergruppe angemessen berücksichtigt. Ein regulatorischer Rahmen, der netzdienliche Elektrolyseure differenziert behandelt, wird damit zu einem wichtigen Baustein für ein effizientes, resilientes und volkswirtschaftlich tragfähiges Energiesystem.

Freie und Hansestadt Hamburg

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
BUKEA: Amt für Energie

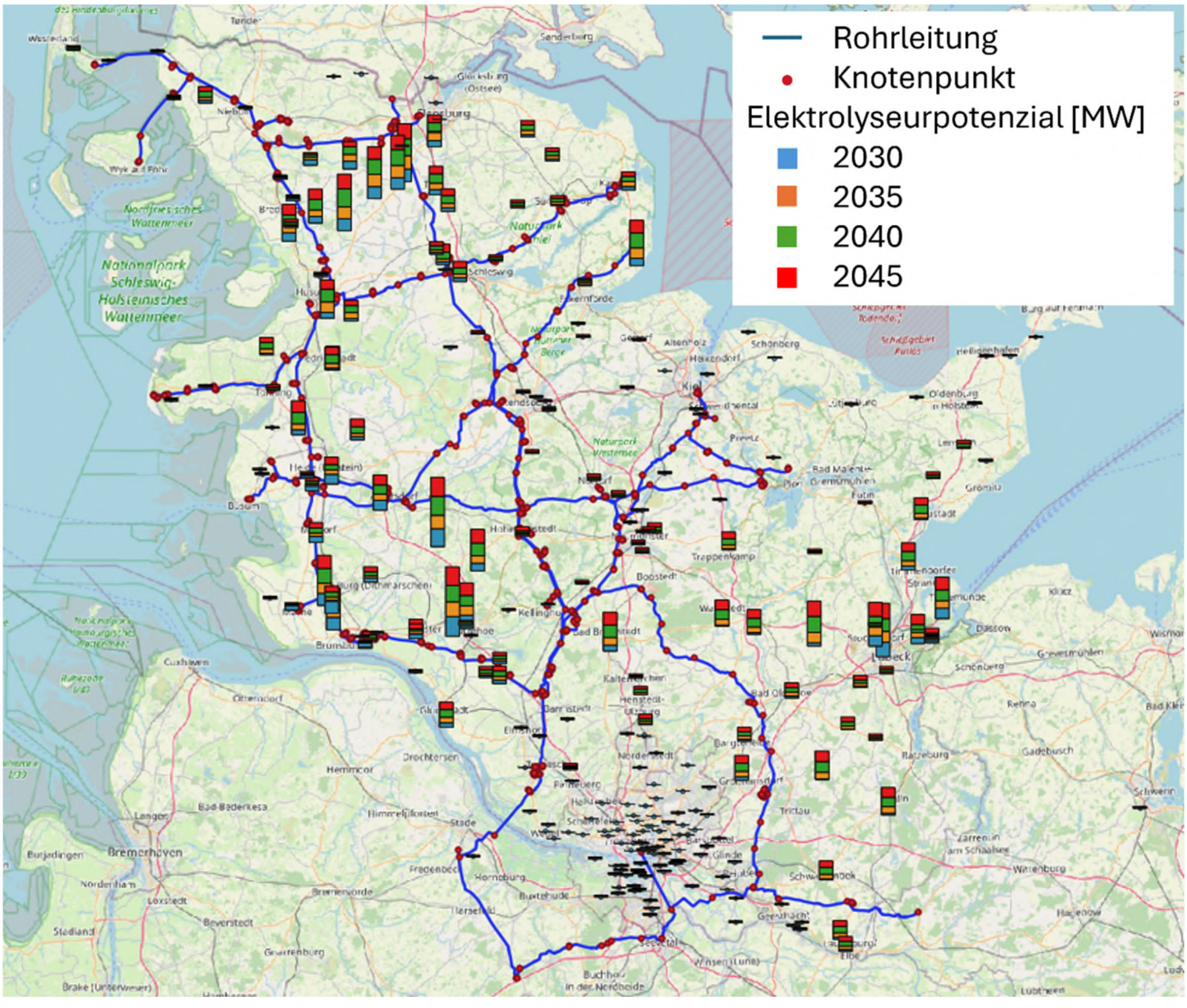
Behörde für Wirtschaft, Arbeit und Innovation
BWAI: Stabstelle Wasserstoffwirtschaft

Anlage

Vorläufiges Ergebnis aus dem Projekt Norddeutsches Reallabor: Netzdienliche Verortung von flexiblen Betriebsmitteln wie Elektrolyseuren

Methode/Vorgehen:

1. Bestimmung von Stromnetzknoten die sensitiv auf Überlastgebiete wirken
2. Platzierung virtueller H_2-Lasten an allen Knoten
3. Auswahl der Orte nach Pareo-Prinzip: ca. 80 % der H_2-Erzeugung findet an ca. 20 % der Standorte statt

Vorläufiges Ergebnis:

Auf Basis der im Forschungsprojekt entwickelten Annahmen zum Ausbau der Stromnetze und der Erzeugungs- und Verbrauchskapazitäten wurde die netzdienliche Platzierung von flexiblen Betriebsmitteln, v.a. Elektrolyseuren, für die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2045 abgeleitet. Folgende Abbildung zeigt die Verortung an Stromnetzknoten als Balken. Die Farben geben die ermittelte Dimensionierung der Elektrolyseanlagen für das jeweilige Szenariojahr an. Aufgrund der Annahmen bzgl. Ausbau von Erzeugungsanlagen und Stromnetz varriieren die Potenziale an den Netzknoten über die Szenarienjahre.