

MULTIFAKTORIELLE STANDORTANALYSE FÜR ELEKTROLYSEURE IN URBANEN RÄUMEN AM BEISPIEL DER STADT KREFELD

Lukas Saars, Marius Madsen, Jörg Meyer

Hochschule Niederrhein, SWK E² - Institut für Energietechnik und Energiemanagement,
Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld, Germany, +49 (0) 2151 822 – 6676, lukas.saars@hs-
niederrhein.de, www.hs-niederrhein.de/swk-e2

Kurzfassung: Wasserstoff wird zukünftig eine entscheidende Rolle spielen, da er als vielseitiger Energieträger fungiert. Er bietet sowohl in der Industrie als auch im Verkehrssektor eine emissionsfreie Alternative zu fossilen Energieträgern. Mit Wasserstoff kann der globale Klimawandel erfolgreich aufgehalten bzw. eingedämmt werden. Die vorliegende Veröffentlichung beschreibt die Entwicklung einer umfassenden multifaktoriellen Standortanalyse für Elektrolyseure zur Erzeugung von Wasserstoff in urbanen Räumen. Das übergeordnete Ziel ist die Entwicklung einer detaillierten Potentialkarte, welche die geeigneten Standorte für Elektrolyseure visualisiert. Dazu werden fundierte Kriterien definiert, um potenzielle Standorte identifizieren und bewerten zu können. Durch die Anwendung der entwickelten Kriterien sind auf dieser Karte Flächen markiert, auf denen Elektrolyseure mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht nur effizient arbeiten, sondern auch einen maximalen Nutzen für die lokale Energieinfrastruktur und Umwelt erzielen können.

Keywords: Elektrolyse, Standortanalyse, Wasserstoff

1 Einleitung

Die globale Energieversorgung steht vor der entscheidenden Phase der Transformation hin zur Klimaneutralität, die maßgeblich von der steigenden Bedeutung Erneuerbarer Energien geprägt ist [1]. Der zunehmende Druck, von fossilen Brennstoffen abzurücken und den Klimawandel einzudämmen, hat eine verstärkte Suche nach nachhaltigen und innovativen Alternativen ausgelöst [2]. In diesem Kontext erlangen Erneuerbare Energien, die aus natürlichen Quellen wie Sonne, Wind, Wasser und Biomasse gewonnen werden, eine immer zentralere Rolle. Die Nutzung Erneuerbarer Energien verspricht nicht nur eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen, sondern auch eine Diversifizierung der Energiequellen und somit eine erhöhte Versorgungssicherheit [3].

Trotz dieser positiven Perspektiven steht die Integration von Erneuerbaren Energien vor Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Volatilität im Energiemarkt [4]. Im Zuge der verstärkten Nutzung wetterabhängiger Energiequellen wie Wind und Sonne ergibt sich eine erhöhte Schwankungsbreite in der Erzeugung von elektrischer Energie. Dies führt zu einer wachsenden Unvorhersehbarkeit und Instabilität im Strommarkt, die die bestehenden Infrastrukturen und Geschäftsmodelle vor neue Herausforderungen stellt.

Wasserstoff gilt als vielversprechende Option, um den Herausforderungen der zunehmenden Volatilität im Energiemarkt zu begegnen und eine nachhaltige Energiezukunft zu gestalten [5].

Wasserstoff kann mit seiner guten Speicherbarkeit als Schlüsseltechnologie fungieren, um die Diskrepanzen zwischen Energieerzeugung und -nachfrage zu überbrücken [6].

1.1 Standortwahl für Grünstrom-Elektrolyseure

Der Energieträger Wasserstoff dient als Speichermedium und kann somit die Schwankungen in der Erzeugung von elektrischer Energie aus Wind und Sonne ausgleichen, was die Integration regenerativer Quellen in die Energieinfrastruktur erleichtert [6]. Somit liegt der Fokus im Energiesystem zunehmend auf dem grünen Wasserstoff, welcher durch die Elektrolyse von Wasser unter Einsatz von elektrischer Energie gewonnen werden kann.

Die Auswahl des geeigneten Standorts für einen Elektrolyseur nimmt eine zentrale Rolle in der effizienten Integration von Wasserstofftechnologien ein und trägt maßgeblich zum Erfolg und zur Wirtschaftlichkeit der Anlage bei [7]. Verschiedene Faktoren müssen sorgfältig berücksichtigt werden, um optimale Bedingungen für die Elektrolyse zu schaffen. Ein entscheidender Aspekt bei der Standortwahl ist die Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energiequellen, insbesondere Wind- und Solarenergie. Da Elektrolyseure häufig in Verbindung mit Erneuerbaren Energien betrieben werden, sollte der Standort über ausreichende und zuverlässige Wind- oder Sonnenressourcen verfügen. Dies gewährleistet eine kontinuierliche und kosteneffiziente Stromversorgung, was wiederum die nachhaltige Produktion von grünem Wasserstoff ermöglicht. Dabei muss jedoch dringend berücksichtigt werden, dass der Transport von Wasserstoff mit sehr hohen Kosten einher geht, sodass der Transport von elektrischer Energie, falls Stromnetze vorhanden und nicht überlastet sind, in der Regel deutlich günstiger ist [8]. Dennoch stellt die Nähe zu einer Erneuerbare-Energien-Anlage ein entscheidendes Kriterium bei der Standortauswahl für die Elektrolyse dar.

Darüber hinaus muss ebenfalls in die gesamtheitliche Betrachtung einfließen, dass die Kombination aus Elektrolyseur und Wasserstoffspeicher beträchtlichen Flächenbedarf aufweist [9]. Ein wesentlicher Grund für den Flächenbedarf ist die Notwendigkeit von Sicherheitsvorkehrungen bei der Lagerung von Wasserstoff. Wasserstoff ist ein leicht entzündliches Gas, was strenge Sicherheitsvorschriften und ausreichende Abstände zu potenziellen Gefahrenquellen erfordert. Die Sicherheitsmaßnahmen, wie spezielle Lagerbehälter und ausreichende Entlüftungseinrichtungen, tragen erheblich zur Erweiterung des Flächenbedarfs bei. Des Weiteren erfordert die Technologie zur Elektrolyse selbst Raum für die verschiedenen Komponenten wie Elektrolysezellen, Steuerelektronik und Kühlungssysteme. Die Schwierigkeit besteht somit auch darin, ausreichend große Flächen in geeigneten Gebieten zu finden, die gleichzeitig den technischen, wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Anforderungen entsprechen [9].

Die geografische Nähe zu potenziellen Abnehmern des Wasserstoffs ist ein weiterer entscheidender Faktor. Ein gut gewählter Standort minimiert Transportkosten und -verluste, was insbesondere bei großangelegten Wasserstoffprojekten von großer Bedeutung ist. Die Integration von Elektrolyseuren in Industriegebiete oder in der Nähe von Transportinfrastrukturen kann die Verteilung und Nutzung des produzierten Wasserstoffs effizient gestalten.

Die infrastrukturellen Voraussetzungen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle. Die Verfügbarkeit von Wasser, die Anbindung an das Stromnetz und gegebenenfalls bestehende Gasnetze sind

essenziell für den reibungslosen Betrieb eines Elektrolyseurs. Zudem sind Umweltaspekte wie geologische Stabilität und die Berücksichtigung von Natur- und Umweltschutzvorschriften bei der Standortwahl von Bedeutung.

Ein holistischer Ansatz, der die Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien, die Nähe zu Verbrauchern und die infrastrukturellen Anforderungen berücksichtigt, bildet die Grundlage für den erfolgreichen Einsatz von Elektrolyseuren als Schlüsseltechnologie im Wasserstoffsektor.

1.2 Problemstellung

Die Standortauswahl für einen Elektrolyseur gestaltet sich als äußerst anspruchsvolle Aufgabe, die von einer Vielzahl komplexer Faktoren beeinflusst wird. Eine der zentralen Herausforderungen liegt in der Notwendigkeit, verschiedene, oft konkurrierende Kriterien zu berücksichtigen. Ein entscheidendes Dilemma besteht darin, eine Balance zwischen der optimalen Nutzung Erneuerbarer Energiequellen, der Nähe zu potenziellen Wasserstoffabnehmern, der Einhaltung von Sicherheitsvorschriften und genehmigungsrechtlichen Anforderungen sowie den infrastrukturellen Anforderungen zu finden. Die Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien ist zwar essentiell für die Konvertierung von grünem Wasserstoff, aber diese Ressourcen sind geografisch ungleich verteilt. Standorte mit ausgezeichneten Wind- oder Sonnenverhältnissen sind nicht zwangsläufig in der Nähe von Ballungszentren oder Industriegebieten, was die Entscheidungsfindung kompliziert macht. Darüber hinaus muss auch das Flächenangebot ausreichend sein, Rahmenbedingungen zum Erhalt einer Genehmigung geschaffen werden und die Nähe zu Strom- und Gasnetzen berücksichtigt werden.

Dieses Spannungsfeld erfordert eine multifaktorielle Standortanalyse für Elektrolyseure in urbanen Räumen. Insgesamt stellen diese Herausforderungen die Standortauswahl für Elektrolyseure vor eine komplexe Aufgabe, die eine ganzheitliche Betrachtung erfordert, um eine nachhaltige und effiziente Integration dieser Schlüsseltechnologie in den Wasserstoffsektor zu gewährleisten. In der vorliegenden Veröffentlichung wird die unten beschriebene Methodik am Beispiel der Stadt Krefeld angewendet und die erzeugten Ergebnisse für die Stadt Krefeld interpretiert. Die Stadt Krefeld liegt im westlichen Teil Deutschlands im Bundesland Nordrhein-Westfalen. Mit einer Bevölkerung von rund 220.000 Menschen präsentiert sich Krefeld als kleine Großstadt [10].

2 Methodik

In einem ersten Schritt werden die wesentlichen Bewertungskriterien im Rahmen der Standortanalyse und der Identifizierung geeigneter Flächen für die Elektrolyse definiert. Daraus ergeben sich Anforderungen für die auf der zu entwickelten Potentialkarte dargestellten Flächen. In einem zweiten Schritt werden diejenigen Flächen, welche die vorher definierten Kriterien und Anforderungen erfüllen, auf der Potentialkarte farbig dargestellt. Somit ergibt sich für jedes vorher definierte Bewertungskriterium eine Potentialkarte. Die entwickelten Potentialkarten werden dann übereinandergelegt, um diejenigen Flächen farbig präsentieren zu können, die alle Kriterien und Anforderungen erfüllen. In einem letzten Schritt wird am Beispiel der Stadt Krefeld abgeschätzt, wie groß die Elektrolyseleistung theoretisch

sein könnte, wenn auf allen Flächen in Krefeld, welche die vorher festgelegten Kriterien und Anforderungen erfüllen, Elektrolyseure installiert werden.

Definition der Bewertungskriterien

Zu Beginn werden Kriterien definiert, die für die Bewertung eines Standorts zur Installation eines Elektrolyseurs entscheidend sind: (1) Nähe zu Erneuerbare-Energien-Anlagen (EE-Anlagen), (2) Nähe zu potentiellen Abnehmern (3) Flächenangebot, (4) Abstand zu Schutzobjekten, (5) Nähe zu Gashochdrucknetzen und (6) Nähe zu Hochspannungsnetzen. Die Kriterien ergeben sich aus den oben beschriebenen Herausforderungen im Rahmen der Standortauswahl für einen Grünstrom-Elektrolyseur.

Ziel ist es, für die Installation von Elektrolyseuren geeignete Flächen auf einer Potentialkarte spezifisch für die definierten Kriterien zu kennzeichnen. Daraus werden Schnittflächen gebildet, welche für die Installation von Elektrolyseuren mit hoher Wahrscheinlichkeit geeignet sind. Für die Anwendung der Methodik werden die folgenden Annahmen definiert.

Tabelle 1: Kriterien zur Standortbewertung für Elektrolyseure und die dazu getroffenen Annahmen

Kriterium	Getroffene Annahme
Nähe zu EE-Anlagen	Die Standorte für EE-Anlagen werden qualitativ berücksichtigt und auf der Potentialkarte eingezeichnet [11].
Nähe zu potentiellen Abnehmern	Die Standorte für Industrie und Gewerbe werden qualitativ berücksichtigt und auf der Potentialkarte eingezeichnet [12].
Flächenangebot	Elektrolyseure und Wasserstoffspeicher weisen einen hohen Flächenbedarf auf. Auf einem Flurstück wird mindestens 300 m ² (entspricht ungefähr dem Flächenbedarf eines 5 MW Elektrolyseurs inkl. Wasserstoffspeicher [13]) freie Fläche benötigt (Straßen, Gebäude, etc. ausgeschlossen) [12].
Abstand zu Schutzobjekten	Genehmigungsverfahren von Elektrolyseuren und Wasserstoffspeicher sind komplex, Abstände zu Schutzobjekten sind Voraussetzung. Ein Abstand von 35 m zu Schutzobjekten wird angenommen.
Nähe zu Gashochdrucknetzen	Wasserstoff weist eine niedrige volumenbezogene Dichte auf, sodass die Nähe zu einem Gashochdrucknetz relevant ist. Eine maximale Entfernung von 500 m zu einem Gashochdrucknetz wird angenommen.
Nähe zu Hochspannungsnetzen	Eine maximale Entfernung von 500 m zu einem Hochspannungsnetz wird angenommen.

Entwicklung der Potentialkarten

Mit den definierten Kriterien werden Potentialkarten erzeugt, die dann übereinandergelegt werden, um die Schnittflächen zu bilden. Die eingezeichnete Fläche (in blau) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit für die Installation eines Elektrolyseurs geeignet.

3 Ergebnisse

In dem folgenden Kapitel werden zunächst die Potentialkarten für jedes definierte Bewertungskriterium dargestellt und beschrieben. Im Anschluss daran wird die ganzheitliche Potentialkarte dargestellt, welche alle definierten Kriterien berücksichtigt, um auf dieser Grundlage das theoretisch mögliche Elektrolysepotential in Krefeld zu ermitteln.

3.1 Potentialkarten der definierten Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien wurden bereits in Kapitel 2 beschrieben. Die Ergebnisse zu den Potentialkarten werden im Folgenden dargestellt.

Bewertungskriterium 1: Nähe zu EE-Anlagen

Die Literatur zeigt, dass Wasserstoffpotentialatlanten in den meisten Fällen auf dem Potential für Erneuerbare Energien in einer Region basieren [14]. In Krefeld gibt es lediglich einige Biomasseanlagen und eine Handvoll Windenergieanlagen im Westen. Die folgende Abbildung zeigt deutlich, dass die Entwicklung eines Wasserstoffpotentialatlas auf Basis der Erneuerbaren Energien in Krefeld nicht sinnvoll ist. Die Nähe zu EE-Anlagen wird daher nur qualitativ weiterhin berücksichtigt.

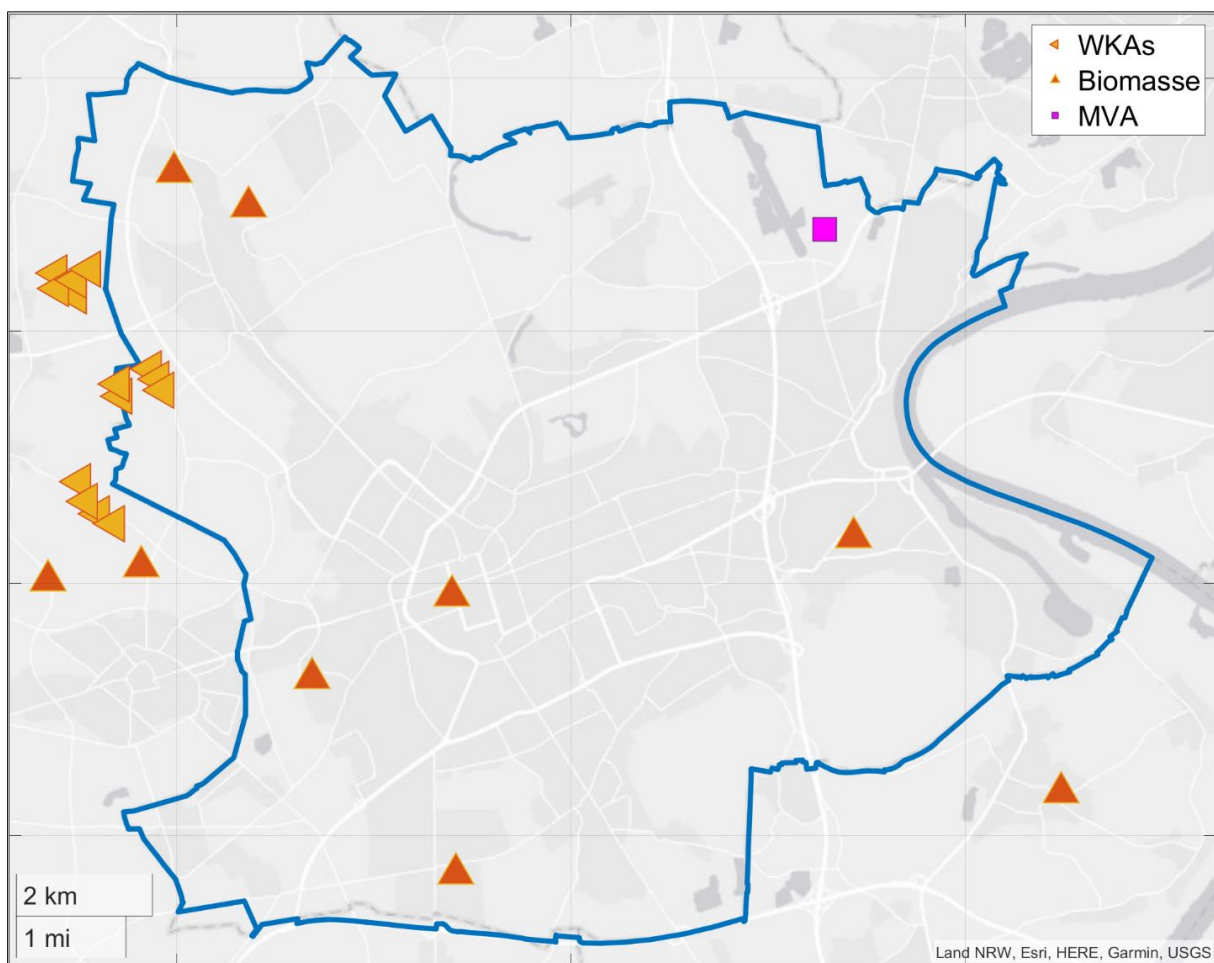


Abbildung 1: Standorte von EE-Anlagen in Krefeld (Eigene Darstellung) [11]

Bewertungskriterium 2: Nähe zu potentiellen Abnehmern

In Krefeld gibt es vor allem im Süden und im Osten Industrie und Gewerbe. Dabei ist vor allem die Stahl- und Chemieindustrie vertreten. Der Ausbau von Industrie und Gewerbe nimmt im Westen von Krefeld aber stetig weiter zu, sodass auch im Stadtteil Hüls weitere potentielle Abnehmer für Wasserstoff entstehen. Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung von Industrie und Gewerbe in Krefeld. Die Nähe zu potentiellen Abnehmern wird ebenfalls nur qualitativ weiterhin berücksichtigt.

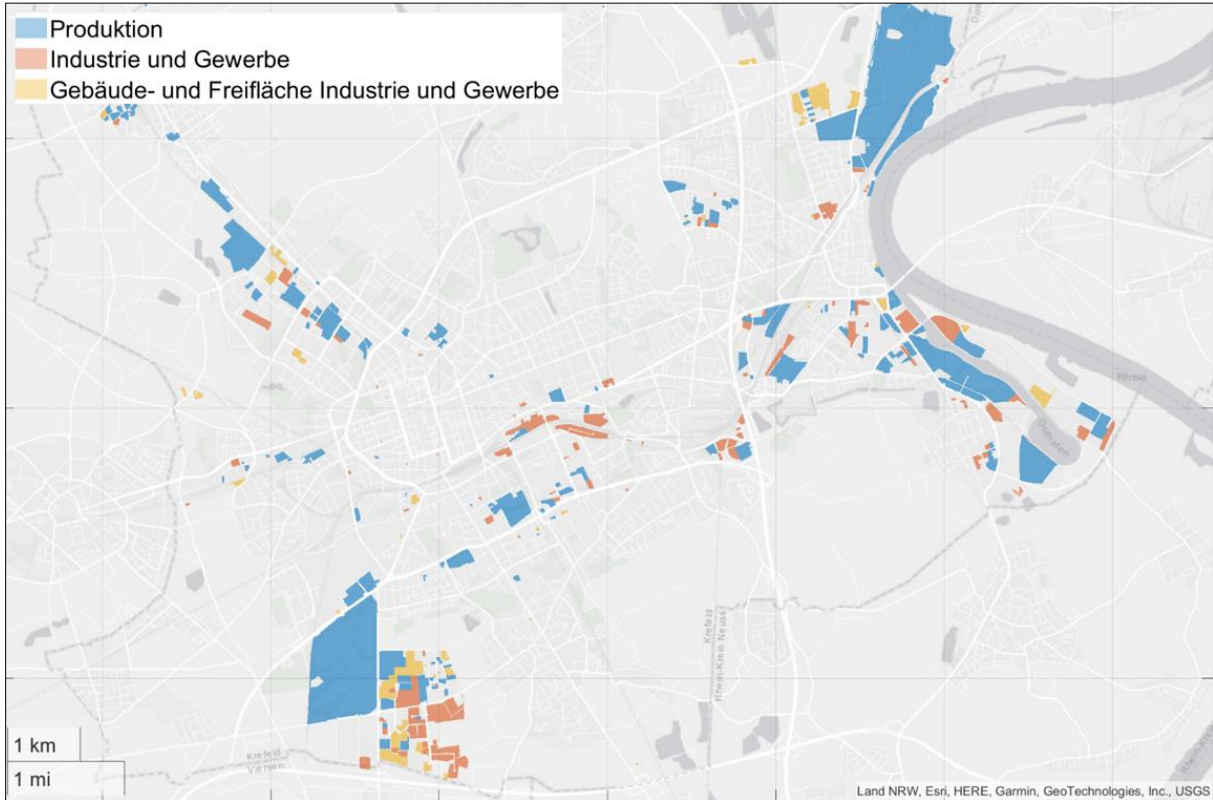


Abbildung 2: Industrie und Gewerbe in Krefeld (Eigene Darstellung) [12]

Bewertungskriterium 3: Flächenangebot

Wie oben bereits beschrieben, weisen Elektrolyseure und Wasserstoffspeicher insbesondere in Kombination einen hohen Flächenbedarf auf. Die getroffene Annahme ist, dass auf einem Flurstück mindestens 300 m² (entspricht ungefähr dem Flächenbedarf eines 5 MW Elektrolyseurs inkl. Wasserstoffspeicher) freie Fläche benötigt wird (Straßen, Gebäude, etc. ausgeschlossen). Die in der folgenden Abbildung in blau eingefärbten Flächen verdeutlichen, dass es in Krefeld ein relevantes Flächenangebot gibt.

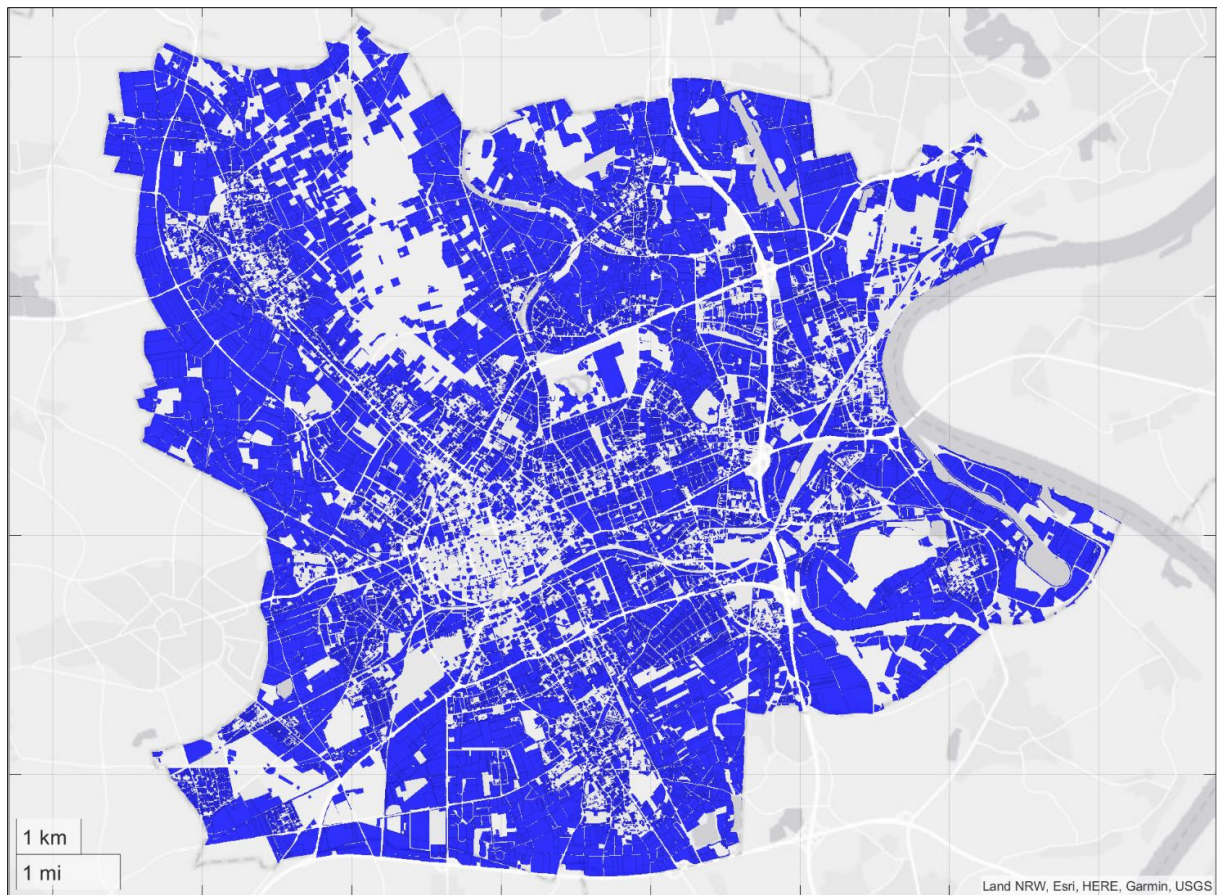


Abbildung 3: Flurstücke mit mindestens 300 m² freier Fläche in Krefeld

Bewertungskriterium 4: Abstand zu Schutzobjekten

Die Genehmigungsverfahren für Elektrolyseure und Wasserstoffspeicher sind in Deutschland sehr komplex und umfangreich [15]. Es kann keine pauschale Aussage über den notwendigen Abstand zu Schutzobjekten getroffen werden. In den Genehmigungsverfahren aus der Praxis sind Abstände zu Schutzobjekten aber zwingende Voraussetzung. An der Stelle wurde die Annahmen getroffen, dass ein Abstand von 35 m zu Schutzobjekten für die Erteilung einer Genehmigung Voraussetzung ist. Im Rahmen der Genehmigungsverfahren wird jedoch im Einzelfall über den notwendigen Abstand entschieden. Insbesondere die Größe des Elektrolyseurs und des Wasserstoffspeichers und damit verbunden die Menge an gelagertem Wasserstoff sind entscheidend für die Ermittlung des notwendigen Abstands zu schutzbedürftigen Dritten. Die in der folgenden Abbildung in blau eingefärbten Flächen verdeutlichen, dass es in Krefeld viele Standorte gibt, an denen der angenommene Abstand von 35 Metern umsetzbar ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zur Vereinfachung des Modells die Stadtgrenzen von Krefeld als Modellgrenzen gewählt wurden. Die benachbarten Gebiete wurden dementsprechend nicht berücksichtigt.

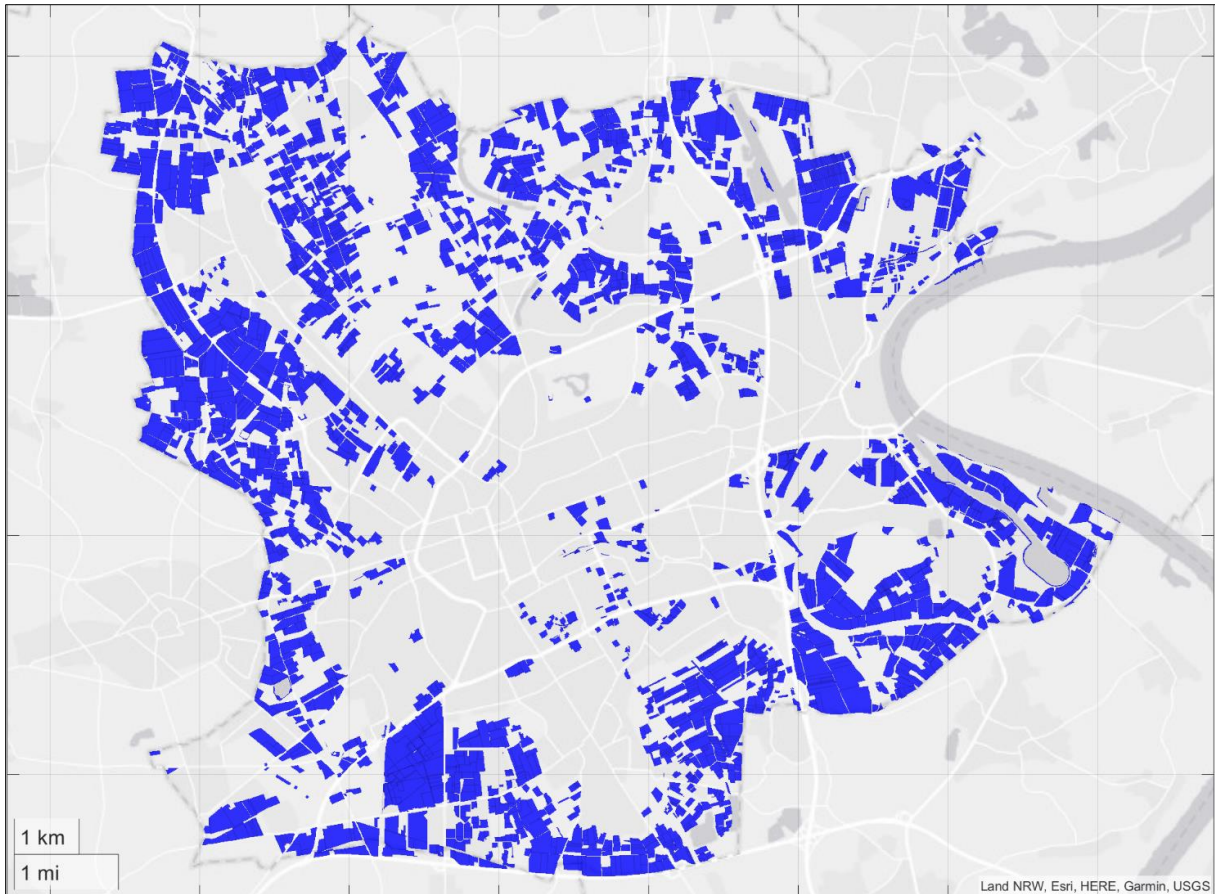


Abbildung 4: Flurstücke in Krefeld mit mindestens 35 m Abstand zu Schutzobjekten möglich

Bewertungskriterium 5: Nähe zu Gashochdrucknetzen

Insbesondere aufgrund der geringen volumenbezogenen Dichte von Wasserstoff ist die Nähe zu einem Gashochdrucknetz sehr relevant, um eine große Energiemenge transportieren zu können. Im Rahmen der Standortanalyse wurde eine maximale Entfernung von 500 m zu einem Gashochdrucknetz vorausgesetzt. Das Gashochdrucknetz in Krefeld ist flächendeckend ausgebaut, viele Standorte erfüllen die definierte Nebenbedingung [16]. Die Daten zum Gashochdrucknetz sind sensibel und wurden vom lokalen Netzbetreiber zur Verfügung gestellt, sodass die Potentialkarte für das Bewertungskriterium 4 zwar vorliegt, aber nicht dargestellt werden kann. Die Ergebnisse konnten jedoch in der finalen Potentialkarte berücksichtigt werden.

Bewertungskriterium 6: Nähe zu Hochspannungsnetzen

Die Nähe zu einem Hochspannungsnetz ist ebenfalls relevant und fließt in das Bewertungsmodell ein. Es wurde die Annahme getroffen, dass die maximale Entfernung zu einem Hochspannungsnetz bei 500 m liegen darf. Das Hochspannungsnetz in Krefeld ist vor allem im Westen und Osten ausgebaut, diese Tatsache spiegelt sich auch in der Potentialkarte wider [16]. Die Daten zum Hochspannungsnetz sind sensibel und wurden vom lokalen Netzbetreiber zur Verfügung gestellt, sodass die Potentialkarte für das Bewertungskriterium 5 vorliegt, aber ebenfalls nicht dargestellt werden kann. Die Ergebnisse konnten jedoch in der finalen Potentialkarte berücksichtigt werden.

3.2 Ganzheitliche Potentialkarte

Die ermittelten Potentialkarten der Bewertungskriterien werden im nächsten Schritt übereinandergelegt, um die ganzheitliche Potentialkarte am Beispiel der Stadt Krefeld zu erhalten. Die folgende Abbildung stellt die ganzheitliche Potentialkarte dar.

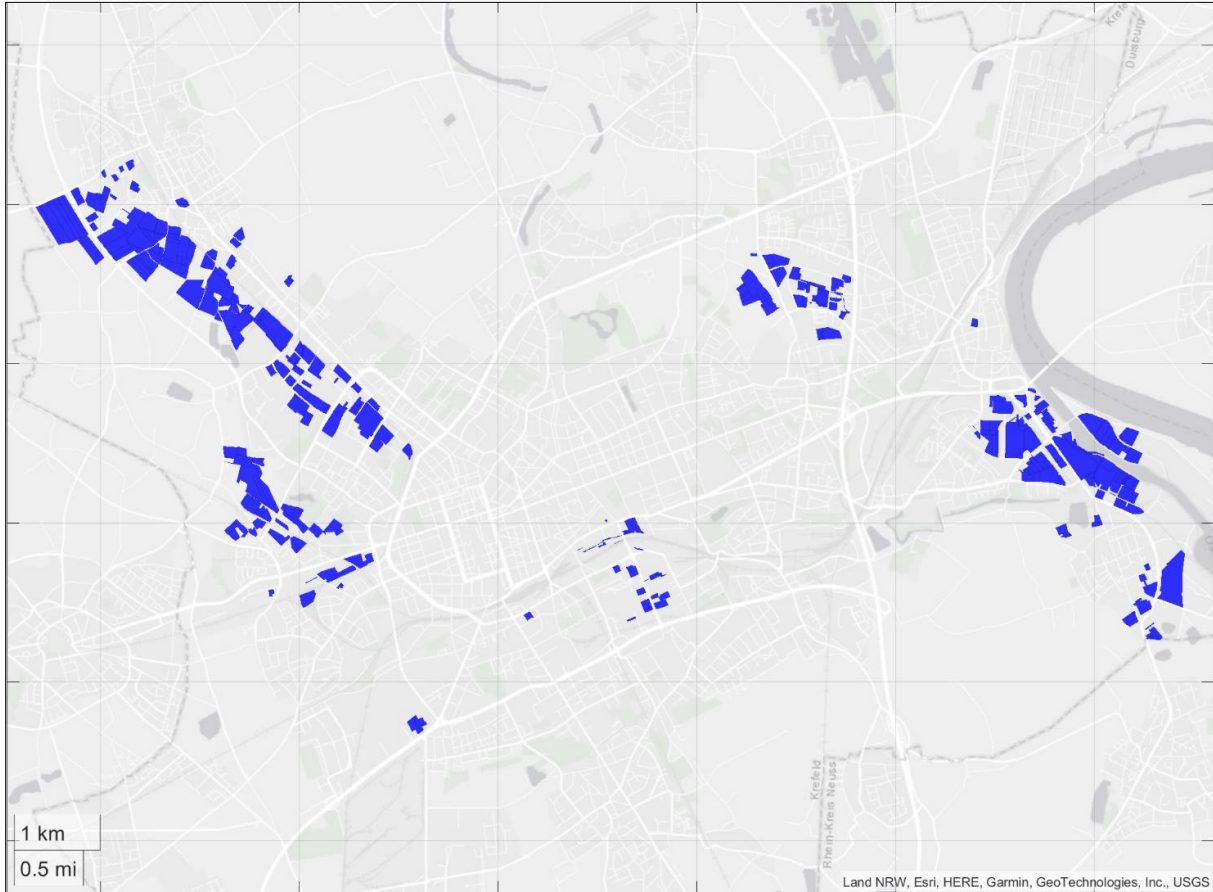


Abbildung 5: Ganzheitliche Potentialkarte unter Berücksichtigung aller Bewertungskriterien in Krefeld

4 Schlussfolgerung und Ausblick für die Stadt Krefeld

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass priorisiert im Westen von Krefeld Elektrolyseure installiert werden sollten, da diese auch eine räumliche Nähe zu EE-Anlagen aufweisen. Im Westen von Krefeld können alle Kriterien erfüllt werden. Die räumliche Nähe zu EE-Anlagen, zu potentiellen Wasserstoffabnehmern, zu Gashochdrucknetze und zu Hochspannungsnetzen ist gegeben. Darüber hinaus ist das Flächenangebot im Westen von Krefeld ausreichend und Abstände zu schutzbedürftigen Dritten können auf vielen Flurstücken eingehalten werden.

Unter der Annahme, dass die zu installierenden Elektrolyseure nicht größer als 10 MW und alle Flächen in Krefeld, welche die festgelegten Voraussetzungen/Kriterien erfüllen, berücksichtigt werden, können ca. 374 Elektrolyseure mit einer installierten Leistung von 3,72 GW in Krefeld installiert werden. Bei angenommenen Volllaststunden von 4.000 h/a können also ca. 9 TWh Wasserstoff konvertiert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mit der Methodik zunächst einmal lediglich geprüft wird, ob die Flächen sich generell für die Installation von Elektrolyseuren eignen.

Die Methodik, welche in der vorliegenden Veröffentlichung angewendet wurde, bietet eine sehr gute Übertragbarkeit auf weitere Klein- und Großstädte sowie Regionen in Deutschland, um den Ausbau der Wasserstoffherzeugungsinfrastrukturen an den richtigen Standorten vorantreiben zu können.

Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt, „www.umweltbundesamt.de,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>. [Zugriff am 14.12.2023].
- [2] B. Marbach, Klimawandel: Grundlagen und Lösungen, München: BoD - Books on Demand, 2022.
- [3] B. Breitschopf und A. Schlotz, „Wirkung erneuerbarer Energien auf die Versorgungssicherheit,“ Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe, 2014.
- [4] P. Lehmann, E. Gawel, K. Korte, M. Reeg und D. Schober, „Sichere Stromversorgung bei hohen Anteilen volatiler erneuerbarer Energien,“ ZBW – Leibniz-Informationzentrum Wirtschaft, 2016.
- [5] M. Klell, A. Trattner und H. Steinmüller, „WASSERSTOFFINITIATIVE – VORZEIGEREGION AUSTRIA – POWER & GAS,“ 14. Symposium Energieinnovation, Graz/Austria, 2016.
- [6] F. Ausfelder und I. Kundler, „Wasserstoff im Energiesystem der Zukunft,“ Wiley Online Library, 2023.
- [7] D. Schulz, Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern, Hamburg, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [8] H. Frey, K. Golze, M. Hirscher und M. Felderhoff, Energieträger Wasserstoff, Esslingen, Berlin, Stuttgart, Essen: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023.
- [9] A. Schalling, O. Arnhold, K. Helfenbein, T. Röpcke und A. Backhaus, „Netzdienliche Wasserstoffherzeugung,“ Reiner Lemoine Institut, Berlin, 2022.
- [10] S. Krefeld, „www.krefeld.de,“ Stadt Krefeld, [Online]. Available: <https://www.krefeld.de/>.
- [11] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, „energieatlas.nrw.de,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.energieatlas.nrw.de/site/planungskarten/wind>.
- [12] K. Krefeld, „katasteramt.info,“ [Online]. Available: <https://katasteramt.info/katasteramt-krefeld/>.
- [13] E. Mainz, „energiepark-mainz.de,“ [Online]. Available: <https://www.energiepark-mainz.de/wissen/verfahren/>.

- [14] Bundesministeriums für Bildung und Forschung, „www.h2atlas.de,“ Forschungszentrum Jülich, [Online]. Available: <https://www.h2atlas.de/de/>.
- [15] M. Koralewicz, J. Glandien, J. Hüttenrauch, A. Wehling, B. Fricke und F. Künkel, „Genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Power-to-Gas-Anlagen,“ Bergische Universität Wuppertal (BUW), Wuppertal, 2020.
- [16] Stadtwerke Krefeld (NGN Netzgesellschaft Niederrhein mbH), Krefeld, 2023.