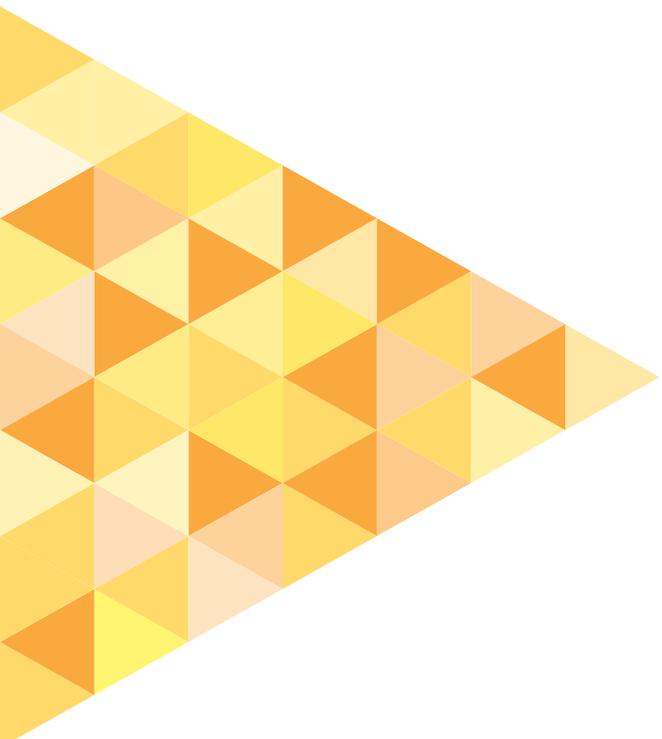


Johanna Zenk | Linus Ronsiek | Alexander Christian Schur |
Jonas Hupp | Christian Schneemann | Anke Mönning |
Jan Philipp Schroer

Exportpotenziale von Wasserstofftechnologien



BIBB Discussion Paper

Ein Gemeinschaftsprojekt von



Zitiervorschlag:

Zenk, Johanna; Ronsiek, Linus; Schur, Alexander Christian;
Hupp, Jonas; Schneemann, Christian; Mönig, Anke; Schroer,
Jan Philipp: Exportpotenziale von Wasserstofftechnologien.
Version 1.0 Bonn, 2023. Online: [https://res.bibb.de/vet-
repository_780966](https://res.bibb.de/vet-repository_780966)



© Bundesinstitut für Berufsbildung, 2023

Version 1.0
Januar 2023

Herausgeber

Bundesinstitut für Berufsbildung
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn
Internet: www.vet-repository.info
E-Mail: repository@bibb.de

CC Lizenz

Der Inhalt dieses Werkes steht unter Creative-Commons-Lizenz
(Lizenztyp: Namensnennung – Keine kommerzielle Nutzung –
Keine Bearbeitung – 4.0 International).

Weitere Informationen finden sie im Internet auf unserer
Creative-Commons-Infoseite

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Diese Netzpublikation wurde bei der Deutschen
Nationalbibliothek angemeldet und archiviert:
urn:nbn:de:0035-vetrepository-780966-1

Exportpotenziale von Wasserstofftechnologien

Johanna Zenk¹, Linus Ronsiek², Alexander Christian Schur³, Jonas Hupp¹, Christian Schneemann¹, Anke Mönning², Jan Philipp Schroer³

Abstract:

Das vorliegende Diskussionspapier untersucht, welche Exportpotenziale sich für Elektrolyseure und Brennstoffzellen für Deutschland im Zuge eines globalen Wasserstoffhochlaufs ergeben. Dazu wurden - bis Oktober 2022 veröffentlichte - nationale Wasserstoffstrategien, Roadmaps, Presseartikel oder Projektberichte für 55 Länder analysiert. Ziel der Recherche ist, mögliche Exportmärkte für Wasserstofftechnologien über die Produktionsziele identifizieren zu können. Zum anderen können durch diese Betrachtung Exportkonkurrenten ausgemacht werden. Dies ist essentiell, um den dynamischen Markthochlauf der globalen Wasserstoffwirtschaft mit seinen Akteuren besser abschätzen zu können.

Für Deutschland ergeben sich die größten Exportpotenziale im Bereich der Wasserstofftechnologien bei Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnologien. Dabei zeigt sich, dass neben bereits gut erschlossenen Exportmärkten für traditionelle Maschinen und Anlagen insbesondere auch solche mit bisher schwachen Handelsbeziehungen aber einer potenziell hohen Nachfrage nach Wasserstofftechnologien erschlossen werden sollten. Dies nicht zuletzt, um das Abhängigkeitsrisiko für die Exportwirtschaft zu minimieren und Absatzmärkte zu diversifizieren.

¹ Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung, Forschungsbereich „Prognosen und gesamtwirtschaftliche Analysen“.

² Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH, Bereich „Wirtschaft und Soziales“.

³ Bundesinstitut für Berufsbildung, Arbeitsbereich 1.2, „Qualifikation, berufliche Integration, Erwerbstätigkeit“.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abkürzungsverzeichnis..... | 3 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 4 |
| Tabellenverzeichnis..... | 4 |
| 1 Einleitung..... | 5 |
| 2 Exportpotenziale von Wasserstofftechnologien..... | 6 |
| 2.1 Wasserstoffproduktion..... | 6 |
| 2.2 Wasserstoffanwendung..... | 9 |
| 3 Exportmärkte..... | 11 |
| 4 Exportkonkurrenz..... | 14 |
| 4.1 Elektrolyseurhersteller..... | 14 |
| 4.2 Brennstoffzellenproduktion..... | 16 |
| 5 SWOT Analyse..... | 18 |
| 6 Fazit..... | 22 |
| 7 Literaturverzeichnis..... | 23 |
| 8 Anhang..... | 31 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|--|
| AEL | Alkalische Elektrolyse |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (bis 12/2021; jetzt: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)) |
| CCS | Carbon Capture and Storage (Abscheidung und Speicherung von CO ₂) |
| CCU | Carbon Capture and Utilization (Abscheidung und Verwendung von CO ₂) |
| CO ₂ | Kohlendioxid |
| GW | Gigawatt |
| IPCEI | Important Project of Common European Interest |
| kg | Kilogramm |
| KMU | Kleine und mittlere Unternehmen |
| kWh | Kilowattstunden |
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung |
| MW | Megawatt |
| NWS | Nationale Wasserstoffstrategie (2020) |
| PEM | Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| Power-to-X | Verfahren zur Umwandlung von klimafreundlichem Strom in chemische Energieträger, strombasierte Kraftstoffe oder Rohstoffe für die Chemieindustrie |
| PtX | Power-to-X |
| PtX Atlas | Fraunhofer IEE Global PtX Atlas |
| TWh | Terawattstunden |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UK | United Kingdom (Vereinigtes Königreich) |
| USA | United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika) |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Wasserstofftechnologien entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff | 6 |
| Abbildung 2: Monatlicher Exportwert Galvanotechnik- und Elektrolysegeräte | 8 |
| Abbildung 3: Wert deutscher Maschinen- und Elektrotechnikexporte und geplante Wasserstoffproduktion in verschiedenen Ländern | 12 |
| Abbildung 4: Anzahl der Elektrolyseurhersteller nach Land (Firmensitz) | 15 |
| Abbildung 5: Top 20 Firmen und Forschungseinrichtungen nach Land (Firmensitz), gemessen an erteilten Patenten im Bereich Brennstoffzellen | 18 |
| Abbildung 6: Platzierung potenzieller Exportdestinationen und Referenzländer im Index „Political Stability and Absence of Violence/Terrorism“ der Weltbank 2021 | 38 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: SWOT-Matrix für den Export von Wasserstofftechnologien | 19 |
| Tabelle 2: Übersicht über geplante Produktionskapazitäten nach Land mit Quellenangabe | 31 |
| Tabelle 3: Übersicht über Elektrolyseurhersteller nach Firmensitz und Produktionsstätten mit Quellenangabe | 35 |

1 Einleitung

Wasserstoff stellt einen vielversprechenden Energieträger der Zukunft dar. Um ihn klimafreundlicher zu produzieren, werden alternative Technologien benötigt. Nicht nur Deutschland plant einen Markthochlauf für die Produktion und Nutzung von klimafreundlichem Wasserstoff, auch andere Länder haben entsprechende Wasserstoffstrategien und Roadmaps erstellt. Während zu erwarten ist, dass Deutschland einen überwiegenden Teil seines Wasserstoffbedarfs aus anderen Ländern importieren muss (vgl. MÖNNIG u. a. 2022; RONSIEK u. a. 2022) könnten Wasserstofftechnologien einen Zukunftsmarkt für die deutsche Wirtschaft darstellen (vgl. BMWi 2020).

Deutschland zählt heute zu den drei größten Exportnationen. Der Anteil deutscher Warenexporte betrug 2021 rund sieben Prozent aller weltweiten Ausfuhren (vgl. UNCTAD 2022). Bei rund einem Drittel der deutschen Warenexporte handelt es sich um Maschinen, Apparate, mechanische Geräte und elektrotechnische Erzeugnisse (vgl. DESTATIS 2022a). Auch im Bereich von Wasserstofftechnologien, wie Elektrolyseanlagen, hält Deutschland aktuell eine Technologieführerschaft inne. Deutschen Anlagenbauern wird ein Marktanteil von zehn Prozent beim Export von Elektrolyseuren zugesprochen (vgl. BMWK 2022c).

Der Außenhandel hat eine große Hebelwirkung auf die Wirtschaft und den Arbeitsmarkt in Deutschland. Dies wird im Rahmen einer Szenario- und Sensitivitätsanalyse in ZENK u. a. (2023, im Erscheinen) auch für eine Wasserstoffwirtschaft dargelegt. Im dafür modellierten Wasserstoffszenario wird ein teilweiser Umstieg Deutschlands auf die stoffliche und energetische Nutzung von grünem Wasserstoff abgebildet und dabei explizit die Sicherstellung der Versorgung mit grünem Wasserstoff berücksichtigt. Die daraus resultierenden Ergebnisse zeigen, dass ein zehn Prozentpunkte höherer Marktanteil an den globalen Elektrolyseurexporten das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt bis zum Jahr 2030 um 0,3 Prozent und die Anzahl an Erwerbstätigen um 0,01 Prozent erhöhen kann. Dieser Effekt ist deutlich stärker als eine Erhöhung der inländischen Kapazitäten zur Herstellung von Wasserstoff (vgl. ZENK u. a. 2023, im Erscheinen).

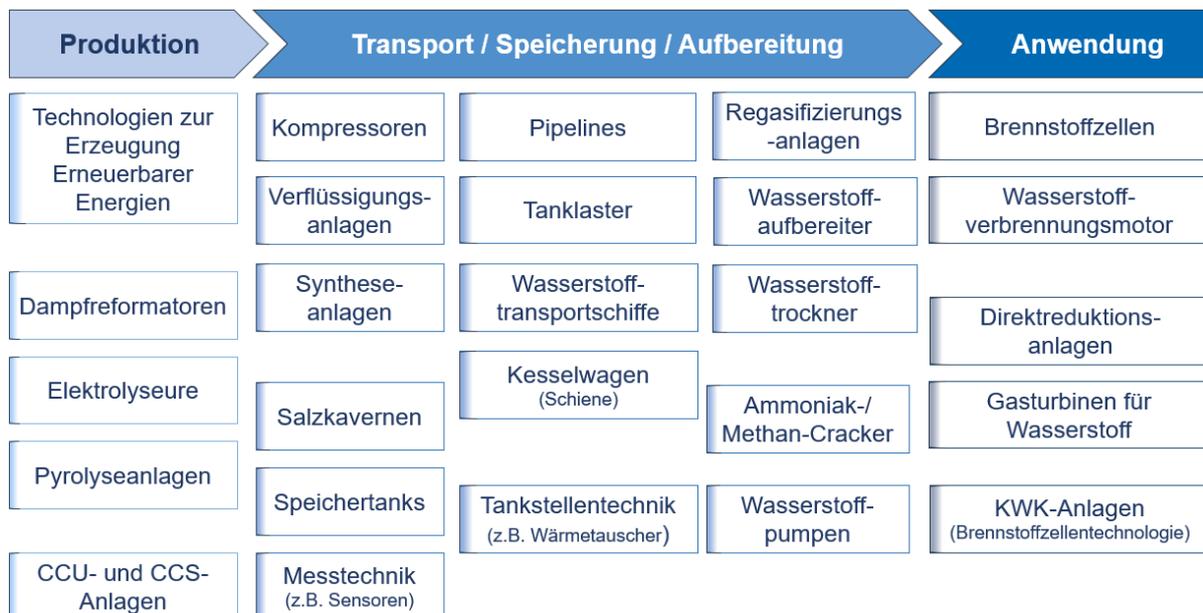
Durch die Energiekrise, welche durch den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine und die damit verbundenen Sanktionen ausgelöst wurde, hat die geplante Nachfrage nach Wasserstoff weltweit zugenommen und der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft an Dynamik gewonnen (vgl. IEA 2022b). Zudem wird die ökologische Transformation und die Dekarbonisierung der Wirtschaft die Nachfrage nach Wasserstoff weiter erhöhen. In neuen Geschäftsmodellen und Innovationen auf den Feldern der Energiewende bietet sich deshalb Potenzial, das über die graduelle Entwicklung der fossilen Wirtschaft hinausgeht (vgl. WEBER 2022). Das vorliegende Diskussionspapier untersucht, welche Exportpotenziale sich für Elektrolyseure und Brennstoffzellen für Deutschland im Zuge eines globalen

Wasserstoffhochlaufs ergeben. Insbesondere wird ein Blick auf potenzielle Handelspartner als auch Exportkonkurrenten geworfen und neben den Potenzialen auch mögliche Risiken aufgezeigt.

2 Exportpotenziale von Wasserstofftechnologien

Entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff werden, von der Produktion über den Transport, die Speicherung und Aufbereitung bis hin zur Anwendung, unterschiedliche Technologien benötigt. Diese sind ein Schlüssel zur Realisierung des Potenzials von Wasserstoff bei der Transformation zu einer CO₂-neutralen Wirtschaft. Gleichzeitig bieten sie Chancen für industrielle Wertschöpfung und die Erschließung neuer Exportmärkte (vgl. HARST u. a. 2022). Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt verschiedener Wasserstofftechnologien entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff.

Abbildung 1: Wasserstofftechnologien entlang der Wertschöpfungskette Wasserstoff



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an LANGEFELD u. a. (2022).

Im Folgenden werden einzelne Technologien kurz vorgestellt und deren Exportpotenzial erörtert. Der Fokus liegt dabei auf den Technologien zur Produktion und zur Anwendung von Wasserstoff.

2.1 Wasserstoffproduktion

Die Dampfreformation ist, auch aus Kostengründen, das am weitesten verbreitete Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff. Dabei reagieren Wasserdampf und Kohlenwasserstoffe – meist wird Erdgas verwendet - bei hohen Temperaturen zu Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid (vgl. MEGIA u. a. 2021). Bei diesem Prozess treten Schwefel- und Kohlenstoffverbindungen als Nebenprodukte auf. Wasserstoffaufbereiter filtern diese Nebenprodukte aus dem Endprodukt Wasserstoff und erhöhen dadurch dessen Reinheitsgrad

(vgl. WANG/LIU/ZHANG 2022). Der so erzeugte Wasserstoff wird als „grauer Wasserstoff“ bezeichnet. Durch die Verwendung von Carbon Capture and Storage (CCS) Technologien könnte der Ausstoß von Treibhausgasen bei dieser Produktionsform reduziert werden. Das freigesetzte CO₂ würde dabei abgetrennt und unterirdisch gespeichert. Dieses Verfahren würde für die Erzeugung von sogenanntem „blauem Wasserstoff“ verwendet (vgl. ANTONINI u. a. 2020; METZ u. a. 2022).

WIETSCHEL u. a. (2022) sehen die chemische Industrie in Deutschland im Bereich der CCS-Technologie als gut aufgestellt. Somit könnten sich auch Exportmöglichkeiten ergeben. Demgegenüber steht allerdings, dass weitreichende Regulierungen und auch eine mangelnde Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung den Einsatz dieser Technologie in Deutschland selbst erschweren. Aufgrund möglicher negativer Umweltfolgen durch Leckagen im Untergrund, ist laut UBA (2022) außerdem ein umfangreiches Monitoring eine Voraussetzung für den Einsatz der CCS-Technologie. Hier herrsche noch großer Forschungsbedarf. Des Weiteren steht in den Wasserstoffstrategien anderer Länder vorwiegend grüner Wasserstoff im Fokus (vgl. Anhang, Tabelle 2). Bei der Produktion von grünem Wasserstoff werden CCS-Technologien nicht benötigt, da im Zuge der Produktion keine Kohlenstoffemissionen entstehen. Dies schmälert das Exportpotenzial erheblich. Gleiches gilt für Dampfreformatoren.

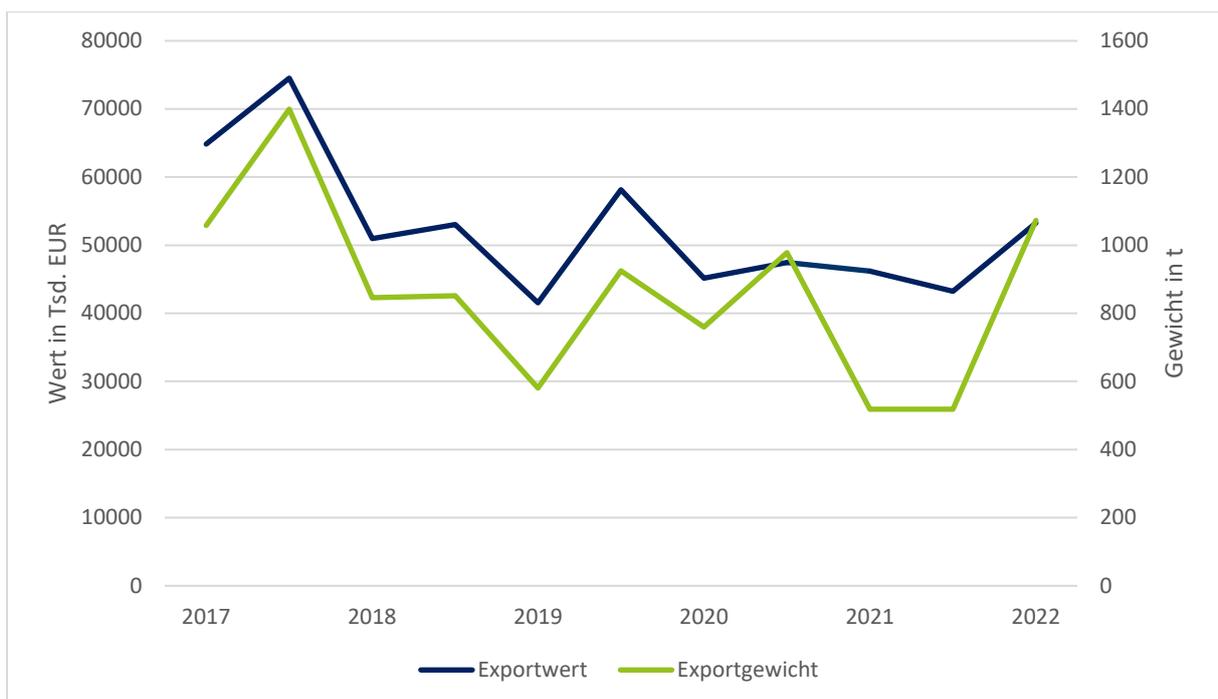
Zukünftig soll Wasserstoff vor allem mittels Wasserelektrolyse produziert werden. Dabei wird Wasser durch elektrische Energie in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Stammt der dabei verwendete Strom aus erneuerbaren Energien, spricht man von „grünem Wasserstoff“ (vgl. METZ u. a. 2022). Es gibt unterschiedliche Arten der Elektrolyse. Relevante Verfahren sind vor allem die alkalische Elektrolyse (AEL), die Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse (PEM) und die Hochtemperaturelektrolyse, wobei insbesondere die AEL- und die PEM-Elektrolyse bereits marktfähig sind. Unterschiede bestehen vor allem im verwendeten Elektrolyt⁴ und in der Prozesstemperatur, wodurch sich jeweils verschiedene Materialanforderungen und Komponentenbedarfe ergeben (vgl. IRENA 2020). Aktuell machen alkalische Anlagen aufgrund der vergleichsweise höchsten technischen Reife sowie eines einfachen technischen Designs mit ca. 61 Prozent den größten Anteil der weltweit installierten Kapazität aus. Nachteilig ist, dass nur langsam auf Lastschwankungen reagiert werden kann. Künftig könnte daher, trotz höherer Kostenintensität aufgrund teurerer Materialien, die PEM-Technologie bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff eine Vorreiterrolle einnehmen, da sie besser geeignet ist mit der fluktuierenden Versorgung mit erneuerbaren Energien umzugehen. Ihr Anteil beträgt aktuell ca. 31 Prozent der installierten Kapazität. Die

⁴ „Substanz, die durch entgegengesetzt geladene, bewegliche Ionen elektrisch leitfähig ist“ (DUDEN 2022).

Hochtemperaturelektrolyse besitzt den Vorteil eines hohen Wirkungsgrades, bedarf aber noch Forschung für die Skalierung (vgl. ANSARI/GRINSCHGL/PEPE 2022; PATONIA/POUDINEH 2022).

Im Bereich der Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyse bieten sich vor allem für Hersteller von Elektrolyseuren Exportchancen. Insgesamt ist die europäische Marktposition sehr stark, und - mit einem großen Anteil an der Gesamtzahl der Elektrolyseurhersteller - im Speziellen auch die Deutsche (vgl. Anhang Tabelle 3). Die notwendige technische Expertise ist in sämtlichen technologischen Varianten vorhanden (vgl. ANSARI/GRINSCHGL/PEPE 2022). Allerdings musste Deutschland zuletzt die Marktführerschaft an China, gefolgt von Japan, abgeben (vgl. FRITSCH/PULS/SCHAEFER 2021). Die Exporte von Galvanotechnik- und Elektrolyseanlagen, zu denen unter anderem auch Elektrolyseure gehören, waren über die letzten Jahre eher rückläufig. Aktuell, im Jahr 2022, ist jedoch wieder ein Anstieg sowohl der wert- als auch der mengenmäßigen Exporte zu beobachten, wie Abbildung 2 zeigt (vgl. DESTATIS 2022c, bzw. Abbildung 2).

Abbildung 2: Monatlicher Exportwert Galvanotechnik- und Elektrolysegeräte



Elektrolyseure sind lediglich ein Teil dieser Warengruppe. Spezifischere Daten konnten nicht ermittelt werden.

Quelle: Eigene Darstellung mit Daten vom Statistischen Bundesamt (2022)

Eine wichtige Bedingung für eine künftig gute Positionierung am Weltmarkt für Elektrolyseure ist die Sicherstellung der Versorgung mit Rohmaterialien und wichtigen Komponenten. Für AEL-Anlagen werden zwar keine seltenen Metalle, jedoch Nickel benötigt und bislang stammten zwischen 35 und 50 Prozent des nach Deutschland importierten Nickels aus Russland. Die Entkoppelung und Diversifizierung der Bezugsquellen sind möglich, aber mit steigenden Kosten verbunden. Komplizierter ist es bei PEM-Elektrolyseuren. Diese benötigen

Iridium und Platin, zwei seltene und emissionsintensive Edelmetalle. Mit Abstand wichtigster Lieferant hier ist Südafrika, das über 90 Prozent der weltweiten geologischen Platingruppenmetallreserven verfügt. Eine Abkopplung von Russland, als zweitgrößtem Lieferanten weltweit, schafft eine noch stärkere Importabhängigkeit von Südafrika. Eine funktionierende Recyclinginfrastruktur ist somit entscheidend. Daneben werden auch verschiedene Komponenten wie beispielsweise Polymer-Elektrolyt-Membranen⁵ oder Trägerkatalysatoren⁶ für die Skalierung der Produktion von PEM-Anlagen importiert werden müssen. Lieferanten sind hier allerdings vor allem das Vereinigte Königreich (UK), die USA und Japan. Somit sind keine geopolitischen, wohl aber Preisrisiken zu befürchten (vgl. ANSARI/GRINSCHGL/PEPE 2022). Nichtsdestotrotz besitzt die deutsche Industrie mit einer hohen Exportorientierung sowohl in Großunternehmen als auch bei mittelständischen Firmen gute Voraussetzungen, um die steigende Auslandsnachfrage bedienen zu können (vgl. WIETSCHEL u. a. 2022). Das Fraunhofer Institut schätzt die mögliche Wertschöpfung für deutsche Hersteller von Elektrolyseuren auf ca. 5,5 Mrd. Euro pro Jahr bis 2050 (vgl. HEBLING u. a. 2019). Unter Berücksichtigung indirekter und induzierter Effekte errechnen PERNER u. a. (2018) sogar eine zusätzliche jährliche Wertschöpfung durch die Produktion und den Export von Elektrolyseuren von rund 27 Mrd. Euro. Hinzu kämen noch ca. 9 Mrd. Euro durch andere PtX-Anlagen.

In einer skalierten Produktion von Wasserstoff wird um die Elektrolyseure herum ein funktionierendes System an weiteren Anlagen benötigt. Dazu gehören beispielsweise Pumpen, Kompressoren, Wasserstofftrockner und Wasserstoffaufbereiter (vgl. IRENA 2020). Auch hier könnten sich Marktpotenziale für deutsche Hersteller ergeben. Die Literatur zu konkreten Exportchancen dieser Systeme ist allerdings spärlich.

2.2 Wasserstoffanwendung

Anwendungsseitig stellen Brennstoffzellen vermutlich die Technologie mit dem höchsten Exportpotenzial dar. Die Reaktion innerhalb einer Brennstoffzelle läuft, vereinfacht gesagt, umgekehrt zur Elektrolyse ab. Gasförmiger Wasserstoff und Sauerstoff reagieren unter Abgabe elektrischer Energie zu Wasser zurück (vgl. ELSÄSSER/MICHLER/GUMBSCH 2022). Ähnlich wie bei Elektrolyseanlagen gibt es auch bei Brennstoffzellen verschiedene Technologien, die sich in Leistung und Wirkungsgrad unterscheiden. Eines der Hauptanwendungsgebiete liegt im Verkehrsbereich. Der Wirkungsgrad ist dabei mit 40 bis

⁵ „Die Membran [ist] ähnlich aufgebaut ist wie ein atmungsaktiver Textilstoff [und] trennt die Elektroden (Anode/Kathode) elektrisch voneinander. [Sie] ist gleichzeitig auch gasdicht, so dass der Wasserstoff nicht auf die Sauerstoffseite diffundieren kann. Allerdings ist die Membran protonenleitend, lässt also die H⁺ Wasserstoff-Ionen passieren“ (TÜV SÜD 2022).

⁶ „[...] Zusammensetzungen [...], die ein oder mehrere Metalle als solche oder in Form ihrer Verbindungen in feinstverteilter Form auf im allgemeinen vorgeformten Trägermaterialien enthalten und für katalytische Zwecke eingesetzt werden“ (EUROPÄISCHES PATENTAMT 1980).

65 Prozent höher als der von Verbrennungsmotoren. Außerdem werden Emissionen von Schadstoffen vermieden (vgl. GROOS u. a. 2022a; GROOS u. a. 2022b).

HEBLING u. a. (2019) sehen Deutschland auch bei der Brennstoffzelltechnologie gut aufgestellt, um Wettbewerbsvorteile und Exportchancen zu realisieren. Auch im Fortschrittsbericht zur Umsetzung der NWS wird deutschen Unternehmen eine gute Positionierung in diesem Segment zugesprochen (vgl. BMWK 2022c). Künftig könnte der Antrieb von Fahrzeugen mit Wasserstoff über eine Brennstoffzelle einen Massenmarkt darstellen und für die deutsche Automobil- und Maschinenbauindustrie Optionen eröffnen, ihre führende Stellung zu halten. Im Pkw-Bereich steht die Technologie allerdings im Wettbewerb mit der Batterie, welche der Brennstoffzelle effizienztechnisch überlegen ist. Dies gilt jedoch nicht für den Langstrecken-, Schwerlast- und Bahnverkehr, wo sich Brennstoffzellen mittelfristig durchsetzen könnten (vgl. HARST u. a. 2022). Der Verkehr ist außerdem einer der Anwendungsbereiche, die in besonderem Maße von der Politik gefördert werden (vgl. WEICHENHAIN u. a. 2020). Das Fraunhofer Institut prognostiziert eine mögliche Wertschöpfung für deutsche Hersteller von Brennstoffzelltechnologien von rund 2,4 Mrd. Euro pro Jahr bis 2030 und rund 26 Mrd. Euro pro Jahr zwischen 2040 und 2050 (vgl. HEBLING u. a. 2019). Der weltweite Marktanteil deutscher Hersteller lag 2018 bei rund zehn Prozent (vgl. JENSTERLE u. a. 2020).

Neben der Nutzung von Brennstoffzellen zum Antrieb von Fahrzeugen werden auch Wasserstoffverbrennungsmotoren diskutiert. Es würden jedoch nicht zwangsläufig vollständig neue Technologien benötigt werden, da heutige Diesel- oder Benzinmotoren für die Wasserstoffnutzung angepasst werden könnten. Ein Wasserstoffverbrennungsmotor könne zudem zwar höhere Wirkungsgrade als ein Motor betrieben mit konventionellen Kraftstoffen aufweisen, er wäre jedoch ineffizienter als ein Brennstoffzellensystem (vgl. GROOS u. a. 2022b). Somit ist nicht zu erwarten, dass Wasserstoffverbrennungsmotoren ähnlich große Exportchancen wie Brennstoffzellen versprechen.

Abseits des Mobilitätssektors werden auch in der Industrie Technologien zur Wasserstoffnutzung benötigt. In der Stahlindustrie dürfte es mittelfristig zu einer Umstellung von Hochöfen zu Direktreduktionsanlagen kommen. Im Direktreduktionsprozess wird Eisenerz mittels Prozesswärme reduziert und anschließend einem elektrischen Lichtbogenofen zugeführt. Voraussetzung für eine Nutzung von Wasserstoff in diesem Prozess ist, dass dieser in ausreichenden Mengen technisch und wirtschaftlich bereitgestellt werden kann. Die CO₂-Emissionen können so signifikant verringert werden. Die Verwendung von Erdgas kann kurzfristig helfen die Technologie marktfähig zu machen (vgl. JAHN u. a. 2022). Die zwei heute gängigen Typen von Direktreduktionsanlagen, beziehungsweise -verfahren, stammen von ausländischen Unternehmen (vgl. HARTBRICH 2022). Aus diesem Grund sind die Marktchancen für deutsche Firmen, was diese Technologie angeht als eher schlecht zu

beurteilen. Somit ergeben sich die größten Exportpotenziale im Bereich der Wasserstofftechnologien bei Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnologien.

3 Exportmärkte

Zur Identifikation möglicher Exportmärkte für Wasserstofftechnologien ist die Bestimmung der Nachfrage notwendig. Hierfür wurde die Überlegung zugrunde gelegt, dass die Nachfrage nach Wasserstofftechnologien umso höher sein dürfte, je höher die geplante Wasserstoffproduktion in einem Land ausfällt. Um diese zu bestimmen, wurden bereits veröffentlichte nationale Wasserstoffstrategien und Roadmaps (im weiteren Strategiepapieren) bis Oktober 2022 analysiert. Die Analyse wurde um Informationen aus Strategiepapier-Ankündigungen, Presseberichterstattungen und einzelnen Projekten ergänzt. Die Strategiepapieren und zusätzlichen Quellen unterscheiden sich insbesondere substanziiell in der Nennung konkreter Ziele. So nennt beispielsweise Chile Produktions- und Preisziele, während sich Norwegens Strategiepapier primär mit Anwendungsmöglichkeiten und ersten Projekten zur Produktion auseinandersetzt (vgl. MINISTERIO DE ENERGIA 2020; NORWEGIAN MINISTRY OF PETROLEUM AND ENERGY/NORWEGIAN MINISTRY OF CLIMATE AND ENVIRONMENT 2020). Insbesondere die geplanten Produktionsziele sind ein wichtiger Indikator für die Nachfrage einzelner Märkte nach Wasserstofftechnologien. Deshalb wurden für diejenigen Länder, deren Strategiepapieren keine konkreten Produktionsziele ausweisen, Daten des FRAUNHOFER IEE Global PtX Atlas (2022) (im weiteren PtX Atlas) verwendet. Hierzu wurden zunächst die Produktionsziele für Länder mit entsprechender Veröffentlichung herangezogen und errechnet, welchen Anteil die veröffentlichten Produktionsziele an der im PtX Atlas ausgewiesenen Produktionskapazität für das jeweilige Land haben. Anschließend wurde ein Mittelwert dieser Anteile gebildet. Schließlich wurde der Mittelwert der Anteile auch auf die Länder ohne veröffentlichte Produktionsziele angewendet. Ziel dieses Vorgehens war eine Approximation der mittelfristig umsetzbaren Produktionskapazitäten für Länder ohne konkrete Strategiepapieren.

In Abbildung 3 wird zunächst der Wert der deutschen Maschinen- und Elektrotechnikexporte aus dem Jahr 2021 den geplanten Produktionskapazitäten für Wasserstoff in Gigawatt (GW)⁷ gegenübergestellt. Zusätzlich wurde kenntlich gemacht, ob das jeweilige Land in seinem Strategiepapier ankündigt, selbst Wasserstofftechnologien zu exportieren (orangener Punkt) oder dazu keine Angaben gemacht wurden (blauer Punkt). Ziel der Gegenüberstellung ist es zu identifizieren, welche etablierten Handelsbeziehungen für den

⁷ Zum Teil wurden die Produktionskapazitäten in den Strategiepapieren in Tonnen angegeben und mussten in GW umgerechnet werden. Hierfür wurden zunächst die Tonnenangaben unter Verwendung des unteren Heizwerts von 33,33 Kilowattstunden (kWh) je Kilogramm (kg) Wasserstoff in Terawattstunden (TWh) umgerechnet (LINDE 2022). Anschließend wurde das in der NWS genannte Verhältnis von 1 GW Elektrolyseur Kapazität für einen Wasserstoffbedarf von 2,8 TWh für die Umrechnung verwendet (BMW 2020).

Wasserstofftechnologieexport ausgebaut und welche neuen Marktpotenziale erschlossen werden können. Es zeigt sich, dass – mit Ausnahme der USA – die bisherigen großen Exportdestinationen deutscher Anlagen- und Elektrotechnikexporte (über 10 Mrd. €) mit einer Produktionskapazität für Wasserstoff von höchstens zehn GW planen. Hingegen wurden fünf Länder mit hohen Produktionsplänen identifiziert, in die Deutschland bisher wenig Maschinen- und Elektrotechnik exportiert (blauer rechter Kreis). Auf der anderen Seite befindet sich eine Ländergruppe mit verhältnismäßig niedrigen Produktionsplänen, in die Deutschland bisher wenig Maschinen und Elektrotechnik exportiert (blauer linker Kreis). Darunter befinden sich auch Länder, zum Beispiel in Nordafrika, die längerfristig ein deutlich höheres Produktionspotenzial aufweisen als das für die mittlere Frist approximierte Produktionspotenzial (vgl. FRAUNHOFER IEE 2022). Somit könnten auch in der Ländergruppe unten links zukünftige Exportpotenziale für Wasserstofftechnologien liegen, wenn der Kapazitätsausbau weiter vorangebracht wird.

Abbildung 3: Wert deutscher Maschinen- und Elektrotechnikexporte und geplante Wasserstoffproduktion in verschiedenen Ländern



Quelle: (DESTATIS 2022b), Strategiepapiere und Zusatzquellen für die jeweiligen Länder (geplante Produktion, siehe Anhang Tabelle 2), FRAUNHOFER IEE (2022)

Die dargestellten Produktionsziele der einzelnen Länder beziehen sich in allen, bis auf zwei Fällen, auf das Jahr 2030. Die einzigen Ausnahmen sind Südkorea mit 2040 und China mit 2025. Die Produktionsziele der Länder variieren substantiell (eine tabellarische Übersicht mit entsprechenden Quellenangaben findet sich im Anhang Tabelle 2). So plant beispielsweise

Ungarn Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff in Höhe von 0,24 GW zu installieren. Andere Länder wie Chile und Indien planen mit Kapazitäten in Höhe von 25 GW. Kasachstan hat noch kein Strategiepapier veröffentlicht, plant aber bereits ein Projekt, das die Installation von Elektrolyseurkapazitäten in Höhe von 30 GW vorsieht. In Europa planen UK, Frankreich, Italien, Schweden und Dänemark im Bereich zwischen fünf und zehn GW. Ungarn, Belgien und Kroatien planen hingegen im MW Bereich. Für Belgien steht dabei die Positionierung als Transitland im Vordergrund.

Länder mit vergleichsweise hohen geplanten Produktionskapazitäten (über 5 GW) und Exportplänen für den Energieträger Wasserstoff sind unter anderem Südafrika, Neuseeland, Oman, Ägypten, Indien, Chile, Kasachstan und Saudi-Arabien. Besonders hervorzuheben ist Australien mit einer errechneten, mittelfristigen Kapazität von 170 GW, die außerhalb des dargestellten Bereichs in Abbildung 3 fällt. Diese Angabe ergibt sich allerdings aus dem im PtX Atlas angegebenen Potenzial. Von den 61 recherchierten Ländern beziehen sich 21 auf grünen Wasserstoff. Weitere neun Länder planen in ihrer Strategie grünen Wasserstoff mit blauem Wasserstoff zu ergänzen.

Für Deutschland sind mögliche Exportmärkte mit einer potenziell hohen Nachfrage nach Wasserstofftechnologien (über 10 GW geplante Produktion), aber bisher schwachen Handelsbeziehungen im Maschinen- und Elektrotechnikbereich (bis 5 Mrd. € deutsche Maschinen- und Elektrotechnikexporte) Saudi-Arabien, Mexiko, Kasachstan, Chile, Indien und Kanada. Kanada plant jedoch selbst Wasserstofftechnologien zu exportieren. Exportmärkte mit einer mittleren potenziellen Nachfrage (2 bis 10 GW) und intensiven Handelsbeziehungen im Maschinen- und Elektrotechnikbereich (über 5 Mrd. €) sind Dänemark, Schweden, Spanien, UK, die Niederlande, Italien und Frankreich. Ein Markt mit sehr hoher potenzieller Nachfrage nach Wasserstofftechnologien ist Australien mit den obig genannten 170 GW Produktionskapazitäten, aber mit einer wenig ausgeprägten Handelsbeziehung zu Deutschland im Maschinen- und Elektrotechnikbereich. Jedoch hat Australien bereits intensive Beziehungen beim Thema Wasserstoff mit Japan, wie die erste vollständige Lieferkette zwischen den beiden Ländern zeigt (vgl. COAG ENERGY COUNCIL 2019). Die Vereinigten Staaten von Amerika sind ein Exportmarkt mit sehr intensiven Handelsbeziehungen zu Deutschland und hoher potenzieller Nachfrage nach Wasserstofftechnologien. Allerdings verfügen die USA bereits über sieben heimische Elektrolyseurproduzenten (vgl. Kapitel 4.1) und zählen auch bei anderen Technologien zu den weltweit größten Exporteuren von Maschinen- und Elektrotechnik (vgl. WELTBANK 2022d). Auch ohne explizit veröffentlichte Exportstrategie für Wasserstofftechnologien, dürften US-amerikanische Exporteure zu den wichtigsten Wettbewerbern auf dem internationalen Markt für Wasserstofftechnologien werden. Gleiches gilt für China, wie auch im Folgekapitel ersichtlich wird. Im 14.

Fünfjahresplan Chinas (2021 bis 2025) stellt die Wasserstoffindustrie eine von sechs industriellen Prioritäten dar. Wenngleich der Fokus bislang auf der Versorgung des Heimatmarktes mit Wasserstofftechnologien lag, so dürfte zunehmend auch der Exportmarkt bedient werden (vgl. ANSARI/GRINSCHGL/PEPE 2022).

Durch die bestehende Vernetzung auf den internationalen Märkten befindet sich Deutschland insgesamt jedoch in einer guten Position, um neue Exportmärkte zu erschließen. Gleichzeitig hat Deutschland bereits mit dem Aufbau weltweiter bilateraler Energiepartnerschaften begonnen, die auch den Wasserstoffbereich mit einschließen (vgl. BMWK 2022d). Dadurch können Handelsbeziehungen weiter gestärkt werden, die sowohl den Import von Wasserstoff als Energieträger nach Deutschland als auch den Export von deutschen Wasserstofftechnologien in Partnerländer umfassen.

4 Exportkonkurrenz

Die Analyse der Strategiepapiere zeigt, dass 14 von 54 Ländern planen, Wasserstofftechnologien zu exportieren (vgl. Anhang Tabelle 2). Sie stellen damit mögliche Konkurrenten für Deutschland auf dem Markt für Wasserstofftechnologien dar. Länder mit einem Plan zum Technologieexport sind unter anderem Japan, Frankreich, UK und Dänemark. Ein weiterer entscheidender Aspekt zur Identifikation der Exportpotenziale ist, ob die Nachfrage nach Wasserstofftechnologien überhaupt von deutschen Unternehmen bedient werden kann. Hierfür sind die Produktportfolien der Unternehmen relevant.

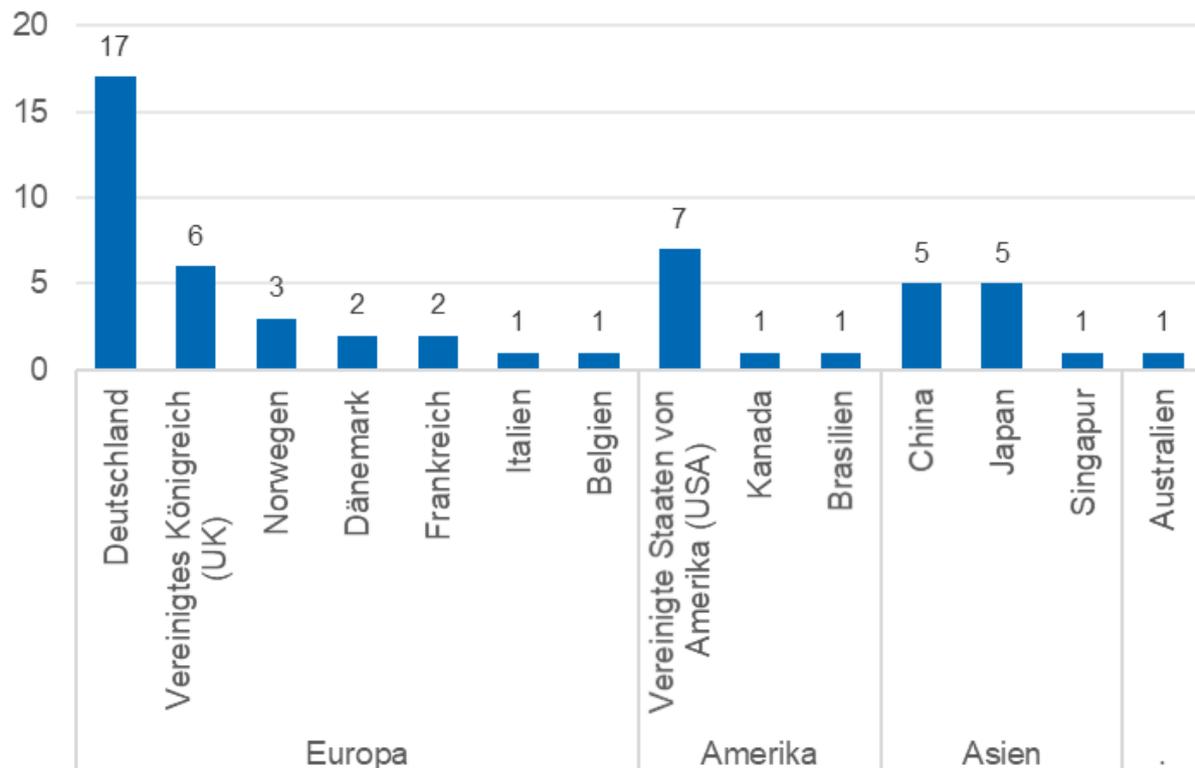
4.1 Elektrolyseurhersteller

Elektrolyse ist das Schlüsselverfahren zur Herstellung von strombasiertem Wasserstoff, zu dem auch der grüne Wasserstoff zählt. Bislang werden die Elektrolyseure jedoch noch größtenteils in zeit- und kostenintensiver Manufakturarbeit hergestellt. Um die nationalen und globalen Bedarfe von klimafreundlichem Wasserstoff zu decken, ist deshalb eine Hochskalierung der Elektrolyseurproduktion erforderlich (vgl. BMBF 2022).

Über die Hälfte der heutigen Elektrolyseurhersteller hat ihren Firmensitz in Europa. Dies trifft auf 32 von 53 Herstellern zu (siehe Abbildung 4 und Anhang Tabelle 3). Davon haben 17 ihren Firmensitz in Deutschland. Weitere sieben haben ihren Firmensitz in den Vereinigten Staaten von Amerika, sechs im UK, je fünf in China und in Japan, drei in Norwegen, je zwei in Dänemark und Frankreich. Außerdem hat je eine Firma ihren Firmensitz in Italien, Belgien, Kanada, Brasilien, Singapur und Australien. Die angebotenen maximalen Elektrolysekapazitäten pro Elektrolyseur variieren zwischen den Firmen. So bietet Pure Energy Centre (UK) Elektrolyseure mit einer Kapazität von maximal 0,23 MW an, während Verdag (USA) Elektrolyseuranlagen mit bis zu 200 MW anbietet. Die Firmen selbst bieten zum Teil auch ein breites Portfolio von Elektrolyseuren an. So reicht das Angebot von Green

H2 Systems (Deutschland) von Elektrolyseanlagen mit einer Leistung von einem MW bis zu 100 MW und bei ITM Power (UK) von 0,6 MW bis 100 MW. Andere Unternehmen, wie die Hiat g GmbH (Deutschland), verfügen über ein konzentrierteres Portfolio.

Abbildung 4: Anzahl der Elektrolyseurhersteller nach Land (Firmensitz)



Quelle: siehe Anhang Tabelle 3

Auf 23 Unternehmenswebseiten konnten Informationen zu den Produktionsstätten der jeweiligen Unternehmen gefunden werden. Drei dieser Unternehmen produzieren in mehr als einem Land. Von den insgesamt 26 identifizierten Produktionsstätten befinden sich 17 in Europa und davon vier in Deutschland. Die jährlichen (geplanten und veröffentlichten) Produktionskapazitäten variieren ebenfalls deutlich. Von produzierten Elektrolyseuren mit einer Gesamtleistung in Höhe von 0,075 GW bei Green Hydrogen Systems (Dänemark) und zwei GW bei Fortescue Future Industries (Australien). Einzelne Hersteller können die Produktionsleistungen der angebotenen Elektrolyseure zum Teil jedoch auch erweitern. So plant unter anderem Haldor Topsoe A/S (Dänemark) seine neue 0,5 GW Anlage mit einer optionalen zehnfachen Erweiterung auf fünf GW an. Die Produktionskapazitäten der einzelnen chinesischen Firmen dürften tendenziell höher liegen als die europäischer Firmen, zu denen auch KMU und Start-ups zählen (vgl. IEA 2022a).

Auf den Märkten im ostasiatischen Raum kann für deutsche Exporteure eine besonders intensive Konkurrenzsituation zu Japan und China entstehen, da beide Länder mehrere inländische Elektrolyseurhersteller beheimaten und starke regionale Handelsbeziehungen

aufweisen. Gleiches gilt für die USA, die ebenfalls ein wichtiger Zulieferer für die gesamte asiatische Region sind. Im südasiatischen Raum bestehen zudem intensivere Handelsbeziehungen zu UK, wo ebenfalls mehrere Unternehmen Elektrolyseure herstellen. Australien und Singapur dürften mit je erst einem Elektrolyseurhersteller eine geringere Konkurrenz darstellen (vgl. WELTBANK 2022a; 2022g). Im lateinamerikanischen Markt ist für deutsche Exporteure insbesondere eine Konkurrenzsituation mit den USA aufgrund der Marktnähe und intensiven bestehenden Handelsbeziehungen in der Region gegeben. Die Konkurrenz mit Brasilien ist durch das bislang einzelne brasilianische Unternehmen hingegen als eher gering einzuschätzen. China stellt aufgrund der intensiven Handelsbeziehungen ebenfalls einen großen Konkurrenten auf dem lateinamerikanischen Markt dar (vgl. WELTBANK 2022c). Auf dem europäischen und nordafrikanischen Markt ist insbesondere die Konkurrenz mit anderen europäischen Firmen wahrscheinlich. Deutschlands Stellung als einer der wichtigsten Handelspartner für europäische Staaten wie beispielsweise Spanien, die Niederlande, UK oder Norwegen stellt jedoch einen möglichen Vorteil für Wasserstofftechnologieexporte aus Deutschland auf dem europäischen Markt dar (vgl. WELTBANK 2022e; 2022f; 2022h; 2022i). Gleiches gilt in Nordafrika zum Beispiel für Ägypten (vgl. WELTBANK 2022b). Allerdings verfügen auch andere europäische Staaten wie Norwegen und UK über mehrere Elektrolyseurhersteller und die entsprechende Marktnähe. Das HyDeal Projekt in Spanien, das bis 2030 Elektrolyseurkapazitäten in Höhe von 9,5 GW in Asturien installieren will, und damit bereits die Ziele der spanischen Wasserstoffstrategie um das Doppelte übersteigt, setzt beispielsweise auf französische und belgische Technologien (vgl. HYDEAL 2022).

4.2 Brennstoffzellenproduktion

Zu den Maßnahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie 2020 (NWS) zählt der „Aufbau [...] einer wettbewerbsfähigen Zulieferindustrie für Brennstoffzellensysteme [...] einschl. Schaffung einer industriellen Basis für eine großskalige Brennstoffzellen-Stack-Produktion für Fahrzeuganwendungen“ (vgl. BMWi 2020, S. 20).

Neben Deutschland zählen vor allem Japan, Südkorea, China und die USA (insb. Kalifornien) zu den Leitmärkten für Brennstoffzellen (vgl. WEICHENHAIN u. a. 2020). Aktuell treiben die asiatischen Länder China, Japan und Südkorea die Markteinführung von Brennstoffzellen in der Fahrzeugindustrie voran (vgl. GROOS u. a. 2022a). Die chinesische Regierung plant bis 2030 eine Flotte von einer Mio. Brennstoffzellenfahrzeugen aufzubauen und subventioniert Brennstoffzellenfahrzeuge ebenso wie Wasserstofftankstellen. In Japan sollen bis 2030 800.000 Brennstoffzellenfahrzeuge, darunter 1.200 öffentliche Busse, auf die Straße gebracht werden. Die südkoreanische Strategie sieht vor bis 2040 6,2 Mio. Brennstoffzellenfahrzeuge zu produzieren, wovon 3,3 Mio. für den heimischen Markt bestimmt sind (vgl. WEICHENHAIN u. a. 2020). Toyota (Japan) und Hyundai (Südkorea) waren 2021 die marktführenden

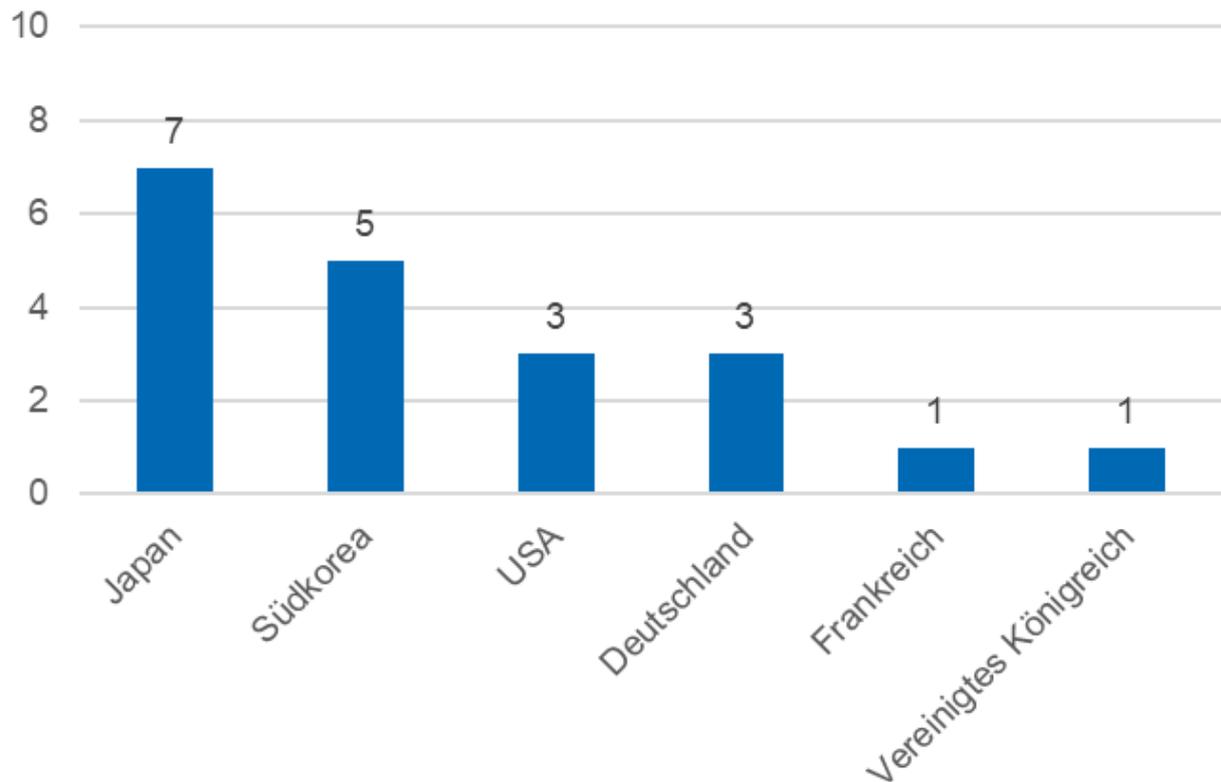
Unternehmen im Bereich von Brennstoffzellenfahrzeugen. Während die beiden asiatischen Unternehmen auch Pkw-Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb anbieten, konzentriert sich das Joint Venture von Daimler (Deutschland) und Volvo (Schweden) auf die Entwicklung von Schwerlasttransportern mit Brennstoffzellentechnologie. BMW (Deutschland) und Jaguar (UK) entwickeln hingegen ebenfalls Brennstoffzellen-Pkw. Auf dem chinesischen Markt sind die Unternehmen Great Wall und SAIC beim Thema Brennstoffzellenfahrzeuge aktiv (vgl. FCHO 2022b).

Brennstoffzellen können jedoch in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Neben dem Verkehrssektor beispielsweise in Gebäuden zur Strom- und Wärmeerzeugung. In Deutschland werden entsprechende Brennstoffzellengeräte beispielsweise von SenerTec (Deutschland) oder remeha (Niederlande) angeboten⁸ (vgl. INITIATIVE BRENNSTOFFZELLE 2022; REMEHA 2022; SENERTEC 2022). Während ausschließlich wasserstoffbasierte Kraft-Wärme-Systeme noch keinen nennenswerten Marktanteil in Deutschland haben, wurden in Japan bis Mitte 2020 bereits rund 360.000 Brennstoffzellen im Gebäudebereich installiert (vgl. HERKEL/MEYER/GERHARDT 2022). Die marktführende Position hat hierbei der japanische Hersteller Panasonic inne (vgl. PANASONIC 2022). Bis 2030 sollen insgesamt 5,3 Mio. Brennstoffzellen zum Heizen japanischer Häuser eingesetzt werden. Auch Südkorea sieht den Einsatz von Brennstoffzellen im Gebäudesektor vor und plant bis 2040 940.000 Haushalte mit Brennstoffzellen auszustatten (vgl. WEICHENHAIN u. a. 2020).

Bei der Produktion von Brennstoffzellentechnologien liegt Asien bereits heute weit vorne. Von elf GW installierter Produktionskapazität befinden sich alleine 60 Prozent in Japan und Südkorea (vgl. HYDROGEN COUNCIL 2022). Dies spiegelt sich auch in der Konzentration der Top 20 Brennstoffzellenhersteller bzw. Forschungsinstitute wider, wie Abbildung 5 zeigt.

⁸ Andere Heiztechnik-Unternehmen wie Buderus (Deutschland) oder Viessmann (Deutschland) bieten Brennstoffzellengeräte zur Strom- und Wärmeerzeugung an, die mit Erdgas und einer Beimischung von bis zu 20 Prozent Wasserstoff betrieben werden können (BUDERUS 2022; INITIATIVE BRENNSTOFFZELLE 2022; VISSMANN 2022).

Abbildung 5: Top 20 Firmen und Forschungseinrichtungen nach Land (Firmensitz), gemessen an erteilten Patenten im Bereich Brennstoffzellen



FCHO (2022a)

Bei der Technologieentwicklung im Brennstoffzellenbereich ist Deutschland zwar gut aufgestellt und hat eine gute Ausgangsposition für den internationalen Wettbewerb. Die Produktion, Kommerzialisierung und Anwendung verläuft in den zuvor genannten asiatischen Ländern jedoch deutlich dynamischer, was sich nachteilig auf die Exportpotenziale für deutsche Hersteller von Brennstoffzellen auswirken kann (vgl. EHRET 2018).

5 SWOT Analyse

Mit einer SWOT-Analyse sollen die Exportpotenziale zusammenfassend anhand von vier Kategorien eingeordnet werden, um sowohl positive als auch negative Aspekte zu berücksichtigen. Das Akronym „SWOT“ steht dabei für die englischen Begriffe **S**trengths, **W**eaknesses, **O**pportunities und **T**hreats. Stärken und Schwächen sind dabei „interne Faktoren“ und beziehen sich auf die deutsche Exportwirtschaft. Chancen und Risiken stellen hingegen „externe Faktoren“ dar und beziehen sich somit auf die potenziellen Exportmärkte (vgl. GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON 2018).

Tabelle 1: SWOT-Matrix für den Export von Wasserstofftechnologien

| | Stärken (Strengths) | Schwächen (Weaknesses) |
|-------------------------|--|---|
| interne Faktoren | <ul style="list-style-type: none"> • Marktführende Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau sowie bei der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen • Technologievorsprung • Staatliche Förderprogramme für Investitionen und Forschung • Gute Handelsbeziehungen • Vergleichsweise hoher Anteil an erneuerbaren Energien | <ul style="list-style-type: none"> • Bislang wenige inländische Wasserstoffanwendungen • Hohe inländische Kosten für erneuerbare Energien („Green Leakage“) • Lange Genehmigungsverfahren zum Ausbau erneuerbarer Energien |
| externe Faktoren | <ul style="list-style-type: none"> • Hohe Ausbauziele für Wasserstofftechnologien weltweit • Kompensation von Nachfragerückgängen nach konventionellen Exporten • Erschließung neuer Märkte | <ul style="list-style-type: none"> • Produktionsverlagerungen in Länder mit geringeren Kosten für erneuerbare Energien („Renewables Pull“) • Verfügbarkeit von Rohstoffen • Politische Stabilität potenzieller Exportpartner |

Quelle: Eigene Darstellung

Stärken

Deutschland ist der weltweit drittgrößte Maschinenproduzent und gilt als führender Innovationsstandort (vgl. BMWK 2022f). Die deutsche Elektrotechnik- und Elektronikindustrie ist durch die Bereitstellung von Querschnittstechnologien zudem Innovationsmotor für das Verarbeitende Gewerbe (vgl. BMWK 2022a). Hiesige Technologieunternehmen haben somit eine gute Stellung im Markt für traditionelle Maschinen und Anlagen sowie elektrische Ausrüstungsgüter und können diese Position nutzen, um sich auch im wachsenden Markt für Wasserstofftechnologien zu etablieren. Zudem sind bereits heute mehrere Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Bereich der Wasserstofftechnologien aktiv, wie Kapitel 5 gezeigt hat. Die Entwicklung von Wasserstofftechnologien wird darüber hinaus durch staatliche Förderprogramme unterstützt (vgl. BMWK 2022b). Beispiele hierfür sind das Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Reallabore für den Technologie- und Innovationstransfer von der Forschung in die Anwendung oder die Projekte im Rahmen der Important Projects of Common European Interest (IPCEI) im Bereich Wasserstofftechnologien und -systeme (vgl. BMWi 2020; BMWK 2022e).

Darüber hinaus unterhält Deutschland Handelsbeziehungen zu über 200 Ländern und befindet sich damit in einer guten Position, um bestehende Handelsbeziehungen zu festigen und neue Exportmärkte zu erschließen (vgl. DESTATIS 2022c). Die Verfügbarkeit von erneuerbaren

Energien dürfte zukünftig einen immer stärker werdenden Wettbewerbsvorteil bei der Transformation hin zu einer klimaneutralen Welt darstellen. Wenngleich Deutschland den Ausbau erneuerbarer Energien weiter vorantreiben muss, so ist der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion mit über 40 Prozent im internationalen Vergleich relativ hoch (vgl. RITCHIE/ROSER/ROSADO 2022).

Schwächen

Als Voraussetzung für eine internationale Marktführerschaft in der Wasserstofftechnologie nennen HARST u. a. (2022) die Etablierung eines starken heimischen Wasserstoffmarkts. Wenngleich der Heimatmarkt für grünen Wasserstoff aktuell noch wenig entwickelt ist, so zeigen die Pläne der Politik und Industrie doch, dass dieser in den nächsten Jahren deutlich an Dynamik gewinnen dürfte und damit auch eine förderliche Umgebung für die (Weiter-) Entwicklung von Wasserstofftechnologien geschaffen wird (vgl. BMWi 2020; WV STAHL 2020).

Hohe inländische Kosten für erneuerbare Energien können jedoch zu einem sogenannten „Green Leakage“ führen, der eine Industrieabwanderung aufgrund ungünstiger Standortbedingungen für die Erzeugung von erneuerbaren Energien bezeichnet (vgl. STIFTUNG ARBEIT UND UMWELT DER IG BCE 2021). Mit Blick auf die Standortbedingungen für die Erzeugung von erneuerbaren Energien, spielen neben den natürlichen Bedingungen auch Genehmigungsverfahren zu deren Ausbau oder die Akzeptanz in der Bevölkerung eine Rolle. So hat es in den letzten Jahren in Deutschland beispielsweise mindestens sieben bis acht Jahre gedauert, bis Windenergieanlagen an Land nach dem Aufstellungsbeschluss in Betrieb genommen werden konnten (vgl. UBA 2021). Mit dem sogenannten „Osterpaket“ der Bundesregierung soll der Ausbau in Deutschland jedoch beschleunigt und konsequent umgesetzt werden (vgl. BMWK 2022g).

Chancen

Die Auswertung der Strategiepapiere und der zusätzlichen Quellen zeigt, dass in den kommenden Jahren weltweit hohe Ausbauziele für die Wasserstoffproduktion bestehen (vgl. Anhang Tabelle 2; IEA 2022b). Das Übereinkommen von Paris, die globalen Treibhausgasemissionen nachhaltig zu reduzieren, dürfte die Nachfrage nach klimaneutralen Produktionsverfahren und alternativen Technologien entsprechend steigen lassen. Dies vor allem in den Bereichen, in denen keine direkte Elektrifizierung möglich ist und Wasserstoff eine Alternative zu fossilen Energieträgern bietet (vgl. IEA 2022b). Es ist deshalb zu erwarten, dass sich der Export konventioneller Technologien für fossile Energieträger zunächst reduziert und langfristig zum Erliegen kommt. Mit einer Anpassung des Produktportfolios hin zu

alternativen Zukunftstechnologien könnten jedoch Nachfragerückgänge nach konventionellen Exporten kompensiert und neue Exportpotenziale genutzt werden.

Abbildung 3 zeigt, dass vor allem Länder, die bislang verhältnismäßig wenig Maschinen und Elektrotechnik aus Deutschland bezogen haben, entweder planen größere Kapazitäten für die Wasserstoffproduktion zu installieren und/oder selbst keine eigenen Technologieexporte im Bereich Wasserstoff vorsehen. Somit ergeben sich Exportpotenziale für Wasserstofftechnologien besonders in jenen Märkten, in denen deutsche Maschinen- und Anlagenbauer bisher weniger aktiv sind und ggf. neue Vertriebswege finden müssen. Diese werden zum Teil bereits aufgebaut wie das Beispiel von Thyssenkrupp zeigt, das einen Elektrolyseur mit einer Leistung von zwei GW nach Saudi-Arabien liefert (vgl. DPA 2021). Ein frühes Engagement kann ein Vorteil bei der Positionierung in neuen Märkten sein (vgl. LANGFELD u. a. 2022). Im Umkehrschluss bedeutet es jedoch nicht, dass sich keine Exportpotenziale in Ländern befinden, die selbst mit Wasserstofftechnologieexporten planen. Vielmehr können hier Möglichkeiten für den Export von Baukomponenten und Komplementärtechnologien liegen und selbstverständlich auch ein Auftreten als Wettbewerber auf dem Markt exportfördernd wirken.

Risiken

Wie oben bereits erwähnt, können hohe Kosten für erneuerbare Energien eine Schwäche für einen Produktionsstandort darstellen und zum beschriebenen „Green Leakage“ führen (interner Faktor für den Wirtschaftsstandort Deutschland). Aus Sicht eines Standorts mit günstigen erneuerbaren Energien kommt es dann zu einem sogenannten „Renewables Pull“ (externer Faktor für den Wirtschaftsstandort Deutschland). Dabei muss es nicht zwingend zu einem direkten Abbau der Produktion im Land mit höheren Produktionskosten kommen, es kann auch eine Verschiebung beim Aufbau neuer Produktionskapazitäten hin zu wirtschaftlicheren Standorten stattfinden (vgl. SAMADI u. a. 2021). Wasserstoff kann in vielen Ländern mit hohem Potenzial an erneuerbaren Energien zu niedrigeren Produktionskosten hergestellt werden als in Deutschland (vgl. RONSIEK u. a. 2022). Dies kann einen Anreiz für Hersteller von Wasserstofftechnologien auslösen, eigene Kapazitäten für die Technologieproduktion vor Ort aufzubauen. Gleichzeitig braucht es hierfür die entsprechende Infrastruktur, verlässliche politische und rechtliche Rahmenbedingungen und qualifizierte Arbeitskräfte in den entsprechenden Ländern (vgl. SAMADI u. a. 2021). In diesen Punkten hat Deutschland wiederum einen Vorteil gegenüber vielen Konkurrenzstandorten.

In Kapitel 2.1 wurde dargelegt, dass ein Risiko besteht, bei der Produktion von Wasserstofftechnologien in die Abhängigkeit einiger weniger Lieferländer bzw. Zulieferbetriebe zu geraten. Um sowohl die Abhängigkeit von seltenen Rohstoffen als auch die Materialkosten zu reduzieren, wird an deren effizienteren Einsatz oder Substitution durch

andere Materialien geforscht. Zudem ist das Recycling dieser Materialien ein zunehmend wichtiger Aspekt (vgl. LANGEFELD u. a. 2022).

Die politische Stabilität und/oder die Involvierung in Konflikte beeinflussen nicht nur die Importbeziehungen, wie jüngst am Beispiel Russlands ersichtlich wurde, sondern spielt auch beim Export eine relevante Rolle. Zum einen ist die politische Stabilität für die Planungssicherheit und Finanzierung großvolumiger Projekte relevant, andererseits können Exportbeziehungen von internationalen Sanktionen betroffen sein. Auch dies wird am Beispiel Russlands deutlich. Eine Einschätzung der politischen Stabilität und der Involvierung in Konflikte bietet der Index „Political Stability and Absence of Violence/Terrorism“ der WELTBANK (2022j). Für die in Abbildung 3 identifizierten potenziellen Exportdestinationen ab fünf GW geplanter Produktionskapazität und ohne eigene Strategie zum Wasserstofftechnologieexport (inkl. Australien) sind die Indexwerte nur zu einem Drittel positiv (vgl. Anhang Abbildung 6). Zur Risikominimierung sollte deshalb ein möglichst breites Länderportfolio für den Export deutscher Wasserstofftechnologien angestrebt werden.

6 Fazit

In diesem Diskussionspapier wurden Exportpotenziale und mögliche Risiken Deutschlands in Bezug auf Technologien rund um die Produktion und Verwendung von Wasserstoff untersucht, die sich im Zuge eines globalen Wasserstoffhochlaufs ergeben können. Ein besonderer Fokus wurde dabei auf potenzielle Handelspartner und Exportkonkurrenten gelegt. Die größten Exportpotenziale im Bereich der Wasserstofftechnologien dürften sich bei Elektrolyse- und Brennstoffzellentechnologien ergeben. Bei den Elektrolysetechnologien lässt sich insbesondere eine starke europäische -und im Speziellen auch deutsche- Marktposition identifizieren. Im Bereich der Brennstoffzellentechnologien ist zudem eine starke Marktposition asiatischer Anbieter zu beobachten. Für die deutsche Exportwirtschaft gilt es weitere Exportmärkte zu identifizieren und bestehende auszuweiten. So könnten einerseits Technologieunternehmen mit guter Marktstellung für traditionelle Maschinen und Anlagen sowie elektrischen Ausrüstungsgütern diese Position nutzen, um sich auch im wachsenden Markt für Wasserstofftechnologien zu etablieren. Andererseits bieten Länder wie Saudi-Arabien, Mexiko, Kasachstan, Chile und Indien neue mögliche Exportmärkte mit einer potenziell hohen Nachfrage nach Wasserstofftechnologien. Dabei lassen sich Abhängigkeitsrisiken für den Export deutscher Wasserstofftechnologien durch ein breites Länderportfolio minimieren.

7 Literaturverzeichnis

ANSARI, Dawud; GRINSCHGL, Julian; PEPE, Jacopo M.: Elektrolyseure für die Wasserstoffrevolution. Herausforderungen, Abhängigkeiten und Lösungsansätze. In: SWP-Aktuell (2022) 58

ANTONINI, Cristina; TREYER, Karin; STREB, Anne; VAN DER SPEK, Mijndert; BAUER, Christian; MAZZOTTI, Marco: Hydrogen production from natural gas and biomethane with carbon capture and storage – A techno-environmental analysis. In: Sustainable Energy & Fuels 4 (2020) 6, S. 2967-2986

BMBF (Hrsg.): Wasserstoff-Leitprojekte: H2Giga: Serienfertigung. Berlin 2022. URL: <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/h2giga> (Stand: 06.12.2022)

BMWi (Hrsg.): Die nationale Wasserstoffstrategie. Berlin 2020. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> (Stand: 19.11.2021)

BMWK (Hrsg.): Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. Berlin 2022a. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-elektrotechnik-und-elektronikindustrie.html> (Stand: 06.12.2022)

BMWK (Hrsg.): Fördermöglichkeiten auf nationaler Ebene. Berlin 2022b. URL: <https://www.bmwk.de/Navigation/DE/Wasserstoff/Foerderung-National/foerderung-national.html> (Stand: 06.12.2022)

BMWK (Hrsg.): Fortschrittsbericht zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Berlin 2022c. URL: https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/de/2022/fortschrittsbericht-wasserstoffstrategie-nws.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Stand: 06.12.2022)

BMWK (Hrsg.): Internationale Wasserstoffzusammenarbeit. Berlin 2022d. URL: <https://www.bmwk.de/Navigation/DE/Wasserstoff/Internationale-Wasserstoffzusammenarbeit/internationale-wasserstoffzusammenarbeit.html> (Stand: 26.07.2022)

BMWK (Hrsg.): IPCEI Wasserstoff: Gemeinsam einen Europäischen Wasserstoffmarkt schaffen. Berlin 2022e. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/ipcei-wasserstoff.html> (Stand: 06.12.2022)

BMWK (Hrsg.): Maschinen- und Anlagenbau. Berlin 2022f. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-maschinen-und-anlagenbau.html> (Stand: 06.12.2022)

BMWK (Hrsg.): Osterpaket für Energiewende vom Bundesrat gebilligt. Berlin 2022g. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/novellierung-des-eeg-gesetzes-2023972> (Stand: 13.12.2022)

BUDERUS (Hrsg.): Brennstoffzelle BLUEGEN BG-15i. Wetzlar 2022. URL: https://www.buderus.de/de/produkte/catalogue/alle-produkte/191085_brennstoffzelle-bluegen-bg-15i (Stand: 13.12.2022)

COAG ENERGY COUNCIL (Hrsg.): Australia's National Hydrogen Strategy. Australia 2019. URL: <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/australias-national-hydrogen-strategy.pdf> (Stand: 06.12.2022)

DESTATIS (Hrsg.): 51000-0005 Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warensystematik 2022a. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Stand: 13.12.2022)

DESTATIS (Hrsg.): 51000-0007 Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Warensystematik 2022b. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Stand: 13.12.2022)

DESTATIS (Hrsg.): Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Länder. Wiesbaden 2022c. URL: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=table&code=51000-0003&bypass=true&levelindex=1&levelid=1666778047297#abreadcrumblInternational> Merchandise Trade Statistics. Trade Value and Volume, Merchandise: Total Trade and Share, annual. (Stand: 06.12.2022)

DPA (Hrsg.) 2021: Alternativ-Energien: Thyssenkrupp-Gemeinschaftsfirma baut Elektrolyse-Anlage. In: Die Zeit, Ausgabe vom 13.12.2021. URL: <https://www.zeit.de/news/2021-12/13/thyssenkrupp-gemeinschaftsfirma-baut-elektrolyse-anlage>. URL: <https://www.zeit.de/news/2021-12/13/thyssenkrupp-gemeinschaftsfirma-baut-elektrolyse-anlage> (Stand: 06.12.2022)

DUDEN (Hrsg.): Elektrolyt 2022. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Elektrolyt> (Stand: 12.12.2022)

EHRET, Oliver: Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen. Berlin 2018. URL: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/180502_dossier-wasserstoff-und-brennstoffzellen_de_web.pdf (Stand: 06.12.2022)

ELSÄSSER, Christian; MICHLER, Thorsten; GUMBSCH, Peter: Unfallsicherheit und Lebensdauer – Materialien. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022, S. 351-366

EUROPÄISCHES PATENTAMT (Hrsg.): Herstellung und Verwendung von Trägerkatalysatoren. München 1980. URL: <https://data.epo.org/publication-server/document?iDocId=13662&iFormat=2> (Stand: 13.12.2022)

FCHO (Hrsg.): 2022 Patent Report 2022a. URL: <https://www.fchobservatory.eu/sites/default/files/reports/Chapter%205%20-%20Patents%20-%202022%20Final.pdf> (Stand: 06.12.2022)

FCHO (Hrsg.): Technology and Market 2022b. URL: <https://www.fchobservatory.eu/sites/default/files/reports/Chapter%201%20-%20Technology%20and%20Market%20-%202022%20Final%20Revised%2007.2022.pdf> (Stand: 06.12.2022)

FRAUNHOFER IEE (Hrsg.): Global PtX Atlas 2022. URL: <https://maps.iee.fraunhofer.de/ptx-atlas/> (Stand: 06.12.2022)

FRITSCH, Manuel; PULS, Thomas; SCHAEFER, Thilo: Synthetische Kraftstoffe: Potenziale für Europa: Klimaschutz- und Wertschöpfungseffekte eines Hochlaufs der Herstellung klimafreundlicher flüssiger Energieträger. Köln 2021. URL: https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/Gutachten-Synthetische_Kraftstoffe_Europa.pdf (Stand: 15.12.2022)

GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (Hrsg.): SWOT-Analyse. Wiesbaden 2018. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/swot-analyse-52664/version-275782> (Stand: 06.12.2022)

GROOS, Ulf; CREMERS, Carsten; NOUSCH, Laura; BAUMGÄRTNER, Christoph: Brennstoffzellen-Technologien. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022a, S. 259-296

GROOS, Ulf; SEMMEL, Malte; SCHAADT, Achim; BÜRGER, Stefan; HORCH, Felix; GEILING, Johannes; ÖCHSNER, Richard; KOLB, Gunter; KÖHLER, Jonathan: Einsatz von Wasserstofftechnologien in Mobilität und Transport. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022b, S. 123-153

HARST, Simon; ARMUS, Bernhard; HACKNER, Angelika; HASLINGER, Anja: In der Wasserstoffwirtschaft liegen viele Chancen. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022, S. 7-19

HARTBRICH, Iestyn 2022: Stahl: Diese Anlagentechnik wird bei Thyssenkrupp und Co. den Hochofen ablösen. In: VDI Nachrichten, Ausgabe vom 08.08.2022. URL: <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/werkstoffe/direktreduktion-diese-anlagentechnik-wird-bei-thyssenkrupp-und-co-den-hochofen-abloesen/>. URL: <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/werkstoffe/direktreduktion-diese-anlagentechnik-wird-bei-thyssenkrupp-und-co-den-hochofen-abloesen/> (Stand: 06.12.2022)

HEBLING, C.; RAGWITZ, M.; FLEITER, T.; GROOS, U.; HÄRLE, D.; HELD, A.; JAHN, M.; MÜLLER, N.; PFEIFER, T.; PLÖTZ, P.; RANZMEYER, O.; SCHAADT, A.; SENSFUß, F.; SMOLINKA, T.; WIETSCHEL, M.: Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland. Karlsruhe und Freiburg 2019.

URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/wasserstoff-roadmap-deutschland.html> (Stand: 02.02.2022)

HERKEL, Sebastian; MEYER, Robert; GERHARDT, Norman: Einsatz von Wasserstofftechnologien in Gebäuden. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022, 155-173

HYDEAL (Hrsg.): HyDeal Ambition. Mass-scale green hydrogen hubs. Paris 2022. URL: <https://www.hydeal.com/hydeal-ambition> (Stand: 06.12.2022)

HYDROGEN COUNCIL (Hrsg.): Hydrogen Insights 2022. Brüssel 2022. URL: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/09/Hydrogen-Insights-2022-2.pdf> (Stand: 06.12.2022)

IEA (Hrsg.): Electrolysers. Technology deep dive. Paris 2022a. URL: <https://www.iea.org/reports/electrolysers> (Stand: 06.12.2022)

IEA (Hrsg.): Hydrogen. Energy System Overview. Paris 2022b. URL: <https://www.iea.org/reports/hydrogen> (Stand: 06.12.2022)

INITIATIVE BRENNSTOFFZELLE (Hrsg.): Brennstoffzelle: Strom und Wärme maximal effizient. Volle Energie für das moderne Zuhause 2022. URL: <https://gas.info/fileadmin/Public/PDF-Download/Brennstoffzelle-Waermeerzeugung.pdf> (Stand: 06.12.2022)

IRENA (Hrsg.): Green hydrogen cost reduction. Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal. Abu Dhabi 2020. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf?rev=4ce868aa69b54674a789f990e85a3f00 (Stand: 06.12.2022)

JAHN, Matthias; HERZ, Gregor; DEERBERG, Görge; GLASNER, Christoph; KRAFT, Axel; MENNE, Andreas; MÜLLER (Hrsg.); KLEMENS, Ilse; SPOHN, Uwe; SCHATTAUER, Sylvia; TORSTEN (Hrsg.); SEIFERT, Ulrich; STAHL, Esther; TÜMMLER, Marcus: Einsatz von Wasserstofftechnologien in der Industrie. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022, 83-121

JENSTERLE, M.; NARITA, J.; PIRIA, R.; SCHRÖDER, J.; STEINBACHER, K.; WAHABZADA, F.; ZELLER, T.; CRONE, K.; LÖCHLE, S.: Grüner Wasserstoff: Internationale Kooperationspotenziale für Deutschland. Berlin 2020. URL: <https://www.adelphi.de/de/publikation/gr%C3%BCner-wasserstoff-internationale-kooperationspotenziale-f%C3%BCr-deutschland> (Stand: 13.12.2022)

LANGFELD, Bernhard; NEUMAIR, Urs; WEICHENHAIN, Uwe; KAUFMANN, Markus; MÜLLER-BAUM, Peter: Manufacturing technologies for equipment along the H2 value chain. Contributions of selected members of the VDMA network Power-to-X for Applications. München 2022. URL:

<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/It-s-time-to-industrialize-manufacturing-tech-for-equipment-in-the-hydrogen.html> (Stand: 13.12.2022)

LINDE (Hrsg.): Rechnen Sie mit Wasserstoff. Die Datentabelle. Dublin 2022. URL: https://www.linde-gas.at/de/images/1007_rechnen_sie_mit_wasserstoff_V111_tcm550-169419.pdf (Stand: 13.12.2022)

MEGÍA, Pedro J.; VIZCAÍNO, Arturo J.; CALLES, José A.; CARRERO, Alicia: Hydrogen Production Technologies: From Fossil Fuels toward Renewable Sources. A Mini Review. In: Energy & Fuels 35 (2021) 20, S. 16403-16415

METZ, Sebastian; SMOLINKA, Tom; BERNÄCKER, Christian I.; LOOS, Stefan; RAUSCHER, Thomas; RÖNTZSCH, Lars; ARNOLD, Michael; GÖRNE, Arno L.; JAHN, Matthias; KUSNEZOFF, Mihails; KOLB, Gunter; APFEL, Ulf-Peter; DOETSCH, Christian: Wasserstoffherzeugung durch Elektrolyse und weitere Verfahren. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022, S. 207-258

MINISTERIO DE ENERGIA (Hrsg.): National Green Hydrogen Strategy. Chile, a clean energy provider for a carbon neutral planet. Chile 2020. URL: https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf (Stand: 20.04.2022)

MÖNNIG, Anke; RONSIEK, Linus; BECKER, Lisa; STEEG, Stefanie: Wasserstoffbasierte Transformation und die Auswirkungen auf den Importbedarf Deutschlands. In: BIBB Discussion Paper (2022)

NORWEGIAN MINISTRY OF PETROLEUM AND ENERGY (Hrsg.); NORWEGIAN MINISTRY OF CLIMATE AND ENVIRONMENT (Hrsg.): The Norwegian Government's hydrogen strategy. Towards a low emission society. Oslo 2020. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127e.pdf> (Stand: 25.04.2022)

PANASONIC (Hrsg.): Hydrogen Fuel Cells for Heat and Electricity 2022. URL: <https://www.panasonic.com/uk/corporate/sustainability/products-and-solutions/hydrogen-fuel-cells.html> (Stand: 06.12.2022)

PATONIA, Aliaksei; POUDINEH, Rahmatallah: Cost-competitive green hydrogen: how to lower the cost of electrolyzers? In: OIES Paper 47 (2022)

PERNER, Jens; BOTHE, David; LÖVENICH, Andrea; SCHAEFER, Thilo; FRITSCH, Manuel: Synthetische Energieträger. Perspektiven für die deutsche Wirtschaft und den internationalen Handel. Köln 2018. URL: <https://www.iwkoeln.de/studien/manuel-fritsch-thilo-schaefer-perspektiven-fuer-die-deutsche-wirtschaft-und-den-internationalen-handel.html>

REMEHA (Hrsg.): Brennstoffzellenheizung eLecta Ace 300. Die Brennstoffzelle für das Eigenheim - Strom und Wärme gleichzeitig produzieren 2022. URL: <https://www.remeha.de/>

produkte/erneuerbare-und-hybrid/gas-hybrid-waerme-und-strom/brennstoffzelle-electa-ace-300 (Stand: 06.12.2022)

RITCHIE, Hannah; ROSER, Max; ROSADO, Pablo: Energy. In: Our World in Data (2022)

RONSIK, Linus; MÖNNIG, Anke; SCHNEEMANN, Christian; ZENK, Johanna; SCHROER, Jan P.; SCHUR, Alexander C.: Potentielle Partnerländer für den Import von grünem Wasserstoff nach Deutschland. In: BIBB Discussion Paper (2022)

SAMADI, Sascha; LECHTENBÖHMER, Stefan; VIEBAHN, Peter; FISCHER, Andreas: Renewables Pull - Verlagerung industrieller Produktion aufgrund unterschiedlicher Kosten erneuerbarer Energien. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 71 (2021) 7-8, S. 10-13

SENERTEC (Hrsg.): Der Dachs 0.8 mit Brennstoffzelle 2022. URL: <https://www.senertec.de/dachs-0-8/> (Stand: 06.12.2022)

STIFTUNG ARBEIT UND UMWELT DER IG BCE (Hrsg.): Wasserstoffbasierte Industrie in Deutschland und Europa.: Potenziale und Rahmenbedingungen für den Wasserstoffbedarf und -ausbau sowie die Preisentwicklungen für die Industrie. Berlin 2021. URL: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/53ad9f22-en.pdf?expires=1668505351&id=id&acname=guest&checksum=28D76EE3D0D3082A4CCAF5A37C314EBA> (Stand: 05.07.2022)

TÜV SÜD (Hrsg.): PEM-Brennstoffzelle erklärt. München 2022. URL: <https://www.tuvsud.com/de-de/indust-re/wasserstoff-brennstoffzellen-info/brennstoffzellen/pem-brennstoffzelle> (Stand: 13.12.2022)

UBA (Hrsg.): Carbon Capture and Storage. Bonn 2022. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/carbon-capture-storage#grundlegende-informationen> (Stand: 06.12.2022)

UBA (Hrsg.): Windenergie an Land. Bonn 2021. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/windenergie-an-land#flaeche> (Stand: 13.12.2022)

UNCTAD (Hrsg.): International Merchandise Trade Statistics. Trade Value and Volume, Merchandise: Total Trade and Share, annual. 2022. URL: <https://unctadstat.unctad.org/wds> (Stand: 13.12.2022)

VISSMANN (Hrsg.): Vitovalor PT2 Brennstoffzellenheizung 2022. URL: <https://www.viessmann.de/de/produkte/brennstoffzelle/vitovalor-pt2.html> (Stand: 13.12.2022)

WANG, Haiguang; LIU, Yongfeng; ZHANG, Jun: Hydrogen purification by Mg alloy hydrogen adsorbent. In: Adsorption 28 (2022), S. 85-95

WEBER, Enzo 2022: Den Kopf aus dem Sand! In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, Ausgabe vom 05.10.2022. URL: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/den-kopf-aus-dem-sand-18365378.html>. URL: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/den-kopf-aus-dem-sand-18365378.html> (Stand: 12.12.2022)

WEICHENHAIN, Uwe; LANGE, Simon; KOOLEN, Jan; BENZ, Anja; HARTMANN, Sandra; HEILERT, Daniela; HENNINGER (Hrsg.); SANDRA (Hrsg.); KALLENBACH, Tom: Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. München 2020. URL: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf (Stand: 06.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): East Asia & Pacific Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022a. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/EAS/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 13.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Egypt, Arab Rep. Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022b. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/EGY/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 06.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Latin America & Caribbean Imports, Tariffs by country 2020. Washington 2022c. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/LCN/Year/2020/TradeFlow/Import/Partner/by-country> (Stand: 06.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Mach and Elec Exports by country in US\$ Thousand 2020. Washington 2022d. URL: https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/WLD/Year/LTST/TradeFlow/Export/Partner/by-country/Product/84-85_MachElec# (Stand: 13.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Netherlands Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022e. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/NLD/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 13.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Norway Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022f. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/NOR/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 13.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): South Asia Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022g. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/SAS/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 13.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Spain Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022h. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/ESP/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 06.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): United Kingdom Imports, Tariffs by country and region 2020. Washington 2022i. URL: <https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/GBR/Year/2020/TradeFlow/Import> (Stand: 06.12.2022)

WELTBANK (Hrsg.): Worldwide Governance Indicators. Washington 2022j. URL: <https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators/Series/PV.EST> (Stand: 06.12.2022)

WIETSCHEL, Martin; DÜTSCHKE, Elisabeth; NEUWIRTH, Marius; SCHERRER, Aline; ZHENG, Lin; GERHARDT, Norman; HERKEL, Sebastian; JAHN, Matthias; LOZANOVSKI, Aleksandar; PFLUGER, Benjamin; PIETON, Natalia; RAGWITZ, Mario; SCHNABEL, Frieder: Potenziale einer Wasserstoffwirtschaft aus wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Perspektive. In: NEUGEBAUER, Reimund (Hrsg.): Wasserstofftechnologien. Berlin, Heidelberg 2022, S. 21-51

WV STAHL (Hrsg.): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland. Berlin 2020. URL: https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/WV-Stahl_Fakten-2020_rz_neu_Web1.pdf (Stand: 13.12.2022)

ZENK, Johanna; MÖNNIG, Anke; RONSIEK, Linus; SCHNEEMANN, Christian; SCHUR, Alexander C.; STEEG, Stefanie: Erste Abschätzung möglicher Arbeitsmarkteffekte durch die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie bis 2030 (2023, im Erscheinen)

8 Anhang

Tabelle 2: Übersicht über geplante Produktionskapazitäten nach Land mit Quellenangabe

| Land | Art des geförder-ten Wasserstoffs | Produktionskapazität in GW | H2 Technologie- exporte in Strategie- papier geplant | Quelle Strategiepapier |
|-------------|-----------------------------------|----------------------------|--|---|
| Ägypten | grüner H2 | 12 | Nein | https://hydrogen-central.com/cop27-egypt-40bn-green-hydrogen-economy-foreign-investment/#:~:text=The%20government%20of%20Egypt%20plans%20to%20release%20a,and%20allowing%20for%20state%20support%20and%20tax%20incentives. |
| Algerien | NA | 6 | Nein | https://renewablesnow.com/news/algerias-energy-min-to-devise-hydrogen-development-strategy-783843/ |
| Australien | keine bestimmte Farbe | 170 | Nein | https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/australias-national-hydrogen-strategy.pdf |
| Belgien | grüner H2 | 0,2 | Ja | https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/View-strategy-hydrogen.pdf |
| Bolivien | grüner H2 | NA | Nein | https://www.h2bulletin.com/bolivia-plans-to-add-green-hydrogen-to-its-energy-mix/#:~:text=Bolivia%20wants%20to%20develop%20the%20country%20green%20hydrogen,diversify%20the%20country%E2%80%99s%20energy%20mix%20and%20reduce%20emission. |
| Brasilien | keine bestimmte Farbe | 6 | Nein | https://www.bakermckenzie.com/en/insight/publications/2021/05/hydrogen-in-brazil |
| Bulgarien | grüner H2 | 1 | Nein | https://enerloop.investinnet.com/bulgaria-to-develop-a-roadmap-targeting-1-1gw-green-hydrogen-capacity-by-2030/ |
| Chile | grüner H2 | 25 | Nein | https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf |
| China | grüner H2 | 2 | Nein | https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/zctj/202203/t20220323_1320046.html?code=&state=123 |
| Costa Rica | grüner H2 | NA | Nein | https://www.worldfuturecouncil.org/wp-content/uploads/2020/06/wfc_costarica-100-re-roadmap_FINAL1.pdf |
| Dänemark | keine bestimmte Farbe | 6 | Ja | https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/strategy_ptx.pdf |
| Deutschland | grüner H2 | 10 | Ja | https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile ; https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf |
| Finnland | keine bestimmte Farbe | 2 | Nein | https://www.businessfinland.fi/4abb35/global-assets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--cleantech/alykas-energia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf |

| | | | | |
|-------------|-----------------------|------|------|---|
| Frankreich | keine bestimmte Farbe | 7 | Ja | https://www.bdi.fr/wp-content/uploads/2020/03/PressKitProvisionalDraft-National-strategy-for-the-development-of-decarbonised-and-renewable-hydrogen-in-France.pdf |
| Indien | grüner H2 | 25 | Nein | https://www.niti.gov.in/sites/default/files/2022-06/Harnessing_Green_Hydrogen_V21_DIGITAL_29062022.pdf |
| Irland | grüner H2 | NA | Nein | https://www.gov.ie/en/consultation/5c087-consultation-on-developing-a-hydrogen-strategy-for-ireland/ |
| Israel | grüner und blauer H2 | 0,03 | Nein | https://energycom.org.il/wp-content/uploads/2021/09/Israel-Brief-Overview-on-Hydrogen-for-Round-Tables-1-9-2021-En.pdf |
| Italien | keine bestimmte Farbe | 5 | Nein | https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/Strategia_Nazionale_Idrogeno_Linee_guida_preliminari_nov20.pdf |
| Japan | keine bestimmte Farbe | NA | Ja | https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/others/basic_plan/5th/pdf/strategic_energy_plan.pdf |
| Kanada | keine bestimmte Farbe | 36 | Ja | https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/environment/hydrogen/NRCan_Hydrogen-Strategy-Canada-na-en-v3.pdf |
| Kasachstan | grüner H2 | 30 | Nein | https://www.pv-magazine.com/2021/06/29/the-hydrogen-stream-45-gw-project-in-kazakhstan-new-push-from-norway/ |
| Kolumbien | grüner und blauer H2 | 2 | Nein | https://www.minenergia.gov.co/documents/5862/Colombias_Hydrogen_Roadmap_2810.pdf |
| Kroatien | keine bestimmte Farbe | 0,07 | Nein | https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Croatian%20Hydrogen%20Strategy%20ENG%20FINAL%2022%208.pdf |
| Marokko | grüner H2 | 5 | Nein | https://www.fedenerg.ma/wp-content/uploads/2020/06/2020-06-26_IKKEN_2020_IRESEN_PtX_V3.pdf |
| Mauretanien | grüner H2 | 10 | Nein | https://www.afrik21.africa/en/mauritania-chariot-to-produce-and-export-green-hydrogen-through-nour-project/#:~:text=Mauritania%20could%20be%20home%20to%20one%20of%20the,aim%20of%20reaching%20a%20capacity%20off%2010%20GW. |
| Mexiko | NA | 32 | Nein | https://www.icis.com/explore/resources/news/2021/07/07/10660771/mexico-has-potential-to-become-hydrogen-hub/ |
| Namibia | grüner H2 | 3 | Nein | https://gh2namibia.com/wp-content/uploads/2022/09/Traction-Namibias-Green-Hydrogen-Overview.pdf |
| Neuseeland | grüner H2 | 8 | Nein | https://www.mbie.govt.nz/dmsdocument/6798-a-vision-for-hydrogen-in-new-zealand-green-paper |
| Niederlande | grüner H2 | 4 | Ja | https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen |
| Norwegen | grüner und blauer H2 | NA | Nein | https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127e.pdf |
| Oman | grüner und blauer H2 | 10 | Nein | https://www.omanobserver.om/article/1109988/business/omans-hydrogen-production-capacity-projected-at-30-gw-by-2040 |

| | | | | |
|---------------|-----------------------|------|------|---|
| Österreich | grüner H2 | 1 | Ja | https://www.bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/wasserstoff/strategie.html |
| Panama | NA | NA | Nein | https://energynews.biz/panama-prepares-to-become-the-global-green-hydrogen-route/ |
| Paraguay | grüner H2 | NA | Nein | https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/H2/DIGITAL_ENG_H2_Marco_Conceptual.pdf |
| Polen | keine bestimmte Farbe | 2 | Nein | https://www.gov.pl/web/klimat/polska-strategia-wodorowa-do-roku-2030 |
| Portugal | grüner H2 | 2 | Nein | https://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/EN_H2_ENG.pdf |
| Rumänien | keine bestimmte Farbe | NA | Nein | https://energy.ec.europa.eu/system/files/2019-02/romania_draftnecp_en_0.pdf |
| Russland | keine bestimmte Farbe | 24 | Nein | http://static.government.ru/media/files/7b9bstNfV640nCkkAzCRJ9N8k7uhW8mY.pdf |
| Saudi-Arabien | grüner und blauer H2 | 35 | Nein | https://www.csis.org/analysis/saudi-arabias-hydrogen-industrial-strategy |
| Schweden | grüner H2 | 5 | Ja | https://lighthouse.nu/wp-content/uploads/2021/11/Fo%CC%88rslag-till-nationell-strategi-25-nov.pdf |
| Schweiz | NA | NA | Nein | https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefft?AffairId=20204406 |
| Singapur | grüner und blauer H2 | NA | Nein | https://file.go.gov.sg/studyofhydrogenimportsanddownstreamapplicationsforsingapore.pdf |
| Slowakei | grüner und blauer H2 | NA | Ja | https://nvas.sk/NVS_EN.pdf |
| Spanien | grüner H2 | 4 | Nein | https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/energy_climate_change_environment/events/presentations/02.03.02_mf34_presentation-spain-hydrogen_roadmap-cabo.pdf |
| Südafrika | keine bestimmte Farbe | 6 | Nein | https://www.dst.gov.za/images/South_African_Hydrogen_Society_RoadmapV1.pdf |
| Südkorea | grüner und blauer H2 | 15 | Ja | https://docs.wixstatic.com/ugd/45185a_551e67dca75340569e68e37eea18f28e.pdf |
| Tschechien | keine bestimmte Farbe | 1 | Ja | https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/strategie-projekty/2021/9/Hydrogen-Strategy_CZ_2021-09-09.pdf |
| Tunesien | grüner H2 | 4 | Nein | https://www.giz.de/en/worldwide/109262.html |
| Türkei | NA | 1 | Nein | https://www.h2bulletin.com/turkey-plans-to-develop-hydrogen-strategy-with-grey-and-green/ |
| Ukraine | keine bestimmte Farbe | 0,01 | Ja | https://unece.org/sites/default/files/2021-03/Hydrogen%20Roadmap%20Draft%20Report_ENG%20March%202021_0.pdf |
| Ungarn | keine bestimmte Farbe | 0,2 | Ja | https://cdn.kormany.hu/uploads/document/a/a2/a2b/a2b2b7ed5179b17694659b8f050ba9648e75a0bf.pdf |
| Uruguay | grüner H2 | 1 | Nein | https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/Green%20Hydrogen%20Roadmap%20in%20Uruguay.pdf |

| | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|----|------|---|
| Vereinigte Arabische Emirate | grüner und blauer H2 | 7 | Nein | https://wam.ae/en/details/1395302988986 |
| Vereinigte Staaten von Amerika | keine bestimmte Farbe | 31 | Nein | https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/hydrogen-program-plan-2020.pdf |
| Vereinigtes Königreich | keine bestimmte Farbe | 10 | Ja | https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1092555/hydrogen-strategy-update-to-the-market-july-2022.pdf |

Die Tabelle wurde anhand umfangreicher Recherchen erstellt, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.
Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 3: Übersicht über Elektrolyseurhersteller nach Firmensitz und Produktionsstätten mit Quellenangabe

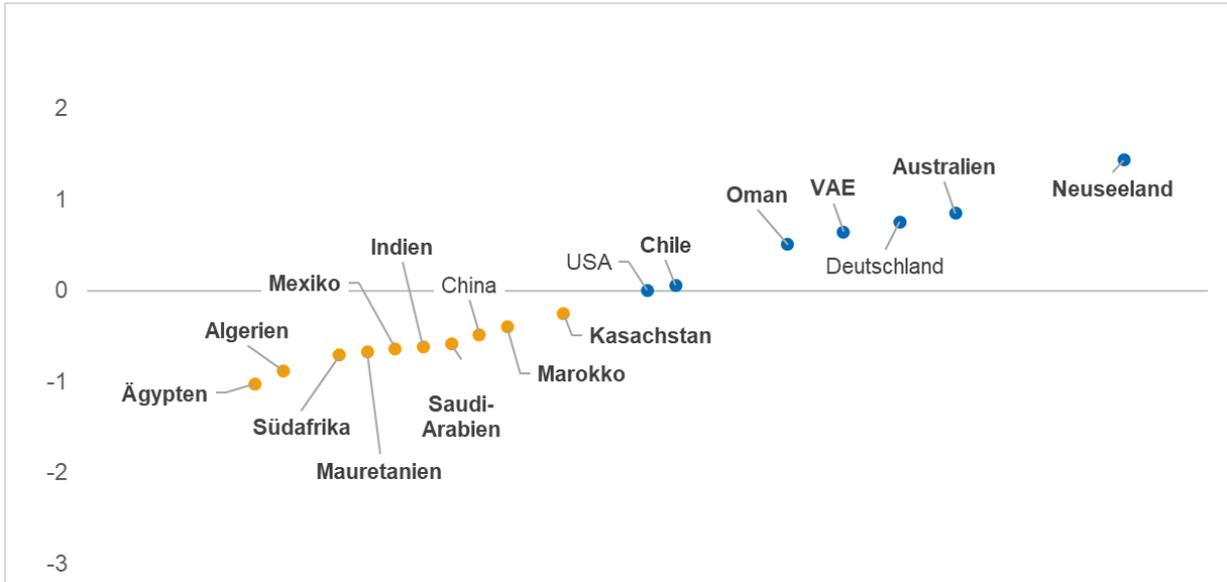
| Firma | Firmensitz | Produktionsstätten (Land) | Unternehmenswebsite |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|
| Amalyst Ltd | Vereinigtes Königreich | NA | http://www.amalyst.com/ |
| AquaHydrex Inc. | Vereinigte Staaten von Amerika | NA | https://aquahydrex.com/ |
| Asahi Kasei Corporation | Japan | NA | https://www.asahi-kasei.com/ |
| Beijing SinoHy Energy Co., Ltd. | China | NA | https://www.sinohyenergy.com/ |
| Bluegen | Italien | NA | https://bluegen.eu/en/ |
| Clean Power Hydrogen Group Ltd. | Vereinigtes Königreich | Vereinigtes Königreich | https://www.cph2.com/ |
| John Cockerill | Belgien | Frankreich, Indien, China | https://johncockerill.com/en/ |
| Cummins Enze | China | China | https://www.cumminssale.com/cummins-and-sinopec-officially-launch-joint-venture-to-produce-green-hydrogen-technologies-in-china.html |
| Cummins Inc. | Vereinigte Staaten von Amerika | Belgien | https://www.cummins.com/ |
| Elogen SAS | Frankreich | Frankreich | https://elogenh2.com/en/ |
| Enapter AG | Deutschland | Italien, Deutschland | https://www.enapterag.de/ |
| Fortescue Future Industries | Australien | Australien | https://ffi.com.au/ |
| Green H2 Systems | Deutschland | NA | https://www.green-h2-systems.de/en/ |
| Green Hydrogen Systems | Dänemark | Dänemark | https://greenhydrogensystems.com/ |
| H2 Core Systems GmbH | Deutschland | NA | https://www.h2coresystems.com/ |
| Haldor Topsoe A/S | Dänemark | Dänemark | https://www.topsoe.com/ |
| HIAT gGmbH | Deutschland | NA | https://www.hiat.de/ |
| Hitachi Zosen Corporation | Japan | NA | https://www.hitachizosen.co.jp/english/ |
| Hoeller Electrolyzer GmbH | Deutschland | NA | https://hoeller-electrolyzer.com/ |

| | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Honda Motor Co., Ltd. | Japan | NA | https://global.honda/ |
| H-Tec Systems GmbH | Deutschland | Deutschland | https://www.h-tec.com/ |
| Hydrogen Optimized Inc. | Kanada | Kanada | https://hydrogenoptimized.com/ |
| HydrogenPro AS | Norwegen | Norwegen | https://hydrogen-pro.com/ |
| Hystar | Norwegen | Norwegen | https://hystar.com/ |
| Hytron Energie Gases Industriais | Brasilien | NA | https://www.hytron.com.br/ |
| iph Hähn GmbH | Deutschland | NA | http://iph-haehn.de/index.html |
| ITM Power plc | Vereinigtes Königreich | Vereinigtes Königreich | https://itm-power.com/ |
| JA-Gastechnology GmbH | Deutschland | NA | https://www.jag.de/index.html |
| Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. | Japan | Japan, Vietnam | https://www.kobelco-eco.co.jp/english/ |
| <u>Kyros Hydrogen Solutions GmbH</u> | Deutschland | NA | https://www.kyocera-avx.com/ |
| McPhy Energy S.A. | Frankreich | Italien | https://mcphy.com/de/ |
| Nel Hydrogen Electrolyser AS | Norwegen | Norwegen | https://nelhydrogen.com/ |
| Ohmium International, Inc. | Vereinigte Staaten von Amerika | Indien | https://www.ohmium.com/ |
| Ostermeier H2ydrogen Solutions GmbH | Deutschland | NA | https://ohs.energy/ |
| PERIC Hydrogen Technologies Co., Ltd. | China | NA | http://en.perichtec.com/ |
| Plug Power Inc. | Vereinigte Staaten von Amerika | Vereinigte Staaten von Amerika | https://www.plugpower.com/ |
| Pure Energy Centre | Vereinigtes Königreich | NA | https://pureenergycentre.com/ |
| Quintech | Deutschland | NA | https://www.quintech.de/ |
| Robert Bosch GmbH | Deutschland | NA | https://www.bosch.de/ |
| Schaeffler AG | Deutschland | NA | https://www.schaeffler.de/en/ |

| | | | |
|--|--------------------------------|--|---|
| Shandong Saikesaisi Hydrogen Energy Co., Ltd. | China | NA | http://www.qi-spe.com/en/ |
| Siemens Energy | Deutschland | Deutschland | https://www.siemens-energy.com/de/de.html |
| Sunfire GmbH | Deutschland | Deutschland | https://www.sunfire.de/de/ |
| SunGreenH2 | Singapur | NA | https://www.sungreenh2.com/ |
| Supercritical Solutions Ltd. | Vereinigtes Königreich | NA | https://www.supercritical.solutions/ |
| Teledyne Technologies Inc. | Vereinigte Staaten von Amerika | NA | https://www.teledyne.com/en-us |
| TFP Hydrogen Products Ltd | Vereinigtes Königreich | Vereinigtes Königreich, Vereinigte Staaten von Amerika | https://www.tfphydrogen.com/ |
| Thiozen Inc. | Vereinigte Staaten von Amerika | NA | https://thiozen.com/ |
| Thyssenkrupp Nucera AG & Co. KGaA | Deutschland | NA | https://thyssenkrupp-nucera.com/ |
| Tianjin Mainland Hydrogen Equipment Co., Ltd. | China | NA | http://www.cnthe.com/en/index.html |
| Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation | Japan | NA | https://www.global.toshiba/ww/company/energy.html |
| Verdagy | Vereinigte Staaten von Amerika | Vereinigte Staaten von Amerika | https://verdagy.com/ |
| WEW GmbH | Deutschland | NA | https://wewhydrogen.com/de/ |

Die Tabelle wurde anhand umfangreicher Recherchen erstellt, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 6: Platzierung potenzieller Exportdestinationen und Referenzländer im Index „Political Stability and Absence of Violence/Terrorism“ der Weltbank 2021



Der Index wurde für 213 Länder berechnet und reicht von -2,7 (Somalia) bis +1,9 (Grönland). Er umfasst die Dimensionen „Mitspracherecht und Verantwortlichkeit“, „Politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt/Terrorismus“, „Wirksamkeit des Regierungshandelns“, „Regulierungsqualität“, „Rechtsstaatlichkeit“ und „Korruptionskontrolle“.

Quelle: WELTBANK (2022j)