

WASSERSTOFF IM SAARLAND |

Chancen für Klimaschutz und Beschäftigung

Wasserstoff ist ein vielseitiger und vielversprechender Energieträger und Rohstoff, der beim klimaneutralen Umbau des Energie- und Wirtschaftssystems eine wichtige Rolle spielen wird. Im Saarland wird vor allem die Stahlindustrie künftig enorme Mengen benötigen. Sowohl Elektrolyse im Saarland als auch Import und Transportinfrastrukturen müssen daher dringend organisiert werden. Bei anderen Anwendungen erscheint es sinnvoll, alle erfolgversprechenden Optionen zu beobachten und dabei den frühzeitigen Aufbau von Kompetenzen in Unternehmen und Forschungseinrichtungen wie vor allem in der Aus- und Weiterbildung in die Wege zu leiten.

• Von Bertold Schweitzer

Wasserstoff als Energieträger und Rohstoff wird in zukünftigen klimaneutralen Energie- und Wirtschaftssystemen eine entscheidende Bedeutung zugeschrieben. Auf der Erde kommt Wasserstoff jedoch praktisch nicht frei vor und ist daher selbst keine Energiequelle (im Sinne von „Primärenergieträger“). Er muss immer mit Hilfe anderer Energieträger erzeugt werden.

Zur klimaneutralen Herstellung von „grünem“ Wasserstoff ist in erster Linie Elektrolyse (also Zerlegung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff) unter Einsatz klimaneutral erzeugten Stroms geeignet. Die bisher meist praktizierte Herstellung von „grauem“ Wasserstoff aus Erdgas durch Dampfreformierung erzeugt viel CO₂. Aus Klimagesichtspunkten akzeptabel wäre dies nur, wenn das entstehende CO₂ konsequent aufgefangen und verwendet oder gespeichert würde („blauer“ Wasserstoff).

Einmal hergestellt, kann Wasserstoff als Energieträger in Turbinen, Verbrennungsmotoren, Brennern und Brennstoffzellen dienen und mechanische Arbeit, Elektrizität und Wärme erzeugen. Wasserstoff dient außerdem als Rohstoff oder Reaktionsmittel („Feedstock“) zur Direktreduktion von Eisenerz, Hydrierung und Hydrocracken (in Raffinerien) sowie zur Herstellung von Ammoniak, Methanol und synthetischen Kohlenwasser-

stoffen („E-Fuels“). Zudem kann Energie in Form von Wasserstoff langfristig gespeichert werden.

In der chemischen Industrie wird Wasserstoff seit langem im größerem Maßstab eingesetzt, hier muss auf klimaneutralen Wasserstoff umgestellt werden. Bei der Primärstahlherstellung muss vom Hochofenverfahren, bei dem Eisenerz mit Hilfe von Kohlenstoff reduziert wird, auf die Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff umgestiegen werden. Technisch scheint dieses Verfahren ausgereift, aber gerade die Primärstahlherstellung wird enorme Mengen an Wasserstoff brauchen: Allein die saarländische Stahlherstellung könnte bis zu 12 Tera-



Foto: STEAG GmbH

Am Kraftwerkstandort Fenne soll im Rahmen des Projekts Hydrohub Fenne ein Elektrolyseur zur Herstellung von grünem Wasserstoff entstehen.

wattstunden (TWh) – gleich 300.000 t – Wasserstoff pro Jahr benötigen, für deren Herstellung etwa 16 TWh Strom erforderlich wären. (Zum Vergleich: Der gesamte derzeitige Stromverbrauch im Saarland liegt bei 8 TWh pro Jahr.)¹

Was ist Wasserstoff?

Wasserstoff ist das häufigste Element im Universum. Auch auf der Erde ist er reichlich vorhanden, überwiegend gebunden in Wasser, Säuren, Kohlenwasserstoffen. Die Herstellung von molekularem Wasserstoff (chemische Formel: H₂) bedeutet stets die Abtrennung aus derartigen Molekülen. Dies benötigt immer Primärenergie aus anderen Quellen. H₂ zählt daher

AK-Kernforderungen

1. Die Landesregierung sollte eine Eröffnungsbilanz zu Klima und Energie sowie eine jährliche Energie- und CO₂-Bilanz für das Saarland vorlegen.
2. Die Wasserstoffstrategie der Landesregierung sollte präzisiert werden. Das Saarland braucht nachvollziehbare Zahlen, Daten und Zeithorizonte zu: Wasserstoffbedarf, Aufbau von Elektrolyse- und Importkapazitäten, Elektrolyseurstandorten, regionalen Pipelines und der Anbindung an den European Hydrogen Backbone
3. Die Analyse von Beschäftigungspotenzialen und Qualifizierungsbedarfen muss ins Zentrum der Landesstrategie gerückt werden. Aus- und Weiterbildung für Wasserstoffberufe und veränderte Berufe ist entsprechend zu fördern.
4. Die Landesregierung ist aufgefordert, die Vielzahl von Akteuren und Projekten im Land miteinander zu vernetzen, um Synergieeffekte zu heben und einen sinnvollen Einsatz von Fördermitteln zu gewährleisten. Der konsequente Austausch mit Wirtschaft, Arbeit und Wissenschaft in einem operativ tätigen Strukturat könnte dazu einen wertvollen Beitrag leisten.

zur den Sekundärenergie-trägern. Molekularer Wasserstoff (H_2) ist unter Normalbedingungen gasförmig. Er ist etwa 14,4-mal leichter als Luft und ist farb-, geruchs- und geschmacklos. Bei sehr tiefen Temperaturen (unter $-252\text{ }^\circ\text{C}$) wird er flüssig und unter $-259\text{ }^\circ\text{C}$ fest.

Wasserstoff verbrennt mit Luftsauerstoff (O_2) zu Wasser (H_2O). Eine H_2 -Luft-Mischung ist bei vier bis 75 Prozent H_2 -Anteil brennbar. Der Energiegehalt von H_2 liegt bei 33,3 Kilowattstunden (kWh) pro Kilogramm (kg) (Heizwert) bzw. 39,39 kWh/kg (Brennwert). Zum Vergleich: Diesel hat einen Heizwert von 11,8 kWh/kg und einen Brennwert von 12,6 kWh/kg.

Damit ist die Energiedichte von Wasserstoff bezogen auf die Masse am höchsten unter gängigen Energieträgern. Allerdings ist sie am geringsten bezogen auf das Volumen. Die Speicherung und der Transport von Wasserstoff ist daher deutlich anspruchsvoller als beispielsweise von Diesel. Diese Herausforderungen erscheinen jedoch lösbar.

Einsatzbereiche

Da klimaneutraler Wasserstoff auf klimaneutralen Strom angewiesen ist und daher noch knapp und teuer ist, sprechen Effizienzgesichtspunkte dafür, Wasserstoff zunächst vor allem dort einzusetzen, wo direkte Elektrifizierung nicht sinnvoll und wirtschaftlich ist. Eine viel beachtete Einordnung von Wasserstoffanwendungen nach diesem Gesichtspunkt zeigt das Schaubild auf der nächsten Seite („Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs“). Es besteht allgemein Einigkeit, dass der Einsatz von Wasserstoff in der Chemie- und Stahlindustrie unumgänglich ist. Über andere Anwendungen wird jedoch noch gestritten. So wird darauf hingewie-



sen, dass Wasserstoff und E-Fuels etwa bei Kraftfahrzeugen und Wärme auch gewisse Vorteile gegenüber direkter Elektrifizierung böten, unter anderem Nutzung vorhandener Infrastrukturen, Entlastung der Stromnetze, einfachere Handhabung, bei Fahrzeugen größere Reichweite und schnellere Betankung, bei Wärme Einsatzmöglichkeit bei wenig isolierten Bauten. All dies trifft grundsätzlich zu, ändert aber nichts daran, dass E-Fuel-Fahrzeuge für die gleiche Fahrleistung etwa fünfmal mehr Strom brauchen als batterieelektrische und E-Fuel-Heizungen sechs- bis 14-mal mehr Strom als Wärmepumpen.³ Das stellt zwar kein Argument gegen Erprobung und Pilotprojekte dar, spricht aber vorläufig gegen einen Einsatz in der Breite, solange klimaneutraler Strom nicht in wesentlich größeren Mengen verfügbar ist – und hier gehen die Prognosen (noch) weit auseinander. Die wichtigsten renommierten Klimaneutralitätsszenarien für Deutschland⁴, die mögliche Pfade zur Klimaneutralität auch und gerade unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten untersucht haben, zeigen

die eindeutige Notwendigkeit des Einsatzes von Wasserstoff. Der jährliche Wasserstoffbedarf in Deutschland im Jahr 2045 bzw. 2050 wird auf 215 bis 459 TWh pro Jahr geschätzt. Dabei sehen alle sieben betrachteten Szenarien den größten Wasserstoffbedarf in den Sektoren Industrie und Energie. Beim Verkehr liegen die Schätzungen zwischen nahe Null und 91 TWh pro Jahr. Im Gebäudesektor sehen nur drei der sieben Szenarien überhaupt eine Wasserstoffnutzung und nur eine einen Bedarf von mehr als zehn Prozent des gesamten Wasserstoffbedarfs.⁵

Wasserstoffherstellung und Transport

Zu geeigneten Produktionsstandorten und Transportmöglichkeiten für klimaneutralen Wasserstoff gibt es weit auseinanderliegende Auffassungen: Vorschläge zu Elektrolyse in Deutschland umfassen dezentrales Vorgehen (hier wäre eine geeignete Stromversorgung und deshalb ein starker Ausbau der Stromnetze erforderlich), Elektrolyse direkt an windreichen Standorten onshore (vor allem im Norden) oder offshore (Nordsee, möglicherweise auf künstlichen Inseln; in allen Fällen müsste ein entsprechendes Wasserstoff-Pipeline-Netz ausgebaut werden). Ebenso ist vorgeschlagen worden, Elektrolyse an geeigneten Standorten im europäischen Ausland oder Nordafrika anzusiedeln. Bei noch weiter entfernten Standorten weltweit dürfte sich ein Import über Pipelines aus Kostengründen verbieten; hier kommt nur der Schiffstransport von

Mengenangaben und Umrechnungen

Wasserstoffmengen können erstens als **Masse** (Kilogramm, kg; Tonne, t) angegeben werden. Zweitens kann das **Volumen** genannt werden (Liter, l; Kubikmeter m^3); hier müssen immer auch Druck und Temperatur angegeben sein (üblich: „Normvolumen“ 1,01325 bar und $0\text{ }^\circ\text{C}$). Drittens findet sich häufig – den Vergleich verschiedener Energieträger erleichternd – die Angabe des **Energiegehalts** (Kilowattstunde, kWh; Terawattstunde, TWh = Milliarde Kilowattstunden; auch Joule, J, und Megajoule, MJ). Hier sollte – was nicht immer der Fall ist – klargestellt sein, ob der Heizwert (Lower Heating Value, LHV) oder der Brennwert (Higher Heating Value, HHV) gemeint ist: Der Unterschied beträgt immerhin 18 Prozent. Für Umrechnungen gilt:

- 1 kg H_2 = 11,1 m^3 H_2 (Normvolumen, also bei 1,01325 bar und $0\text{ }^\circ\text{C}$)
- 1 kg H_2 = 33,3 kWh (Heizwert) H_2 = 120,1 MJ (Heizwert) H_2
- 1 kg H_2 = 39,4 kWh (Brennwert) H_2 = 141,8 MJ (Brennwert) H_2

Vorsilben: Mega, M = Million, 10^6 ; Giga, G = Milliarde, 10^9 ; Tera, T = Billion, 10^{12} ; Abkürzungen: a = Jahr

komprimiertem oder verflüssigtem Wasserstoff in Frage.

Anteile am Energiemix

Ein beispielhaftes Szenario für die Veränderung des Energiemixes in Deutschland über die nächsten gut zwanzig Jahre hat das Kopernikus-Projekt Ariadne vorgelegt: Der Endenergieverbrauch sinkt durch Einsparungen und Effizienzsteigerungen insgesamt um gut 40 Prozent. Fossile Brennstoffe (Kohle, Erdöl und Erdgas) sowie fossil erzeugter Strom werden komplett ersetzt durch klimaneutralen Strom, der etwa zwei Drittel des Endenergieverbrauchs ausmachen wird sowie Wasserstoff und andere strombasierte Kraftstoffe, die zusammen gut ein Sechstel beitragen.⁶ Auch diese Angaben deuten darauf hin, dass Wasserstoff in bestimmten Sektoren wie Stahlherstellung dominieren, aber in anderen eher selektiv eingesetzt werden wird.

Wasserstoffbedarf im Saarland

Der künftige Wasserstoffbedarf des Saarlandes lässt sich aus dem deutschlandweiten Bedarf abschätzen.⁷ Das Saarland wird im Vergleich überdurchschnittlich viel Wasserstoff benötigen, da hier 1,2 Prozent der Bevölkerung Deutschlands, aber 15 Prozent der Stahlherstellung angesiedelt sind. Diese Schätzungen zeigen, dass im Saarland – anders als an den meisten anderen Standorten – der weitaus größte Anteil des Wasserstoffbedarfs bei der Stahlindustrie entsteht, weit vor allen anderen, im Detail noch nicht in Einzelheiten absehbaren anderen Bedarfen.

Benötigte Elektrolysekapazitäten

Der geplante und als „großindustriell“ angekündigte Elektrolyseur am Standort Fenne soll eine elektrische Leistung von 35 Megawatt (MW) aufweisen und liefert unter realistischen Annahmen 0,1 TWh pro Jahr.⁹ Legt man die von der AK prognostizierten Wasserstoffbedarfe des Saarlandes (2030: 3,6 TWh/a; 2050: 16 TWh/a) zugrunde, so stellt man fest, dass zur deren Deckung im Jahr 2030 rechnerisch gut 36 und im Jahr 2050 sogar gut 160 derartige Anlagen benötigt würden.¹⁰ Alle seriösen Szenarien gehen allerdings davon aus, dass mindestens die Hälfte des deutschen Wasserstoffbe-

Erwartbare Wasserstoff-Bedarfe in TWh / a, gerundet				
Gebiet	Jahr	Stahl	übrige Bereiche	gesamt
Deutschland	2030	20	80	100
Saarland	2030	3	1	4
Deutschland	2050	80	320	400
Saarland	2050	12	4	16

Quellen: Bundesregierung (2020, vgl. Fußnote 7); Angaben aus der saarländischen Stahlindustrie; eigene Berechnungen

Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Nach M. Liebreich, 2021)

Alternativlos



Die „Clean Hydrogen Ladder“ zeigt die sinnvollen Einsatzbereiche für Wasserstoff auf⁸. Hier wird die deutsche Übersetzung von Wikipedia gezeigt, angepasst an die neueste englische Version.

darfs künftig importiert werden muss. Das heißt, dass die Landesregierung dringend sowohl eine massive Steigerung der eigenen Elektrolysekapazitäten weit über 35 MW hinaus, verbunden mit einem schnellen Ausbau erneuerbarer Energien, als auch die Organisation von Importen und den dafür nötigen Transportinfrastrukturen wird in die Wege leiten müssen. Im Rahmen der Diskussion ist zu beachten: Auch aktuell ist das Saarland nicht energieautark, der Import von Energieträgern an sich ist also nichts Neues.

Wasserstoff-Pipelines

Für den Einstieg in ein regionales Wasserstoffnetz erscheint die Umwidmung vorhandener Pipelines, ergänzt durch einige Neubaubauabschnitte, technisch wie rechtlich möglich und sinnvoll. Die Umrüstung vorhandener Pipelines Fenne-Carling-Bouzonville und ein Neubau Bouzonville-Dillingen sind Teil eines im EU-Genehmigungsverfahren befindlichen IPCEI („Important Project of Common European Interest“). Die Umrüstung von Pipelines Bouzonville-Perl und Fenne-Saarbrücken, die Wasserstoff-tankstellen für Züge versorgen könnten, wurde in einer ersten IPCEI-Runde zunächst nicht als förderungsfähig eingestuft. Bei nicht allen vorhandenen Pipelines wird die Kapazität langfristig ausreichen, daher muss auch deren weiterer Ausbau rechtzeitig angegangen werden. Von höchster Dringlichkeit ist in allen Fällen, sicherzustellen, dass Planung, Genehmigung und Bau sehr zügig durchgeführt werden können. Rechtliche Ansatzpunkte für schnelle Verfahren gibt es bereits in Teilen, hier muss die Landesregierung unbedingt für Transparenz sor-

gen. Auch der Anschluss an das europäische Wasserstoffnetz („European Hydrogen Backbone“) sollte ohne Verzögerung vorbereitet werden: Eine Erdgas-Pipeline, deren Umstellung auf Wasserstoff angedacht ist, berührt das Saarland im Südosten und führt weiter in den Raum Nancy. Hier muss unbedingt erkundet werden, wie eine Verbindung ins Saarland hergestellt werden kann, zum Beispiel über Carling.

Priorität Stahlherstellung

Unumstritten ist, dass der Erhalt der Stahlproduktion und damit wichtiger Arbeitsplätze unter der Bedingung Guter Arbeit im Saarland an die Versorgung mit Wasserstoff geknüpft ist. Für die Primärstahlherstellung werden enorme Mengen an klimaneutralen Wasserstoff benötigt. Ohne Zweifel wird dafür eine Kombination von erheblichen Mengen an klimaneutralem Strom, der in der Region zur elektrolytischen Herstellung von Wasserstoff eingesetzt wird, und dem Import von Wasserstoff durch Pipelines von außerhalb der Region erforderlich sein. Strom- und Wasserstoffherzeugung außerhalb der Region, Strom- und Wasserstofftransport in die Region und eigene Strom- und Wasserstoffherzeugung (Windkraft- und PV-Anlagen, Elektrolyseure) müssen daher, intelligent abgestimmt aufeinander, mit hoher Geschwindigkeit ausgebaut werden. Sicher ist weiter, dass ein regionales Pipeline-Netz mit Anschluss an überregionale Transportnetze („European Hydrogen Backbone“) dafür zwingend erforderlich ist. Daraus folgt die Notwendigkeit, Quellen und Transportwege extrem zügig (Planung, Genehmigung, finanzielle Förderung) sicherzustellen. Wenn die Wasserstoffversorgung für Stahl erst einmal etabliert ist, kann bei entsprechenden

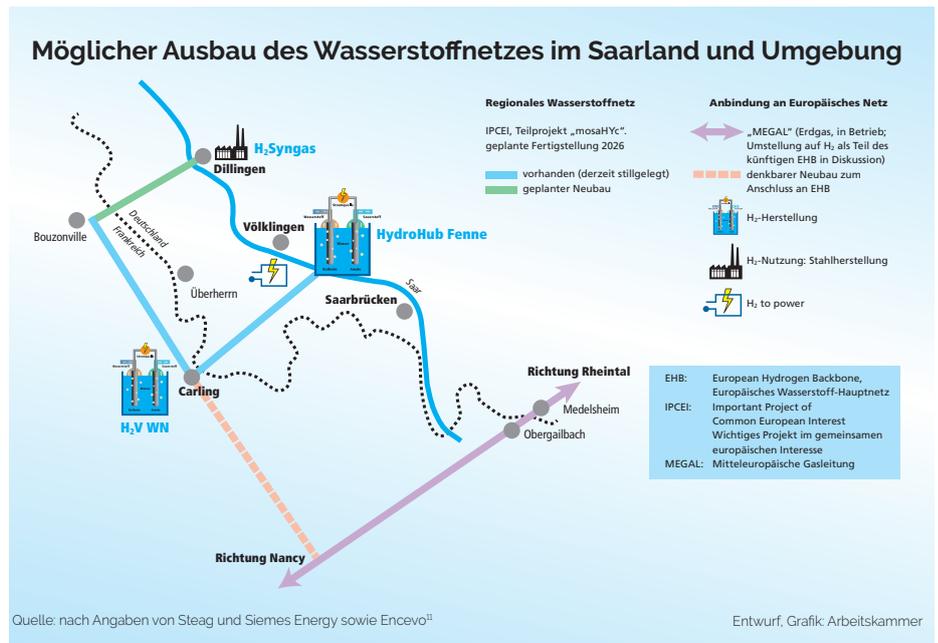
Marktdynamiken auch die Wasserstoffnachfrage für andere Anwendungen sehr viel leichter bedient werden.

Nächste Schritte

Im Interesse des Saarlandes ist es aus AK-Sicht am sinnvollsten, eine zunächst an den offensichtlichen Bedarfen der Stahlindustrie orientierte und im Übrigen in Bezug auf sich noch schwer vorhersehbar entwickelnde Anwendungsszenarien anpassungsfähige Wasserstoffstrategie zu entwickeln und umzusetzen. Dazu zählt (1) das Angebot an klimaneutralem Wasserstoff mit höchster Priorität ausbauen (Elektrolyse, Importe, Transportinfrastruktur), (2) knappen Wasserstoff zunächst in der Industrie einsetzen, (3) schrittweise über eine Verbreiterung des Wasserstoff-Einsatzes entscheiden, (4) die direkte Elektrifizierung und den heimischen EE-Ausbau deutlich beschleunigen und (5) regulative Kriterien für klimaneutralen Wasserstoff und damit hergestellte Produkte (beispielsweise klimaneutralen Stahl) entwickeln sowie Förderung, etwa über Carbon Contracts for Difference oder Border Adjustment Mechanisms, etablieren.¹²

Beschäftigung und Qualifizierung in den Fokus rücken

Im gesamten Bundesgebiet und weltweit wird am Ausbau von Wasserstoffinfrastruktur und -technologien gearbeitet.



Für die saarländische Industrie bietet Wasserstoff in vielen Bereichen eine positive Entwicklungsperspektive. Es kann als sicher gelten, dass schon im Zusammenhang mit Elektrolyse, Wasserstoff-Pipelines und der Primärstahlherstellung selbst zahlreiche Jobs künftig Kompetenzen im Bereich Wasserstoff erfordern werden.

Der zentrale Punkt ist daher: Das Saarland, das ein hohes Potenzial an gut ausgebildeten Fachkräften besitzt, muss den

Erhalt und Ausbau dieses Potenzials in den Fokus rücken und die Analyse und Bearbeitung von Qualifizierungsbedarfen in das Zentrum einer Wasserstoffstrategie stellen. Die AK unterstützt diese Förderung bereits mithilfe eigener Forschungsförderung, der Vernetzung wichtiger Partner und ihrer Öffentlichkeitsarbeit.

Dr. Bertold Schweitzer ist Referent für Umweltpolitik.

ANMERKUNGEN |

- 1) Isoplan: Die Zukunft der saarländischen Stahlindustrie: Chancen und Risiken unter kritischen Rahmenbedingungen, Saarbrücken 2020. Online: https://www.vds-stahl.de/wp-content/uploads/2020/05/2020_04_30_Stahlstudie_final.pdf, Stand 25.05.2022.
- 2) Quarton, Christopher J.; Tlili, Olfa; Welder, Lara u. a.: The curious case of the conflicting roles of hydrogen in global energy scenarios, in: Sustainable Energy & Fuels 4 (1) (2020), S. 80–95. Online: <https://doi.org/gnnkd6>, Grafik CC BY 3.0.
- 3) Ueckerdt, Falko; Bauer, Christian; Dirnacher, Alois u. a.: Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation, in: Nature Climate Change 11 (2021), S. 384–393. Online: <https://doi.org/gjwk73>.
- 4) Stiftung Klimaneutralität u. a.: Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien, 2022. Online: https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2022/03/2022-03-16-Big5_Szenarienvergleich_final.pdf, Stand: 07.04.2022, dort weitere Quellenangaben.
- 5) Alle Angaben: ebd.
- 6) Kopernikus-Projekt Ariadne: Durchstarten trotz Unsicherheiten: Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie, 2021. Online: https://ariadneprojekt.de/media/2021/11/Ariadne_Kurzdosier_Wasserstoff_November2021.pdf, Stand: 17.01.2022.
- 7) Bundesregierung: Die nationale Wasserstoffstrategie, 2020. Online: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> (für Deutschland 2050 gesamt orientieren wir uns an der oberen Grenze der dort genannten Werte); Angaben aus der saarländischen Stahlindustrie; eigene Berechnungen.
- 8) Liebreich Associates: The clean hydrogen ladder [now updated to v4.1], 15.08.2021, S. (CC BY 3.0), <https://www.liebreich.com/the-clean-hydrogen-ladder-now-updated-to-v4-1/>
- 9) Vgl. Bundesregierung: Die nationale Wasserstoffstrategie (wie Anm. 7); dort werden für Elektrolyse 70 % Wirkungsgrad und 4.000 Volllaststunden angenommen.
- 10) Quellen: ebd.; Angaben aus der saarländischen Stahlindustrie; eigene Berechnungen.
- 11) STEAG und Siemens Energy: HydroHub Fenne: Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyseur, TÜV SÜD H₂-Forum Saarland (31.08.2021). Online: https://www.tuvsud.com/de-de/-/media/de/industry-service/pdf/event-downloads/is/h2-forum-saarland/04_hydrohub-fenne_philippbrammen_steag.pdf; vgl. a. Encevo: A hydrogen ecosystem in the greater region, (09.2021). Online: https://www.dreso.com/fileadmin/media/07_unternehmen/Events/2021/Themenreise_21/Encevo_Claude_Seywert.pdf, Stand: 11.12.2021.
- 12) Vgl. dazu Kopernikus-Projekt Ariadne, Durchstarten (wie Anm. 6).

IMPRESSUM |

Verleger: Arbeitskammer des Saarlandes, Fritz-Dobisch-Straße 6-8, 66111 Saarbrücken; **Kontakt:** Telefon (0681) 4005-430, E-Mail: redaktion@arbeitskammer.de; **Herausgeber:** Jörg Caspar, Thomas Otto (V.i.S.d.P.); **Redaktion:** Peter Jacob (Chefredakteur), Simone Hien, Alexander Stallmann