

EATING SHARKS

FINE CLIMATE CONSULTING

GOLDRAUSCH: NATÜRLICHER WASSERSTOFF

EIN NEUER HIGH POTENTIAL IM ENERGIEMIX?

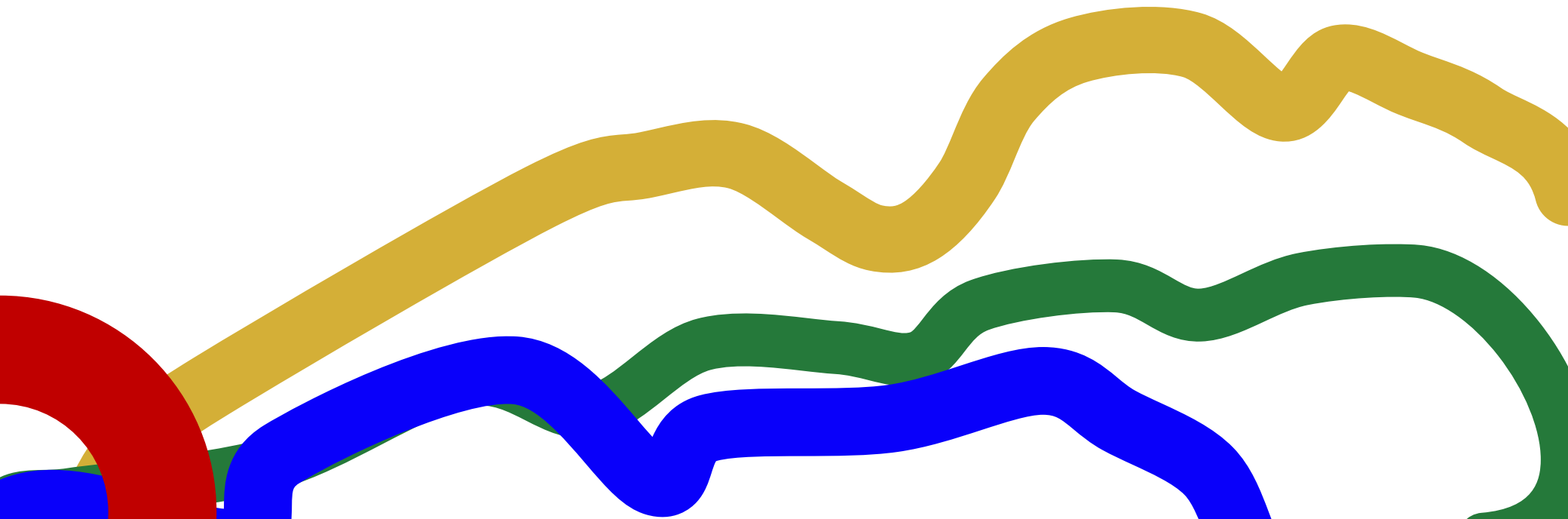


TABLE OF CONTENT

Bill Gates investiert in Startup für natürlichen H ₂	1	HyTerra ASX, Australien	10	Conclusio: NatH ₂ ist ein Herausforderer. Helium inbegriffen.	18
Natürlicher H ₂ : Ein neuer High Potential ?	2	Wrap-Up: Welchen Nutzen hat die Ressource?	11		
Es hört sich attraktiv an. Was ist es?	3	Island, Geothermie und Wasserstoff	12	Karte: natürlicher Wasserstoff weltweit	19
Türkei, die ewigen Feuer	4	Herausforderungen: Die geologische Uhr	13	Handlungsempfehlungen: Forschung, Follow-up, rechtliche Situation	20
Deutschland, Meilensteine aus Politik & Forschung	5	South Australia, Gold Hydrogen, Yorke Peninsula	14	Unterstützung in Zeiten von Dunkelflaute	21
Mali, 12 Jahre kommunale Energieversorgung	6	Treemap der Herausforderungen	12 15	Anhang: Die Wasserstoff Farben	22
Vorteile: Die Kosten	7	Natürlicher Wasserstoff in Lothringen, Frankreich	16	Anhang: Metriken für Klimatechnologien	23
Spanien, das Monzon Field, Aragon	8	Herausforderungen: Blick auf das große Ganze	17	<i>Dag Schwarz, Eating Sharks Fine Climate Consulting, mit großem Respekt für alle Ethnien, 2025.</i>	24
Treemap der 15 Vorteile	9				

GOLDRAUSCH: NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Bill Gates investiert in Startup für natürlichen Wasserstoff

Koloma, ein in Denver ansässiges Startup-Unternehmen für natürlichen Wasserstoff, wird 2023 von Bill Gates, seinen Breakthrough Energy Ventures und anderen Partnern mit 91 Millionen Dollar unterstützt. 2025 beträgt das gesamte private Investitionsvolumen laut Pitchbook 246 Millionen Dollar.



GOLDRAUSCH: NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Ein neuer High Potential im Energie-Mix?

Derzeit ist von einem Goldrausch bei natürlichem Wasserstoff die Rede. Spätestens seit Bill Gates schon 2023 die stolze Summe von 91 Millionen Dollar in ein verschwiegenes Wasserstoff-Startup aus Denver investiert hat. Doch Geowissenschaftler sehen schon länger einen Trend. An seiner Erforschung arbeiten die besten Experten der Welt. Warum wird der emissionsfreien und billigen Wasserstoff-Variante erst jetzt Beachtung geschenkt?

Eine Erklärung: Was man nicht sucht, kann man auch nicht finden. Die berühmten ewigen Feuer im Olympos Valley bezeugen schon seit langer Zeit das Potenzial natürlichen Wasserstoffs. Es gibt weltweit zahlreiche wissenschaftliche Belege für die Existenz dieser Primärenergiequelle, zum Teil schon seit hundert Jahren. Natürlicher Wasserstoff, auch geologischer, weißer, goldener oder nativer Wasserstoff genannt, wurde bis jetzt übersehen.

Mit der Erkenntnis der klimaschädlichen Wirkung von Öl und Gas und der Umsetzung des Pariser Klimaabkommens sind erneuerbare Energien in den Fokus gerückt. Die Forschung zu natürlichem Wasserstoff wird auch von Energieerzeugern und Stakeholdern der Öl- und Gasindustrie unterstützt. Sie können Wissen und Ausrüstung zur Wasserstoff-Förderung zur Verfügung stellen. Politik erarbeitet Förderinstrumente und auch Leitbilder.

GOLDRUSH: NATURAL HYDROGEN

Es ist sehr attraktivWas ist es?

Natürlicher H_2 ist eine Energiequelle, kein Vektor. Er wird im Erdinneren kontinuierlich durch chemische Reaktionen erzeugt. Die wichtigsten sind die Oxidation von Eisenmineralien, die Radiolyse von Wasser, die Reifung organischer Stoffe und das Ausgasen aus dem Erdmantel. Die Wissenschaft hält die Erzeugung von natürlichem H_2 durch die Wechselwirkung von eisenhaltigem Gestein oder Mineralien mit Wasser für vielversprechend.

In einer Redoxreaktion rostet das Eisen und nimmt Sauerstoff aus dem Wasser auf, wobei Wasserstoff freigesetzt wird. Die Geowissenschaftler empfehlen, dass sich die Exploration auf Gebiete konzentrieren sollte, in denen eisenhaltiges Gestein und/oder natürliche Radioaktivität vorhanden ist und mit Wasser reagieren kann. Ein Pionier der Forschung und Chemiker, Viacheslav Zgonnik, hat einen umfangreichen Katalog von Georeferenzen für

natürliche Wasserstoffvorkommen erarbeitet, die gleichmäßig über die Welt verteilt sind. Es gibt mehrere potenzielle Quellen mit unterschiedlichen Schätzungsvolumen. Der Expertenkreis bei der Internationalen Energieagentur IEA sieht die technologische Reife (Technology Readiness Level TRL) auf der Stufe fünf. In Bourakébougou, Mali, steht die bislang einzige lokale Produktionsstätte mit mehreren Bohrlöchern.

NATÜRLICHER WASSERSTOFF IN DER TURKEY

Die ewigen Feuer

Wasserstoff soll die Quelle des olympischen Feuers sein. Die ewigen Feuer des Berges Chimaera in der Nähe von Antalya (auch Yanartaş oder Brennende Steine genannt) sind berühmt. Das antike Olympos Valley war ein Ort für Hephaistos, den Gott des Feuers. Die Flammen brennen seit 2500 Jahren. Sie unterliegen jahreszeitlichen Schwankungen und sind in den Wintermonaten am stärksten.



NATÜRLICHER WASSERSTOFF IN DEUTSCHLAND

Meilensteine aus Politik und Forschung

Hinsichtlich der Bedeutung von natürlichem Wasserstoff in Deutschland gibt es zwei Meilensteine. Der erste betrifft die deutschen Wasserstoffpläne. Geogener Wasserstoff wird nebensächlich in der Nationalen Wasserstoffstrategie der Ampelkoalition erwähnt – und auch nur bezüglich seines globalen Potenzials. Da Deutschland über historisch bedeutsame Eisenerzvorkommen verfügt, empfehle ich unbedingt auch nationalen Forschung.

Die für 2030 geplante Elektrolysekapazität wurde von 5 GW auf mindestens 10 GW verdoppelt. Der zweite Meilenstein ist HyAfrica, eine Zusammenarbeit internationaler Universitäten, des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE und des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik LIAG zur Erforschung von natürlichem Wasserstoff in Marokko und für die lokale Nutzung in ländlichen afrikanischen Gemeinden.

„Natürlicher Wasserstoff – auch weißer Wasserstoff genannt – ist eine primäre und saubere Energiequelle, die sich durch geochemische Reaktionen in geologischen Formationen kontinuierlich generiert. Die Methoden zur Erkundung und Nutzung von natürlichem Wasserstoff sind jedoch nur unzureichend definiert, und in den Ländern, in denen das Projekt durchgeführt wird, gibt es hierfür kaum Regulierungsmaßnahmen.“

NATÜRLICHER WASSERSTOFF IN MALI

12 Jahre kommunale Energieversorgung

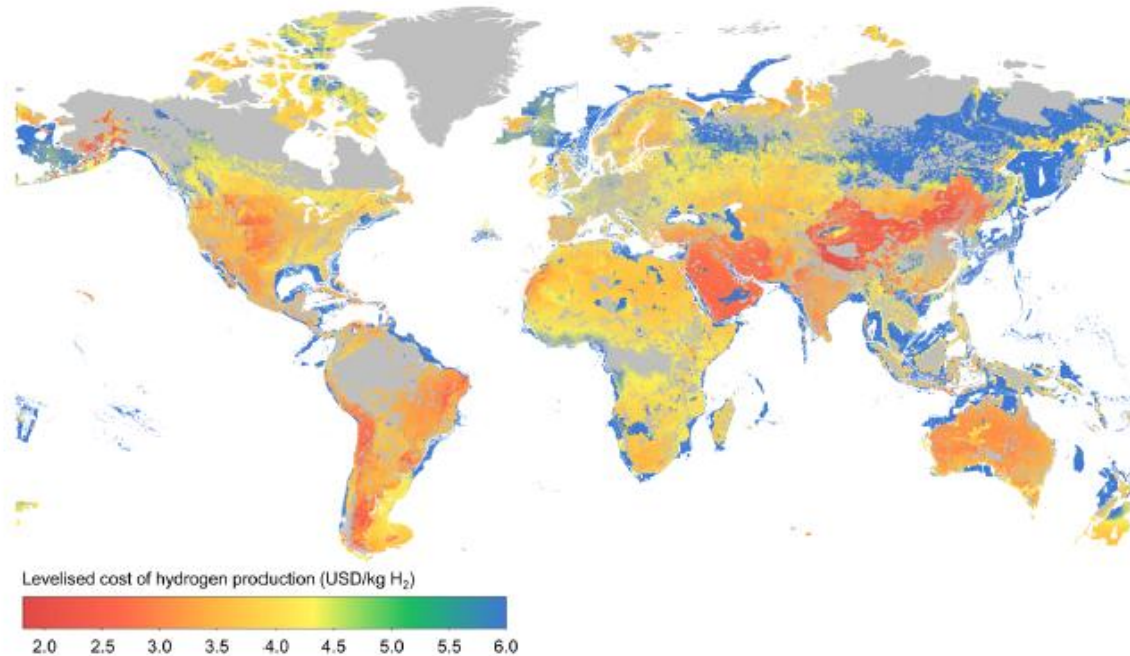
Der natürliche Wasserstoff von Bourakébougou ist bereits in der geowissenschaftlichen Welt und nun auch in der Presse berühmt. Seit 12 Jahren versorgt er die Gemeinde mit Strom. Analysen haben gezeigt, dass das Gas hauptsächlich aus natürlichem H_2 (98%) in Verbindung mit Stickstoff und Methan (je 1%) besteht. Als Hauptquelle für das H_2 von Bourakébougou wird die Oxidation von eisenhaltigem Gestein zusammen mit Wasserreduktion vermutet.

Quelle: Omar Maïga et al.

VORTEILE NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Die Kosten

Figure 3.13 Hydrogen production cost from hybrid solar PV and onshore wind, and from offshore wind in the Net Zero Emissions by 2050 Scenario, 2030



Die Produktionskosten für geologischen Wasserstoff liegen nach Angaben der Hersteller zwischen 0,5 und 1,2 USD. Die IEA liefert mit der Global Hydrogen Review 2024 einen detaillierten Bericht zum derzeitigen Kosten- und Produktionsstand der verschiedenen Wasserstoffvarianten. Hier wird die Geologische mit der Grünen verglichen, weil diese einen überragenden Teil der Berichterstattung und des finanziellen Fokus einnimmt.

NATÜRLICHER WASSERSTOFF IN SPANIEN

Monzon Field, Aragon

Helios Aragon entwickelt in Nordspanien die kommerzielle Förderung von natürlichem Wasserstoff und Helium. Die Bohrungen werden voraussichtlich 2024 beginnen, je nach rechtlicher Situation. Die Öl- und Gas-Experten gehen davon aus, dass in den nächsten 20-30 Jahren große Wasserstoff-Vorkommen erschlossen werden können. Die Firma meldet, dass Break-Even Kosten aus dem 300-800-Millionen-Euro-Projekt bei ca. 0,5 €/kg liegen.



VORTEILE NATÜRLICHER WASSERSTOFF

1. Billig 2. Emissionsfrei 3. Hohe soziale Akzeptanz

				Volumen: 10 Jahre PDOP, 1PDOP = ~ 2 Tril. USD	
		5 Ressource, kein Vektor		6*	
1 Billig	3 Hohe soziale Akzeptanz	Möglicherweise auffüllend (Mali),	Substanz: Technologie Bedarf 14	Öl und Gas Equipment 9	
	Wertarchitektur mit Helium, geothermischer Energie und Solen, „Helium-Tracker“	7 „erneuerbar“	Kein gereinigtes Wasser 11	Neue Vorkommen 13	
2 Emissionsfrei	4	8 Unterbrechung	Disruptives Potenzial 12	Community 10	Hohe Beachtung 15

NATÜRLICHER WASSERSTOFF AN DER BÖRSE

HyTerra an der Australian Securities Exchange

HyTerra ist ein börsennotiertes Unternehmen, das sich auf natürlichen Wasserstoff konzentriert (ASX:HYT). Das Unternehmen setzt auf geophysikalische Exploration.



VORTEILE NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Wrap-Up: Welchen Nutzen hat die Ressource?

Die Kombination aus niedrigem Preis und Emissionsfreiheit ist der klare Vorteil von natürlichem Wasserstoff. Daraus kann hohe gesellschaftliche Akzeptanz resultieren, ein unterschätzter Faktor. Im Gegensatz dazu ist bei allen teureren Technologien mit gesellschaftlicher Skepsis zu rechnen. Der Begriff emissionsfrei bezieht sich auf die Ressource selbst, es handelt sich je nach Gasmix um eine saubere und vor allem direkte Energiequelle.

Produktionsstätten haben vermutlich einen sehr geringen Fußabdruck. Mit natürlichem Wasserstoff können Anlagen weiter genutzt werden. Er kann nahezu rund um die Uhr produziert werden und als Energieträger Dunkelflauten überbrücken. Er ist hochproduktiv - und der gebundene Kohlenstoff sinkt, je produktiver das Projekt ist. Das zeigt eine Stanford-Studie. Auch Landnutzung, Wasserverbrauch und zusätzliche Ressourcen sind im

im Vergleich zu blauem oder grünem Wasserstoff weniger kritisch. Öl- und Gasproduzenten können natürlichen Wasserstoff aufgrund des vorhandenen geologischen Knowhows und Equipments effizient erforschen und fördern. Die Experten des Oxford Energy Network schätzten im Jahr 2022 das potenzielle Volumen auf 10 Jahre Present Day Oil Production (PDOP). Ein PDOP hat einen Wert von 2 Billionen USD.

NATÜRLICHER WASSERSTOFF IN ISLAND

Geothermie und Wasserstoff

Island hat eine einzigartige geologische Landschaft; seine heißen Quellen sind weltbekannt. Die Geothermie deckt 65 % der Energieversorgung und die Wasserkraft 20 %. Das Land ist weltweit führend bei erneuerbaren Energien, eine grüne Wasserstoffwirtschaft soll entstehen. Geothermische Kraftwerke in Island emittieren $\sim 1,2$ kt H_2 pro Jahr, Konzentrationen bis 57,3 % H_2 wurden gemessen. Bei einem Schätzpreis von 2 €/Kg hat der emittierte Wasserstoff einen Wert von 2,3 Mio. €/Jahr.

1 Ga

NATÜRLICHER WASSERSTOFF CHALLENGES

Die geologische Uhr

Die geologische Uhr: Projektion der Erdgeschichte von 4,5 Gigaannum (Ga) auf eine Uhr. Megaannum = eine Million Jahre (Ma) und Gigaannum = eine Milliarde oder Jahre (Ga). Die Erforschung des Wasserstoffs beruht auf einem hochkomplexen System von Geo- und Planetenwissenschaften, Physik und Chemie.

Proterozoic

2 Ga

NATÜRLICHER WASSERSTOFF SÜD-AUSTRALIEN

Gold Hydrogen auf der Yorke Peninsula

Gold Hydrogen ist ein weiteres an der ASX notiertes Unternehmen (ASX:GHY), das sich auf natürlichen Wasserstoff spezialisiert hat. Jüngste Bodenproben haben 90 % reinen Wasserstoff auf der Yorke Peninsula in Südaustralien, wo das Unternehmen Rechte gesichert hat, nachgewiesen. Luftgestützte geophysikalische Untersuchungen werden begleitend durchgeführt.

CHALLENGES NATÜRLICHER WASSERSTOFF

1. Stark reaktiv 2. Mikroben 3. Systemkomplexität

<p>1 H₂ = Hoch diffus und mobil</p>	<p>2 Verbrauch durch Mikroben</p>	<p>5 Mangel an systematischen Studien</p>	<p>6 Hohe Systemkomplexität</p>	
<p>3 Skalierbarkeit fraglich</p>	<p>4 Geologisches Muster</p>	<p>7 Evtl. lokale, dezentrale Produktion</p>	<p>9 Gesetzgebung</p>	<p>10 Imageproblem</p>
		<p>8 Unstrukturiertes System; Mid- und Downstream</p>		<p>11 „Ab-Warten“</p>

NATÜRLICHER WASSERSTOFF IN LORRAINE, FRANCE

Exploration und Forschung

In Nordfrankreich hat der Energieerzeuger FDE im ehemaligen Bohrgebiet in kohlenstoffhaltigen Formationen große Vorkommen an natürlichem Wasserstoff entdeckt. Man geht von einer Konzentration von 98 % in einer Tiefe von 3000 Metern aus. Das Projekt wird forschungsseitig von der Universität Lorraine (Lothringen) begleitet.

CHALLENGES NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Zusammenfassung: Blick auf das große Ganze

Natürlicher Wasserstoff ist hochreaktiv, mobil und schwer einzufangen. Außerdem geht er auf dem Strömungsweg vom tiefen Untergrund bis in geringe Tiefen verloren. Eine Studie über ein brasilianisches Vorkommen schätzt den Verlust auf 50 % nach sieben Jahren Bohrtätigkeit und geht von mikrobiologischer Methanogenese aus. Dabei wird natürlicher Wasserstoff in Methan umgewandelt. Die Geowissenschaftler favorisieren zwar einige Thesen zu

seiner Entstehung, wie Serpentinisierung oder Radiolyse. Doch um geologische Muster zu erkennen, ist mehr Forschung nötig. Weitere Untersuchungen könnten auch Aufschluss darüber geben, ob es sich bei den Quellen um lokal potente oder skalierbare Reservoirs handelt. Die Exploration des Gases ist ein Blick auf das große Ganze. Sie denkt in geologischen und planetaren Zeiträumen, also in Äonen. Auf der praktischen Ebene können

die Forscher zum Beispiel Temperaturunterschiede oder Niederschläge ebenso berücksichtigen wie die Menge der kontinentalen Kruste, die Erdanziehung und die Gezeiten. Genau das verunsichert uns. Wir setzen lieber auf vermeintlich planbare Projekte wie die Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse. Die Einordnung geopolitischer Konflikte ist für alle Formen der Energieerzeugung und -versorgung relevant, auch für natürlichen Wasserstoff.

CONCLUSIO NATÜRLICHER WASSERSTOFF

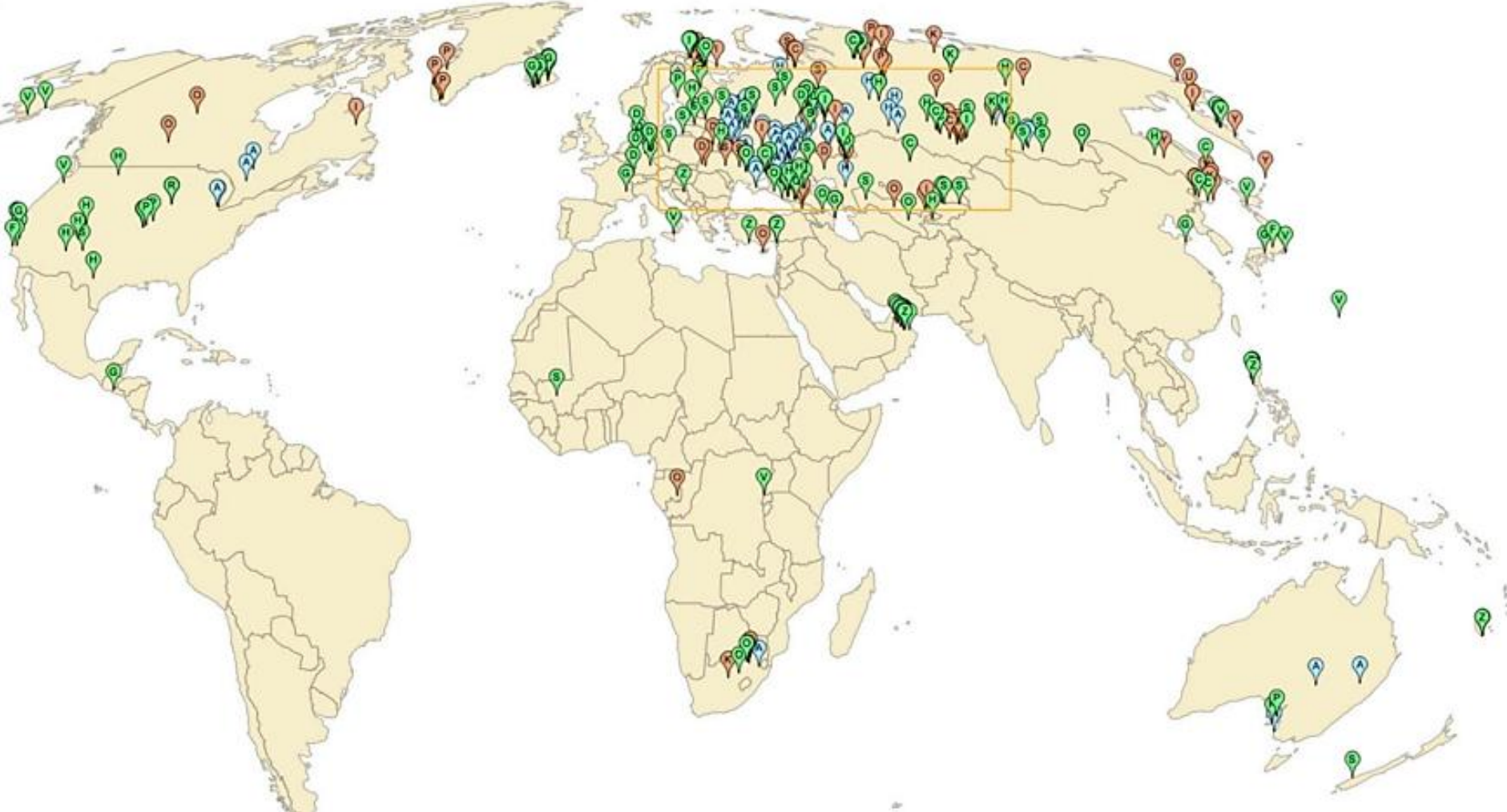
NatH₂ ist ein Herausforderer. Helium inbegriffen.

Natürlicher Wasserstoff wurde als billige und emissionsfreie Energiequelle bisher vernachlässigt, obwohl es seit bis zu 100 Jahren wissenschaftliche Beweise für weltweite Vorkommen vom Oman bis Kanada gibt. Was man nicht sucht, kann man nicht finden. Da die Vorteile bisher klar und überzeugend sind, sollte die Co-Erzeugung mit Helium noch einmal besonders hervorgehoben werden. Dieses ist ebenfalls eine

knappe und wertvolle Ressource und wird für Hochtechnologien wie MRI-Scanner oder die Kühlung von Halbleitermagneten benötigt. Für Forscher der Quantenmechanik ist es wegen der Eigenschaft der Superfluidität von Bedeutung. Natürlicher Wasserstoff ist ein Helium-Tracker. Daher kann auch die Mischung, mit der natürlicher Wasserstoff auftritt, wertvoll sein. In Bezug auf Treibhausgasemissionen, Preis und Effizienz schneidet

er im Vergleich zu anderen Wasserstoffarten und Energiequellen vorteilhaft ab. Nachteilig ist, dass Wasserstoff hochreaktiv, mobil und schwer einzufangen ist. Hinzu kommt die hohe Systemkomplexität des Forschungsfeldes. Das lässt es fast übermenschlich und schwer greifbar erscheinen. Die positiven Eigenschaften sind überzeugend, so dass internationales Interesse an dieser Energiequelle hoch ist, um nochmals Bill Gates zurückzukommen.

NATÜRLICHER WASSERSTOFF WELTWEIT



Quelle: Viacheslav Zgonnik

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

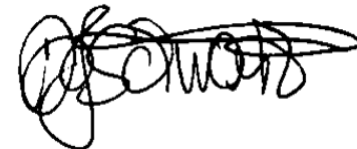
1. Forschung 2. Follow-Up 3. Rechtliche Situation

Die Auswirkungen der Klimakrise, der Pandemie, des Krieges in der Ukraine bis hin zu energieintensiven Spitzentechnologien wie der künstlichen Intelligenz zeigen den enormen Bedarf an kostengünstiger und emissionsfreier Energie. Vor allem aus der Industrie, wie die IEA anhand des weltweiten Ölverbrauchs berichtete. Die Nutzung von natürlichem Wasserstoff ist von großer Bedeutung für die gesamte Gesellschaft, für die Verbraucher

und für alle Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Ich empfehle erstens, die wissenschaftliche Forschung zu unterstützen, um weitere systematische Untersuchungen von natürlichem Wasserstoff und seinen Gasmischen zu ermöglichen. Zweitens sollten die Entwicklungen und Ergebnisse der hier genannten Bohrprojekte in Mali, Australien, Europa und den USA beobachtet werden. Drittens die diffe-

renzierte Berücksichtigung von natürlichem Wasserstoff in Ihrer Energiepolitik, je nach Sektor auch von Helium oder Methan. Dieser erste Leitfaden soll Ihnen helfen - und damit Sie immer einen Schritt voraus sind, unterstütze ich Sie gerne bei der Entwicklung strategischer Konzepte.

Dag Juvel Schwarz
Gründer & CEO von Eating Sharks
Fine Climate Consulting
Engineer, Technology and Knowledge Manager
2025





NATÜRLICHER WASSERSTOFF

Auch bei Dunkelflaute

Die Pläne zum Ausbau erneuerbarer Energien und sauberer Wasserstoffwirtschaft stehen weltweit, auch in Deutschland, im Mittelpunkt. Unter Effizienz- und Risikoaspekten ist jede Form der Energieerzeugung selbst von den Folgen der Klimakrise betroffen und auch dafür verantwortlich. Und auch bei Dunkelflaute muss eine emissionsfreie und kostengünstige Unterstützung zur Verfügung stehen. Natürlicher Wasserstoff könnte diese Lücke schließen.

NATÜRLICHER WASSERSTOFF ANHANG

Die Wasserstoff Farben

Natürlicher Wasserstoff

Natürlicher (auch weißer, goldener oder geologischer) Wasserstoff aus der Erde ist emissionsfrei und günstig.

Türkiser Wasserstoff

Aus Erdgas wird durch Methanpyrolyse Wasserstoff gewonnen. Abgespaltener Kohlenstoff wird gespeichert.

Grauer Wasserstoff*

Steam-Methan-Reforming, SMR, von natürlichem Gas. CO₂-Emissionen, klimaschädlich. *95% der Produktion.

Oranger Wasserstoff I + II

Generierung natürlichen Wasserstoffs durch Stimulation von Erdgestein mit Wasser (I). Oder von H₂ durch Abfall (II).

Grüner Wasserstoff

Durch Wasser- Elektrolyse aus erneuerbaren Energien entsteht emissionsfreier, aber noch teurer Wasserstoff.

Brauner Wasserstoff*

Kohlevergasung aus Braunkohle durch Heizen & Bedampfen. CO₂-Emissionen, klimaschädlich. *95% der Produktion.

Roter/ Pinker Wasserstoff

Roter Wasserstoff wird durch Elektrolyse mittels Kernenergie produziert. Energieintensiv, emissionsfrei.

Blauer Wasserstoff

Zuvor grauer Wasserstoff, aber Kohlendioxid CO₂ wird gespeichert (Carbon Capture Storage, CCS), emissionsfrei.

Schwarzer Wasserstoff*

Kohlevergasung aus Steinkohle durch Heizen & Bedampfen CO₂-Emissionen, klimaschädlich. *95% der Produktion.

NATÜRLICHER WASSERSTOFF ANHANG

Metriken für Klimatechnologien

Den verschiedenen Begriffen geht eine intensive wissenschaftliche Diskussion voraus. So bezeichnet der Indikator „Treibhausgasintensität“ die Summe aller Emissionen, die ein System über den gesamten Lebenszyklus der Wertschöpfung verursacht. Dazu gehören Rohstoffgewinnung, Produktion und Fertigung, Verarbeitung und Montage, Verkauf und Verpackung, Transport, Wartung und Reparatur, Lagerung und Speicherung sowie Endlagerung.

Die GHG Intensität wird zur Abschätzung der Risiken und Trends von Treibhausgasemissionen verwendet. Die Universität Stanford hat die GHG Intensität, inklusive des darin enthaltenen Kohlenstoffs für natürlichen Wasserstoff untersucht. Es gibt auch ein „Green Premium“, das die weiteren Kosten für saubere Technologien im Vergleich zu emissionsintensiven Technologien bewertet. Die Herstellung von grünem Wasserstoff ist zum Beispiel

noch deutlich teurer als grauer Wasserstoff aus Erdgas. Fossile Energieträger sind jedoch nicht mit den Pariser Klimazielen und der Erreichung von Net Zero vereinbar. Daher ist es wichtig, durch Messen und Vergleichen die effizienteste Klimatechnologie auszuwählen. Es gibt emissionsfreie Produkte (z.B. natürlicher Wasserstoff). Für den Carbon Footprint sollte der gesamte Lebenszyklus bewertet werden.

ÜBER *EATING SHARKS*

Beratung für intelligente lokale Energiesysteme

Alles begann in Dänemark mit einem Ingenieurpraktikum beim Textilhersteller *Brandtex*. Danach leitete ich spannende IT- Projekte und baute als Business Development Manager bei der Startup- Legende *myToys* den skandinavischen Markt auf. Ich war verantwortlich für den bundespolitischen *Equal Pay Day* und arbeitete mit Consultants von *Kurt Salmon Associates (Accenture)*, *McKinsey* und *E&Y* zusammen. Die Sicherung bezahlbarer und sauberer Energie bleibt das wichtigste Thema - ob für Zivilgesellschaft, Unternehmen oder Politik. Ich betreibe eigene Forschung und verpflichte mich zu wissenschaftlicher Neutralität, Qualität und Integrität – und zu unternehmerischen Weitblick mit Fingerspitzengefühl.

Mit diesen Erfahrungen möchte ich Ihnen die beste Beratung für intelligente lokale Energiesysteme bieten.

