

Themenheft

Mineralische Rohstoffe
für die Wasserelektrolyse



H₂

The image features a large, stylized chemical formula 'H₂' in a light blue, outlined font. The background is a vibrant teal color with a dynamic, abstract pattern of overlapping circles and lines, suggesting a molecular or crystalline structure. The overall aesthetic is clean and modern, emphasizing the scientific nature of the content.

Einführung

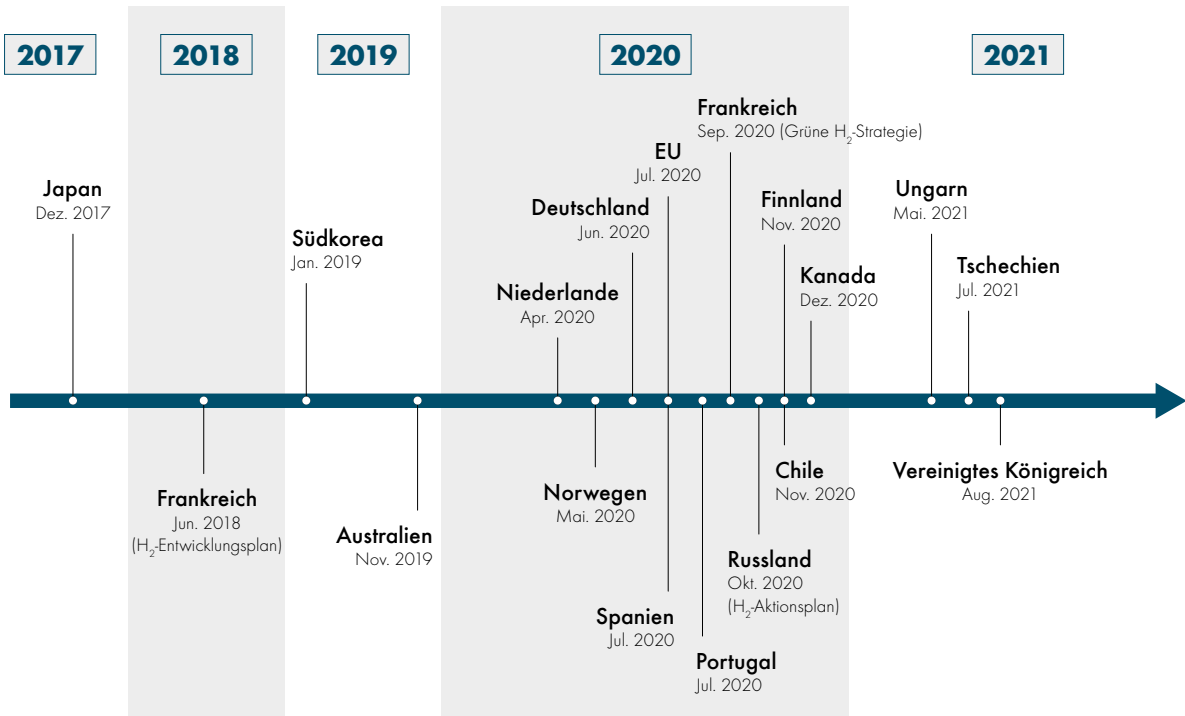
Wasserstoff ist seit Langem ein wichtiger Rohstoff für die Industrie und Basis für zahlreiche synthetische Energieträger. Bislang wird Wasserstoff vor allem in der Petro- und Grundstoffchemie für die Herstellung von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen, Ammoniak und Chemikalien verwendet. Darüber hinaus gibt es weitere sehr vielfältige Anwendungsfelder für Wasserstoff.

Das erste Element im Periodensystem kann als Einsatzstoff, Brennstoff oder Energiespeicher für zahlreiche Anwendungen in der Industrie, im Verkehr, im Energie- und im Gebäudesektor genutzt werden. Da bei der Nutzung von reinem Wasserstoff keine CO₂-Emissionen und fast keine Luftschadstoffemissionen entstehen, bietet das Element hohes Potenzial, um diverse Industriezweige zu dekarbonisieren und damit zur Klimaneutralität beizutragen. Bisher wird Wasserstoff weltweit nach wie vor weitgehend aus fossilen Brennstoffen, hauptsächlich Erdgas oder Kohle, gewonnen. Dabei werden je nach Erzeugungstechnologie erhebliche Mengen an CO₂ ausgestoßen. Damit Wasserstoff tatsächlich zur Klimaneutralität beitragen kann, muss auch seine Erzeugung dekarbonisiert sein.

Durch seine vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und eine zunehmende Bedeutung für die Energiewende stieß Wasserstoff im Jahr 2020 auf ein großes politisches und öffentliches Interesse. Zahlreiche neue Wasserstoffstrategien in einer Vielzahl von Staaten rund um den Globus wurden veröffentlicht. Die Entwicklung setzte sich im Jahr 2021 fort. Mit den Strategien bereiten die Staaten ihren jeweils eigenen Weg zum Aufbau eines Wasserstoffmarkts vor.

Obwohl die Gründe für die Formulierung einer eigenen Wasserstoffstrategie von Land zu Land variieren, dienen sie häufig ähnlichen Zielen, insbesondere Umweltschutz und Wirtschaftswachstum. Einige Länder werden ihre Wasserstoffbedarfe nicht selber decken können, etwa aufgrund limitierter Potenziale von erneuerbaren Energien. Sie rechnen damit, künftig große Mengen an Wasserstoff importieren zu müssen. Internationale Kooperationen nehmen daher in einigen Strategien eine wichtige Rolle ein.





In Vorbereitung (Auswahl): China | Italien | Marokko | Österreich | Polen | Schweden | Slowakei | Ukraine | Uruguay

Übersicht zu verabschiedeten Wasserstoffstrategien (Stand September 2021)



Wasserstoffpläne in Europa und Deutschland

Kernpunkte der Wasserstoffstrategien

Längerfristig liegt bei beiden Strategien der mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugte Wasserstoff im Fokus.

Am 08. Juli 2020 hat die EU ihre Wasserstoffstrategie als Teil des Green Deal veröffentlicht und verfolgt damit das Ziel, ab 2050 klimaneutral zu sein. Auch inmitten vieler Unsicherheiten, die die Corona-Pandemie in Jahr 2020 mit sich brachte, hielt die EU-Kommission an dem Green Deal als europäische Wachstumsstrategie fest.

Der Fokus der europäischen Wasserstoffstrategie liegt auf einem mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugten (grünen) Wasserstoff. Als Übergangs-

lösung können auch andere Formen von kohlenstoffarmem Wasserstoff eingesetzt werden. Die bestehenden Anlagen zur Produktion von Wasserstoff aus Erdgas sollen nachgerüstet werden, um das anfallende CO₂ abzuscheiden und anschließend zu speichern oder weiter zu verwerten.

Die kumulierten Investitionen in erneuerbaren Wasserstoff könnten sich in Europa bis 2050 auf 180 bis 470 Milliarden Euro belaufen. Der allmähliche Übergang soll in drei Phasen geschehen.

Die drei Phasen der europäischen Wasserstoffstrategie

Phase I
2020 - 2024
<ul style="list-style-type: none">• Installation von mindestens 6 GW Elektrolyseleistung• Produktion von 1 Mio. t grünem Wasserstoff
Phase II
2025 - 2030
<ul style="list-style-type: none">• Erhöhung der Elektrolyseleistung auf 40 GW• Produktion von 10 Mio. t Wasserstoff• Geschätzte Investitionen in den Aufbau der Elektrolyse-Anlagen bis 2030 von 24 bis 42 Milliarden Euro• 220 bis 340 Milliarden Euro für den Ausbau benötigter Kapazitäten an Solar- und Windenergie
Phase III
2030 - 2050
<ul style="list-style-type: none">• Grüne Wasserstofftechnologien sollen die erforderliche Reife erlangen, um im großen Stil zur Dekarbonisierung all der Sektoren eingesetzt zu werden, in denen das bis zur dritten Phase noch nicht gelungen ist.

Die am 10. Juni 2020 beschlossene Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung ähnelt der europäischen, indem sie langfristig auf grünen Wasserstoff setzt. Der Finanzbedarf für die Nationale Wasserstoffstrategie wurde bereits am 3. Juni 2020 im Rahmen des Zukunftspakets – zweiter Teil des deutschen Konjunkturpakets im Zuge der Corona-Pandemie – mit neun Milliarden Euro beziffert. Die Strategie legt fest, wie schnell und auf welche Kapazität die Produktion hochgefahren werden soll.

Bis 2030 sollen Produktionsanlagen von bis zu 5 GW Gesamtleistung einschließlich der dafür erforderlichen Offshore- und Onshore-Energiegewinnung entstehen. Für den Zeitraum bis 2035 werden nach Möglichkeit weitere 5 GW zugebaut und bis 2040 soll diese Leistung spätestens zur Verfügung stehen. Die Nationale Wasserstoffstrategie umfasst die gesamte Wertschöpfungskette – Technologien, Erzeugung, Speicherung, Infrastruktur und Verwendung, einschließlich Logistik und wichtige Aspekte der Qualitätsinfrastruktur.

Die Strategie verfolgt das Ziel, einen zügigen Markthochlauf zu unterstützen sowie neue Wertschöpfungsketten zu etablieren. Zu den großen Profiteuren der Strategie sollen die Bereiche zählen, die bisher keine Alternativen zu Wasserstoff zur Dekarbonisierung der prozessbedingten Emissionen hatten, z. B. die Chemie-, Zement- und Stahlindustrie. Die Bundesregierung rechnet damit, dass der Großteil des Wasserstoffbedarfs in Zukunft aus dem Ausland importiert werden muss – ein Grund, warum sie in der Nationalen Wasserstoffstrategie stark auf die Zusammenarbeit mit Partnerländern setzt. Von den neun Milliarden Euro sind zwei für internationale Partnerschaften in dem Bereich vorgesehen.

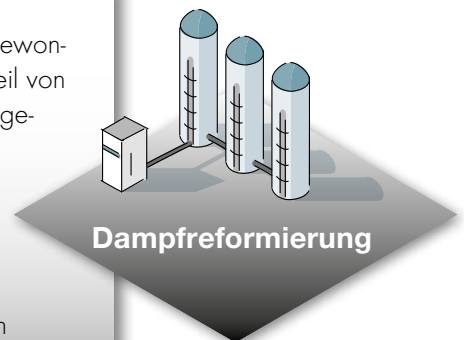


Die Wasserstoff-Farben

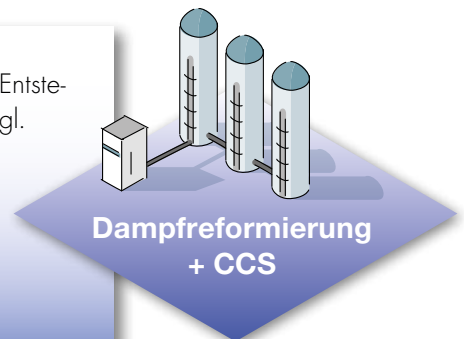
und was sie bedeuten

Wasserstoff ist ein geruchloses und farbloses Gas. Im Sprachgebrauch werden jedoch Farben verwendet, um den Ursprung des Wasserstoffs zu kennzeichnen. Das Gas kann mit verschiedenen Prozessen und Technologien produziert werden, die sich auch in ihrem CO₂-Fußabdruck in Hinblick auf die Treibhausgasreduktion deutlich unterscheiden. Die Produktionsweise ist daher entscheidend für die Emissionsbilanz.

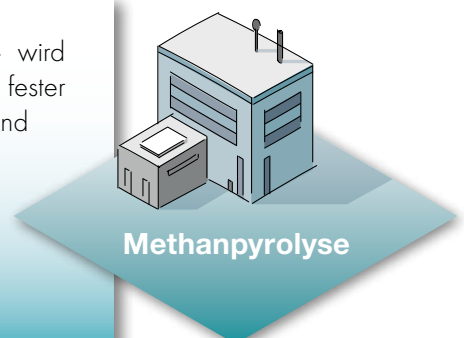
Heutzutage wird Wasserstoff vorwiegend aus fossilen Brennstoffen gewonnen. Bei der Dampfreformierung wird Methan – der Hauptbestandteil von Erdgas – unter Hitze aufgespalten. Dabei entsteht zunächst ein Gasgemisch von Kohlenmonoxid und Wasserstoff. In einem zweiten Schritt, der als Wassergas-Shift-Reaktion bezeichnet wird, reagiert das Kohlenmonoxid mit Wasser zu Kohlendioxid und Wasserstoff. Das Kohlendioxid wird anschließend ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben. Bei der Produktion einer Tonne Wasserstoffs entstehen dabei rund zehn Tonnen CO₂. Der Wasserstoff, der mit diesem Verfahren hergestellt wird, wird **grauer Wasserstoff** genannt.

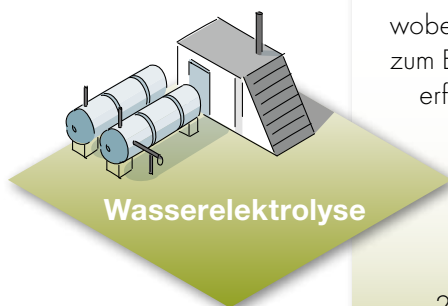


Blauer Wasserstoff ist grauer Wasserstoff, dessen CO₂ bei der Entstehung jedoch abgeschieden und sequestriert, also gespeichert wird (engl. Carbon Capture and Storage, CCS). Dafür könnten geologische Formationen im tiefen Untergrund, z. B. ausgeschöpfte Erdgaslagerstätten, genutzt werden. Das bei der Wasserstoffproduktion erzeugte CO₂ gelangt so nicht in die Atmosphäre und wird daher bilanziell als CO₂-neutral betrachtet.

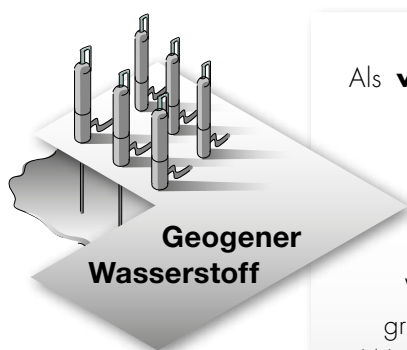


Über Methanpyrolyse – die thermische Spaltung von Methan – wird **türkiser Wasserstoff** hergestellt. Anstelle von CO₂ entsteht dabei fester Kohlenstoff. Voraussetzungen für die CO₂-Neutralität des Verfahrens sind die Wärmeversorgung des Hochtemperaturreaktors aus erneuerbaren Energiequellen. Der anfallende elementare Kohlenstoff lässt sich als Rohstoff nutzen oder kann zumindest im Vergleich zu dem CO₂, das bei der Dampfreformierung anfällt, leichter entsorgt werden.





Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Unabhängig von der gewählten Elektrolysetechnologie erfolgt die Produktion von Wasserstoff CO_2 -frei, da der eingesetzte Strom zu 100 % aus erneuerbaren Quellen stammt. Wenn der Strom für die Elektrolyse aus anderen Quellen kommt und dieser damit nicht CO_2 -frei ist, ändert sich damit auch seine Bezeichnung bzw. Farbe. Strom und Wasser sind für die Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse wesentlich. Laut IRENA (2020) werden zwischen 18 und 24 Kilogramm gereinigtes Wasser pro Kilogramm Wasserstoff benötigt. In Kopplung mit Photovoltaik ist der Bedarf noch höher. An Strom werden ca. 50 kWh pro Kilogramm Wasserstoff benötigt.



Als **weißer Wasserstoff** wird geogener bzw. natürlicher Wasserstoff bezeichnet. Denn tatsächlich führt eine Reihe von Prozessen zur Wasserstoffbildung im tiefen geologischen Untergrund. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) gehen der Frage nach, welche geologischen Bedingungen eine Ansammlung und lange Verweildauer von Wasserstoff in möglichen Fallenstrukturen im Untergrund begünstigen und ob eine wirtschaftliche Nutzung von geogenem Wasserstoff in Zukunft möglich ist.

Rund 900 Mio. t CO_2 wurden durch die Produktion von Wasserstoff aus fossilen Brennstoffen im Jahr 2020 emittiert, um die globale Wasserstoffnachfrage von rund 90 Mio. t abzudecken (IEA 2021). Bei der Frage, wie der Wasserstoff künftig produziert werden sollte, gehen Regierungen mit ihren Wasserstoffstrategien teilweise unterschiedliche Wege.

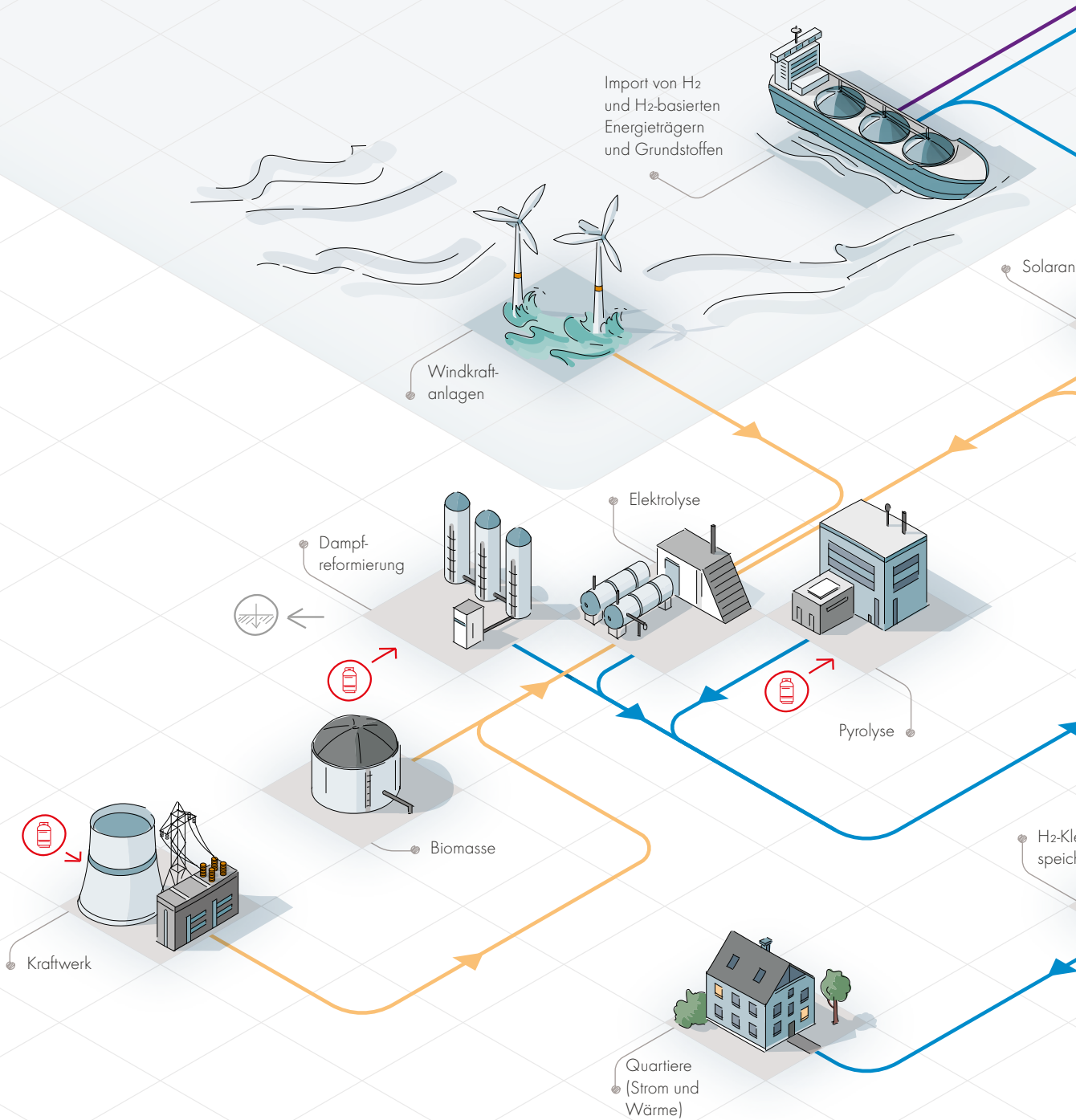
Mittelfristig (bis 2030) wird in den meisten Ländern, die eine Wasserstoffstrategie verabschiedeten, auch die Nutzung blauen Wasserstoffs, bei einigen gar die Nutzung grauen Wasserstoffs als Chance für einen bezahlbaren Markthochlauf und den Aufbau

eines Wasserstoffmarkts gesehen. Türkiser Wasserstoff spielt nur für einige Länder eine Rolle.

In der europäischen und deutschen Wasserstoffstrategie wird zur Erreichung der Klimaziele vor allem längerfristig ein starker Fokus auf grünen Wasserstoff gelegt.

Wege des Wasserstoffs

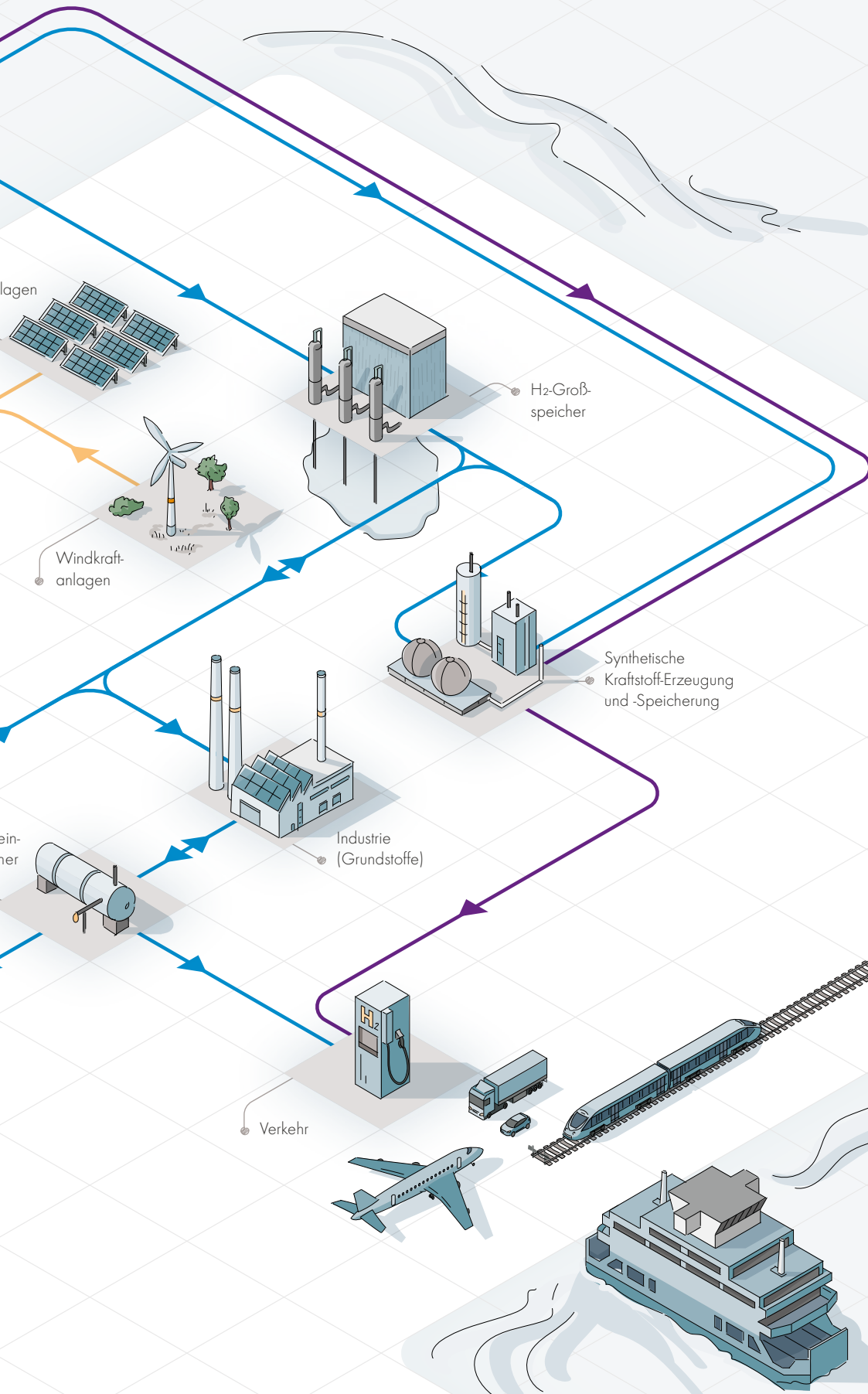
von den Quellen zu den Anwendungen



Legende

- Stromnetz
- H₂
- Synthetische Kraftstoffe

-  Fossile Brennstoffe
-  CO₂ Speicherung



Wasserelektrolyse

Technologien zur Herstellung grünen Wasserstoffs

Auch wenn in der EU und in Deutschland blauer Wasserstoff für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft übergangsweise genutzt werden kann, gehört die Zukunft der grünen Wasserstofferzeugung mittels Wasserelektrolyse. Sie erlaubt die Wandlung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff unter Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien.

Die Produktion von Wasserstoff in Wasserelektrolyse-Anlagen umfasst verschiedene Prozessschritte, von der elektrischen Versorgung über die Elektrolyse, Gastrocknung, Verdichtung hin zur Speicherung. Die zentrale Systemkomponente der Anlagen ist der Elektrolyseur zur Produktion des Wasserstoffs. Heutzutage sind drei Elektrolysetechnologien von Bedeutung:

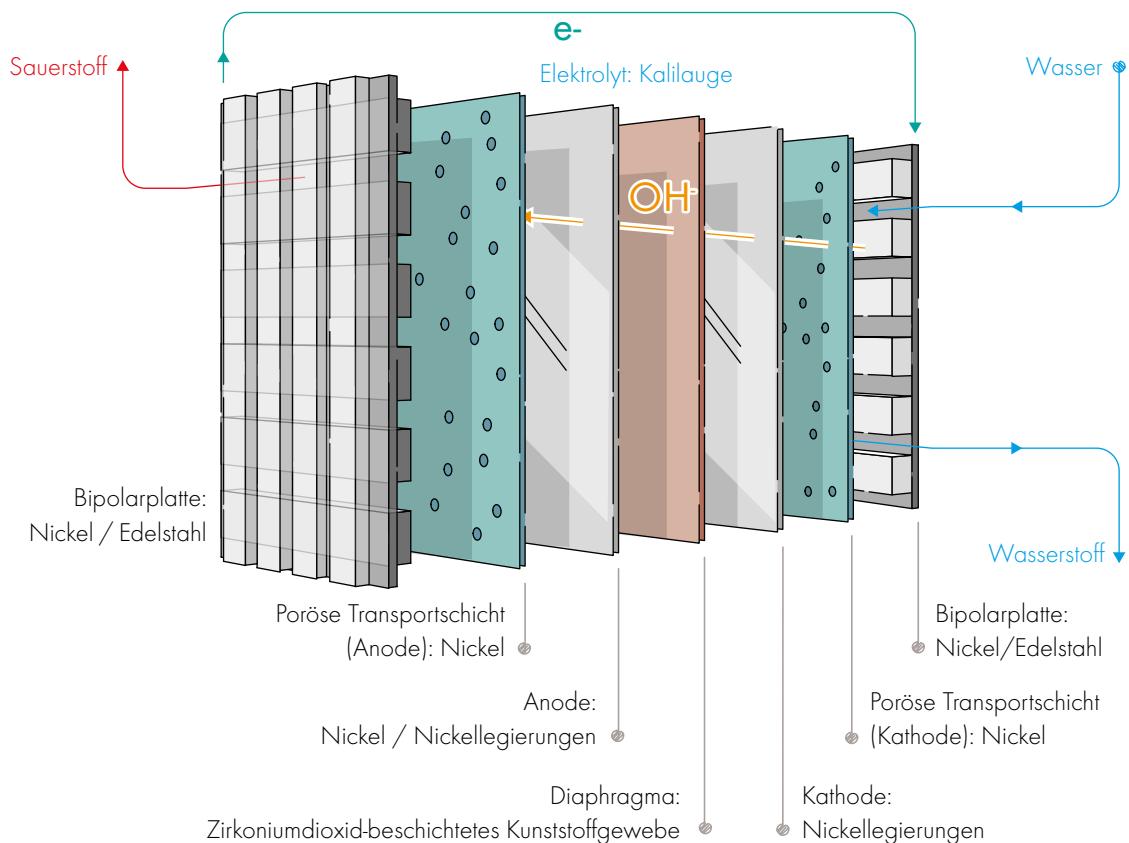
Alkalische Elektrolyse (AEL), Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse (PEMEL) und Festkörperperoxid-Elektrolyse (SOEL).

Bereits heute befinden sich die AEL, aber auch zu weiten Teilen die PEMEL in einem technisch ausgereiften Zustand. SOEL kommt aktuell nur eingeschränkt zum Einsatz. Durch leicht unterschiedliche Charakteristika bietet sich je nach Einsatzzweck eines der Verfahren an.

Alkalische Elektrolyse (AEL)

Bei der AEL wird Kalilauge als Elektrolyt verwendet, wodurch Hydroxid-Ionen (OH^-) als Ladungsträger zur Verfügung stehen. Zwischen Kathode und

ALKALISCHE ELEKTROLYSE (AEL)



Aufbau einer AEL-Zelle

Anode befindet sich ein Diaphragma auf Zirkoniumdioxid-Basis (z. B. Zirfon®), das für die Produktgase Wasserstoff und Sauerstoff nicht durchlässig ist.

Durch das Anlegen einer Spannung an die Elektroden bilden sich aus dem Wasser unter Abspaltung von Wasserstoff an der Kathode die Hydroxid-Ionen. Diese können das Diaphragma passieren und bewegen sich zur Anode, wo Sauerstoff entsteht.

Die AEL ist die älteste und ausgereifteste Technologie der Wasserelektrolyse und steht bereits im großen Maßstab dem Markt zur Verfügung. Im Hinblick auf die Nutzung volatiler Stromangebote besteht jedoch das Problem einer trägen Laständerung und eines relativ geringen Teillastbereichs. Außerdem benötigt die AEL eine relativ lange Kaltstartzeit von etwa 50 Minuten.

Großer Vorteil der AEL ist, dass die Herstellung keine potenziell kritischen Rohstoffe benötigt. In den gängigen Elektrolyseurkonzepten werden für die Anode als auch für die Kathode hauptsächlich Nickel oder Nickellegierungen eingesetzt. Die Anlagen sind

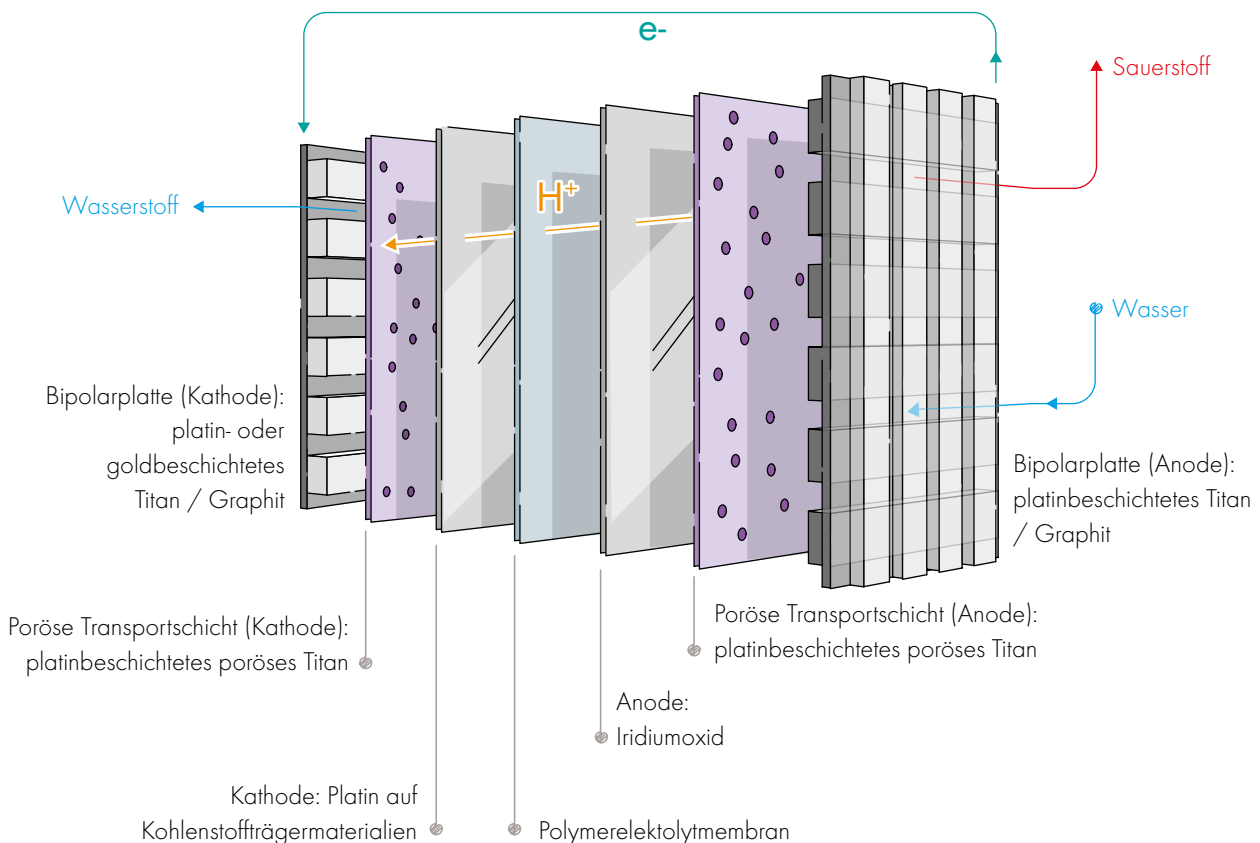
damit relativ kostengünstig, brauchen aber auch viel Platz und kommen – ebenso durch den Einsatz von Kalilauge – nicht für jeden Standort in Frage.

Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse (PEMEL)

Die Bezeichnung PEM leitet sich von der protonenleitenden Membran (engl. Proton-Exchange Membrane) ab. Die Membran, ein Festelektrolyt aus einem Polymer, ist durchlässig für Protonen, aber nicht für Gase wie Wasserstoff oder Sauerstoff. Die Ladungsträger sind Protonen, positiv geladene Wasserstoff-Ionen (H^+), welche die Membran passieren können.

Wird an die von Wasser umspülte Membran elektrische Spannung angelegt, wandern Protonen durch die Membran. An der Kathode entsteht Wasserstoff und an der Anode Sauerstoff. Auf die Anode, an der eine oxidative und dadurch sehr korrosive Atmosphäre herrscht, wird Iridiumoxid (IrO_2) als Katalysator in dünnen Schichten aufgebracht.

POLYMERELEKTROLYTMEMBRAN-ELEKTROLYSE (PEMEL)



Aufbau einer PEMEL-Zelle

Iridium weist eine hohe Resistenz gegen Korrosion auf und gilt zurzeit als unersetzbar, da kein Alternativmaterial bisher die erforderlichen Eigenschaften mitbringt.

Ebenso wird auch Platin als Katalysator bei der Elektrodenbeschichtung in den PEMEL-Zellen verwendet, meist auf der Kathodenseite. Außerdem werden Bipolarplatten, die meist aus Titan bestehen, häufig mit einer dünnen Platinschicht überzogen, um den elektrischen Widerstand der Oberfläche zu reduzieren. Die anoden- und kathodenseitigen, porösen Transportschichten werden aufgrund hoher Korrosionsbeständigkeit aus Titan hergestellt und auch oft mit Platin beschichtet.

Die PEMEL kann gegenüber der AEL besser auf Lastschwankungen reagieren, was insbesondere für die Kopplung mit erneuerbaren Energien von Vorteil ist. Die höheren Stromdichten als bei der AEL erlauben ein kompakteres Design. Bei Platzproblemen oder einem Standort, der den Einsatz von Lauge ausschließt, hat die PEMEL Vorteile gegenüber der AEL.

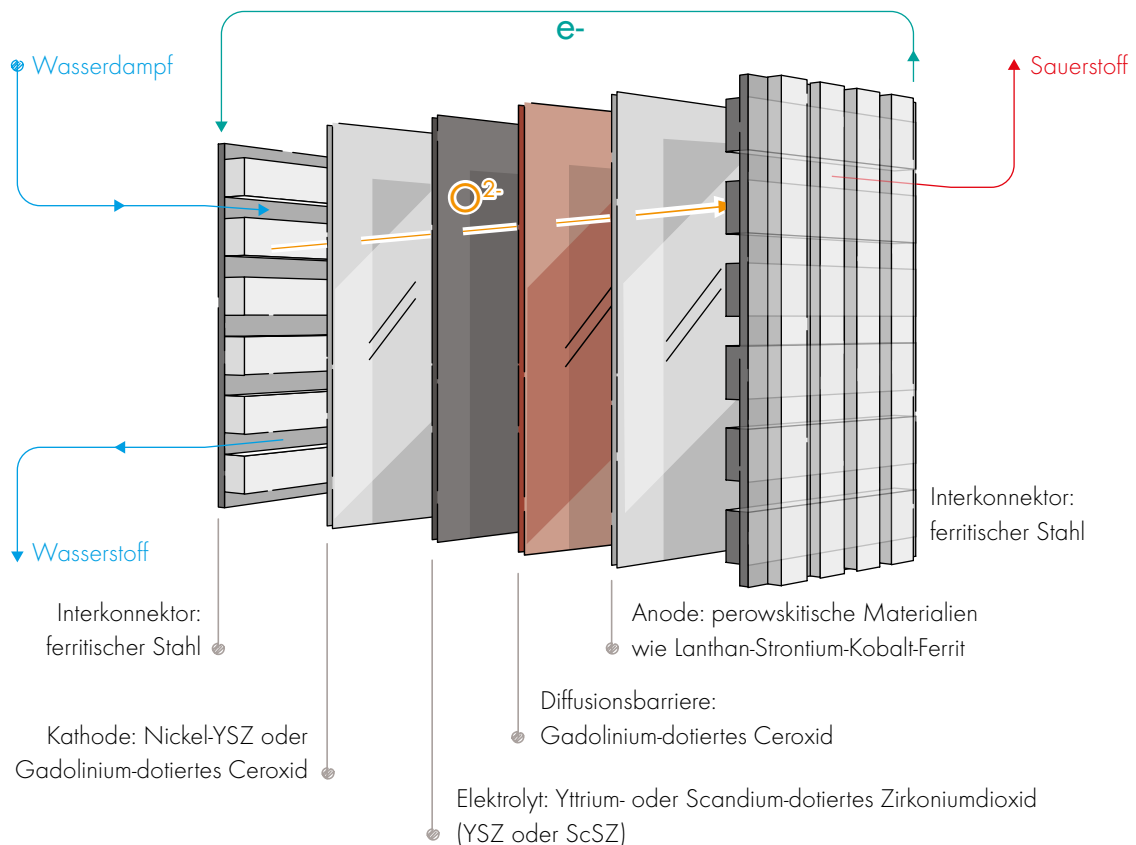
So kann die PEMEL z. B. direkt an Offshore-Windparks zum Einsatz kommen. Durch den Einsatz von Edelmetallen als Katalysator ist diese Technologie jedoch relativ teuer.

Das umgekehrte Prinzip der Elektrolyse nutzen Brennstoffzellen (FC für Fuel Cell), um aus der Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser Energie zu erzeugen. PEMFCs, die vorwiegend in der Mobilität ihre Anwendung finden, setzen außer Iridiumoxid beinahe die gleichen Rohstoffe ein wie die PEMEL.

Festkörperperoxid-Elektrolyse (SOEL)

Die Abkürzung SOEL steht für engl. Solid Oxide Electrolysis. Denn als Elektrolyt wird ein Sauerstoffionen-leitender Feststoff genutzt. Diese Elektrolisetechnologie befindet sich gerade im Übergang zwischen Forschung und industrieller Anwendung. Das Besondere ist, dass sie bei sehr hohen Temperaturen (700 - 850 °C) arbeitet.

FESTKÖRPEROXID-ELEKTROLYSE (SOEL)



Aufbau einer SOEL-Zelle

Bei der SOEL wird das Wasser nicht flüssig, sondern als Wasserdampf zugeführt. An der Kathode dissoziiert dieser in Protonen und Sauerstoff-Ionen. Durch Elektronenaufnahme bilden die Protonen an der Kathode Wasserstoff, während sich die Sauerstoff-Ionen durch den Festelektrolyt zur Anode bewegen und dort durch Elektronenabgabe Sauerstoff bilden.

Der Festelektrolyt besteht entweder aus einem Yttrium-dotierten (YSZ) oder einem Scandium-dotierten Zirkoniumdioxid (ScSZ). Für die Kathode werden Nickel-YSZ-Materialien, ScSZ oder Gadolinium-dotiertes Ceroxid (GDC) und für die Anode perowskitische Materialien wie Lanthan-Strontium-Kobalt-Ferrit (LSCF), Lanthan-Strontium-Kobaltit (LSC) oder Lanthan-Strontium-Manganit (LSM) verwendet. Eine Diffusionsbarriere, die in der Regel aus GDC besteht, wird zum Schutz vor einer chemischen Reaktion zwischen Elektrolyt und Anode eingesetzt.

Interkonnektoren, die einzelne Zellen voneinander trennen, während sie die Kathode der einen Zelle mit der Anode der anderen Zelle elektrisch verbinden,

bestehen in den meisten Fällen aus ferritischen Stählen (nickel-/ferro- oder chrombasierte Legierungen).

Der große Vorteil der SOEL ist das höhere Effizienzpotenzial im Vergleich zu anderen Technologien, das theoretische Wirkungsgrade von 80 bis 90 % ermöglicht, auch wenn diese aktuell bei 45 - 55 % liegen. Das hohe Temperaturniveau und die Kopplung mit Wärmeanwendungen versprechen großes Potenzial. Ein Nachteil der Technologie sind die derzeit notwendigen langen Kaltstartzeiten von mehreren Stunden sowie eine kurze Lebensdauer. Die SOEL ist eine Technologie, die für eine hohe Volllaststundenzahl geeignet ist.

Das umgekehrte Prinzip einer SOEL wenden Feststoffoxid-Brennstoffzellen an (SOFC). Für sie kommen die gleichen Rohstoffe wie bei der SOEL zum Einsatz.

Wasserelektrolyse

Rohstoffbedarf

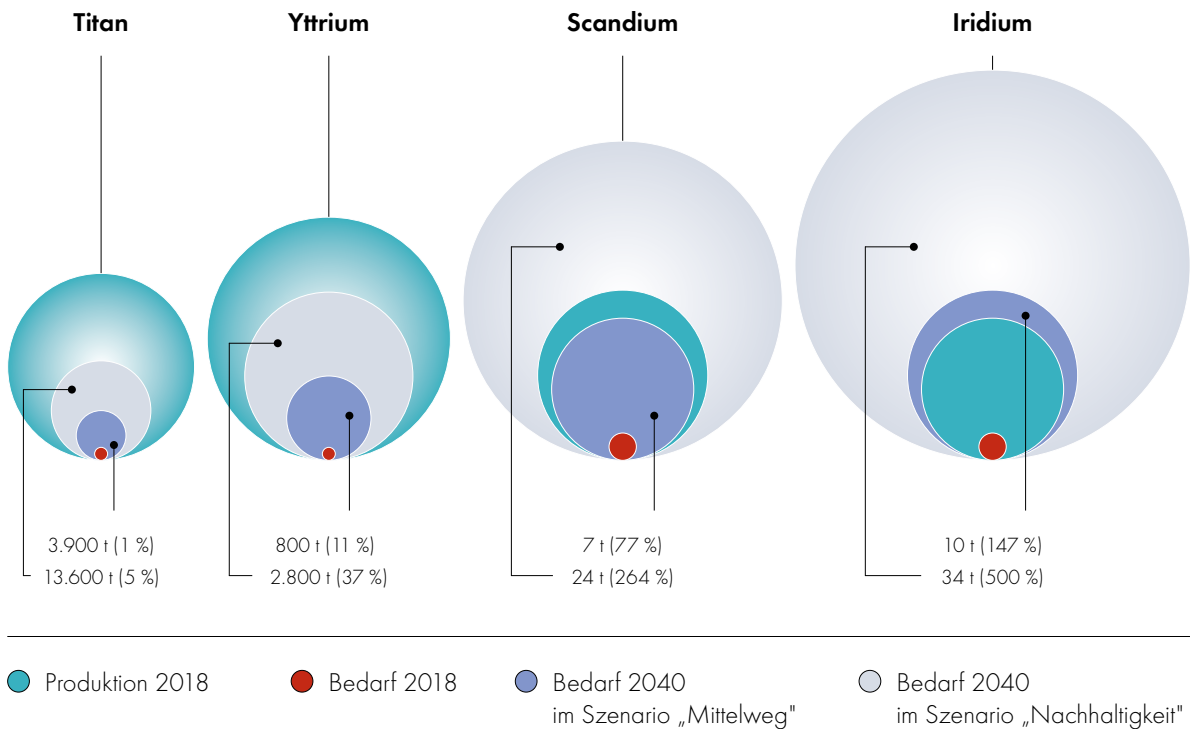
Die Auftragsstudie der DERA „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021“ ermittelte u. a. Bedarfe an mineralischen Rohstoffen für die Wasserelektrolyse bis ins Jahr 2040. Betrachtet wurden die drei Technologien AEL, PEMEL und SOEL. Die Rohstoffbedarfe wurden für drei unterschiedliche Szenarien „Nachhaltigkeit“, „Mittelweg“ und „Fossiler Pfad“ ermittelt.

Die Ergebnisse aus der Studie sind hier für die zwei Szenarien dargestellt, bei denen die Dekarbonisierung der Wirtschaft angestrebt wird. Das Szenario „Fossiler Pfad“ wird deshalb nicht gezeigt, da Wasserstofftechnologien in dem Szenario nicht eingesetzt werden.

Bei Iridium, das in der PEMEL eingesetzt wird, ist der Bedarf nur für die Wasserelektrolyse für das Jahr 2040 in beiden Szenarien deutlich höher als die Produktion im Jahr 2018. Im Szenario „Nachhaltigkeit“ wird die fünffache Menge der Raffinadeproduktion, die in 2018 etwa 6,8 t betrug, benötigt.

Der Bedarf an Scandium für die SOEL könnte im Szenario „Nachhaltigkeit“ im Jahr 2040 das 2,7-fache der Produktion von 2018 betragen. Die Bergwerksförderung lag 2018 bei etwa 9,1 t. Im Szenario „Mittelweg“ würde der Bedarf bei etwa 7 t liegen, was alleine für diese Technologie 77 % der Produktion im Jahr 2018 entspricht.

Bei Yttrium und Titan liegen die Bedarfe für die Wasserelektrolyse in beiden Szenarien unter der Raffinadeproduktion aus dem Jahr 2018. Jedoch können andere Technologien, die diese Rohstoffe einsetzen - und das gilt natürlich auch für Scandium und Iridium - in Konkurrenz mit der Wasserelektrolyse stehen. Die einzelnen Rohstoffmärkte müssen im Detail betrachtet werden, um abzuschätzen, wie die Nachfragesteigerung in Zukunft abgedeckt werden kann.



Rohstoffbedarfe für die Wasserelektrolyse (AEL, PEMEL und SOEL) (Datenquelle: MARSCHIEDER-WEIDEMANN ET AL. 2021)

Scandium: Das unbekannte Nebenelement

Brennstoffzelle bereits bedeutendste Anwendung

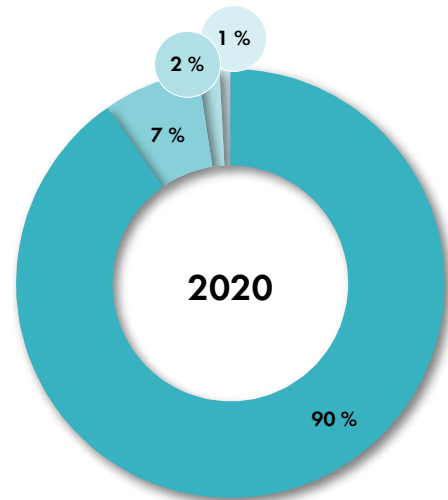
Scandium (Sc) ist ein weit verbreitetes Element und in zahlreichen Lagerstätten in geringen Mengen enthalten. Bislang war der globale Bedarf eher gering, weshalb nur wenige Tonnen pro Jahr als Begleitelement gewonnen wurden. Die Festkörperoxid-Brennstoffzellentechnologie (SOFC) hat den Bedarf jedoch in den letzten Jahren deutlich ansteigen lassen. In dieser Technologie und in der Festkörperoxid-Elektrolyse (SOEL) wird neben Yttrium-dotiertem auch Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid als Elektrolyt eingesetzt. Die Vorteile des Scandium-dotierten Materials sind die bessere Leitfähigkeit und die höhere Stabilität bei niedrigeren Betriebstemperaturen.

Scandium kommt als Begleitelement in zahlreichen Lagerstättentypen in Gehalten von etwa 0,5 bis 100 ppm vor. Insbesondere Titan-, Wolfram-, Zinn-, Seltene-Erden- und Zirkonlagerstätten können Scandiumgehalte von deutlich mehr als 20 ppm aufweisen. Global wirtschaftlich interessant sind aufgrund

der großen Tonnagen auch Bauxit-, Nickel- und Uranlagerstätten. Die Datenlage für die Scandiumproduktion ist sehr uneinheitlich. Nach unterschiedlichen Quellen werden derzeit pro Jahr etwa 10 - 20 t Scandium gewonnen, die DERA geht derzeit von etwa 14 - 16 t aus.

Die Nachfrage als auch das Angebot sind aufgrund der hohen Länderkonzentration der Produktion bzw. der wenigen verarbeitenden Unternehmen deutlich konzentriert. Der mit Abstand bedeutendste Scandiumproduzent ist China mit geschätzt mehr als 10 t pro Jahr (> 75 % Anteil an globaler Produktion), gefolgt von Russland mit maximal 1 - 2 t und den Philippinen mit etwa 1 t pro Jahr. In China wird Scandium als Begleitelement bei der Aufbereitung von Titanerzen und Zirkon gewonnen. Die Auslastung liegt dort laut der CM GROUP (2021) lediglich bei etwa 20 %. In Russland wird Scandium aus Restlösungen der In-situ-Laugung von Uranlagerstätten produziert.

Scandiumnachfrage



■ SOFC ■ Luftfahrt ■ Sportgeräte ■ übrige Anwendungen (inkl. Metall)

Nachfrage nach Scandiumoxid 2020 (Datenquelle: CM Group 2021)

Seit Kurzem wird Scandiumoxalat in geringen Mengen auch aus Nickel-Kobalterzen in einer Pilotanlage auf den Philippinen gewonnen. Die Taganito HPAL Nickel Corporation, die zu 75 % im Besitz des japanischen Unternehmens Sumitomo Metal Mining Ltd. ist, möchte laut eigenen Angaben die Jahreskapazität auf bis zu 7,5 t Scandium ausweiten. Scandiumoxalat soll in Japan zu Scandiumoxid weiterverarbeitet werden. Das Unternehmen Rio Tinto hat zudem begonnen in Quebec, Kanada, Scandium aus den Resten der Titanerzaufbereitung für die Produktion von Al-Sc-Legierungen zu gewinnen. RUSAL hat in Russland Ähnliches angekündigt. Das Scandium stammt hier aus Rotschlamm, der bei der Aluminiumgewinnung aus Bauxit anfällt.

Insgesamt erscheint mittelfristig eine deutliche Steigerung der globalen Produktion möglich, da es auch noch einige andere Unternehmen gibt, die bereits heute in der Lage wären, höhere Scandiummengen aus ihren Reststoffen zu gewinnen. Ob die Produktion mit einer Nachfragesteigerung mithalten können, bleibt abzuwarten. Der vergleichsweise hohe Preis und die geringe globale Produktion standen bislang dem vermehrten Einsatz des Rohstoffes entgegen.

Laut der CM Group (2021) wird Scandiumoxid inzwischen schon zu etwa 90 % für SOFC und nur untergeordnet für Al-Sc-Legierungen in der Luftfahrt und in Sportgeräten verwendet. Die Bedarfssteigerung bei den SOFC ist derzeit jedoch im Wesentlichen auf nur ein Unternehmen zurückzuführen, das auf Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid als Elektrolyt setzt.

Bis zum Jahr 2040 könnte der Scandiumbedarf laut der DERA-Auftragsstudie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021“, je nach Szenario, nur für die Technologien SOFC und SOEL auf 34 - 72 t steigen. Möglich wäre aber auch, dass der Bedarf deutlich darüber liegt, wenn vorwiegend auf Scandium- statt auf Yttriumoxid als Dotierungselement zurückgegriffen wird. Zukünftig ist damit ein deutlich engerer Markt zu erwarten. Die freien Kapazitäten in China und andernorts könnten dann sehr schnell aufgezehrt sein. Der Markt wird somit an Dynamik zunehmen und weist insgesamt ein erhöhtes Preis- und Lieferrisiko auf, auch wenn mit Rio Tinto und RUSAL nun zwei große Bergbauunternehmen angekündigt haben, Scandium für Al-Sc-Legierungen zu gewinnen, was der Verwendung des Metalls einen weiteren Schub geben könnte.

Iridium: Korrosionsbeständigstes Element

bislang unersetzbar in der PEM-Elektrolyse

Iridium (Ir) gehört neben Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh), Palladium (Pd), Osmium (Os) und Platin (Pt) zu den sogenannten Platingruppenmetallen (PGM). Das seltene Edelmetall kommt in der kontinentalen Kruste mit einer Häufigkeit von lediglich 1 ppb vor.

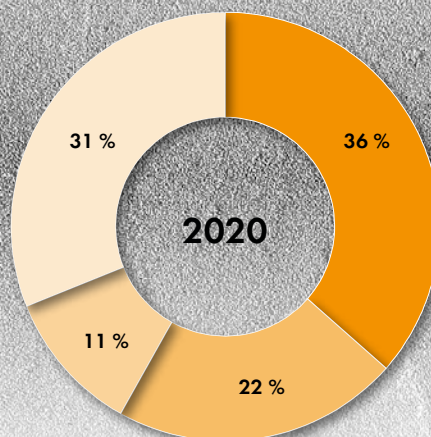
Global treten die PGM in unterschiedlichen Lagerstättentypen zusammen auf und sind vorrangig mit Nickel und Kupfer vergesellschaftet. Magmatische PGM-Lagerstätten stellen die wichtigsten und größten Vorkommen dar. Sie können prinzipiell in zwei unterschiedliche Typen gegliedert werden: zum einen PGM-dominierte Lagerstätten mit geringen Gehalten an Basismetallsulfiden (bspw. Südafrika), zum anderen Nickel-Kupfer-dominierte Lagerstätten, in denen die PGM als Beiprodukte gewonnen werden (bspw. Russland).

Grundsätzlich werden PGM in nur wenigen Ländern von wenigen Unternehmen gefördert und auch dort aufgrund ihres Wertes den ersten Stufen der Wertschöpfung zugeführt. Einen reinen Export von Erzen und Konzentraten gibt es, ausgenommen unternehmensinterne Transfers, nicht.

Die jährlichen Förder- bzw. Produktionsmengen liegen derzeit bei rund 190 t Pt, ca. 220 t Pd und 25 t Rh. Angaben zu den übrigen PGM sind aufgrund der sehr kleinen Märkte stark limitiert. Nach unterschiedlichen Quellen werden pro Jahr etwa 6 – 10 t Iridium gewonnen. Die DERA geht aktuell von etwa 8 t für das Jahr 2020 aus. Das jährliche Angebot von Iridium wird aus der Nachfrage abgeleitet, da man von einem ausgeglichenen Markt ausgehen kann. Laut HOBSON (2021) ist Südafrika mit 80 – 85 % der wichtigste Produzent für Iridium, gefolgt von Russland. Inwieweit die globale Nickelindustrie zur Versorgung mit Iridium beiträgt, kann aufgrund fehlender Daten nicht verifiziert werden.

Die PGM kommen global in spezifischen Verhältnissen vor. So liegen die Platingehalte in Südafrika bei 1,26 – 3,25 g/t. Die Palladiumgehalte variieren zwischen 1,38 und 2,04 g/t Erz. Demgegenüber liegen die Iridiumgehalte bei lediglich 0,02 – 0,1 g/t Erz. Veränderungen der Fördermengen bei Platin und Palladium bedingen somit auch Veränderungen bei den übrigen als Beiprodukte geförderten PGM.

Iridiumnachfrage



■ Elektrochemie ■ Elektrobranche ■ Chemie ■ übrige Anwendungen

Die Preisentwicklung der PGM zeigt generell eine hohe Volatilität. Hier spielen vor allem Entwicklungen im Bereich der Autokatalysatoren eine wichtige Rolle für Platin, Palladium und Rhodium. Da Platin und Palladium aufgrund ihres Wertes auch als Investments (ETFs) genutzt werden, ist die Preisgestaltung sehr komplex. Iridium wird dagegen aufgrund des kleinen Marktes nicht als Investment genutzt.

Ihre Hauptanwendung finden die PGM vor allem in Katalysatoren der chemischen Industrie und Abgasreinigung von Fahrzeugen jeglicher Art. Hier spielen Eigenschaften wie ein hoher Schmelzpunkt und Korrosionsbeständigkeit eine wesentliche Rolle. Iridium gilt als das korrosionsbeständigste Element überhaupt. Das Edelmetall ist somit aktuell unersetzlich in der Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse (PEMEL), in der es als Iridiumoxid in einer sauren Umgebung auf der Anode eingesetzt wird. Aktuell wird Iridium hauptsächlich noch im Bereich der Elektronik- und Elektrochemiebranche verwendet, das größte Potenzial liegt jedoch im Bereich der PEMEL.

Laut der DERA-Auftragsstudie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021“ könnte der Iridiumbedarf, in den Szenarien „Mittelweg“ und „Nachhaltigkeit“, für die PEMEL-Technologie allein, auf weltweit 10 bzw. 34 t bis zum Jahr 2040 steigen.

Der Markt dieser Technologie und somit der Bedarf an Iridium wird voraussichtlich stark an Dynamik zunehmen und ist vor diesem Hintergrund, gepaart mit der Versorgungslage als Beiprodukt, mit deutlich erhöhten Preis- und Lieferrisiken behaftet. Eine markante Erhöhung der Iridiumproduktion erscheint aus aktueller Sicht nicht möglich. Dies würde eine gleichzeitig deutliche Erhöhung der Platin- und Palladiumproduktion bedingen. Eine solche Erhöhung ist nicht absehbar. Zumal die PGM-Industrie, vor allem in Südafrika, vor großen sozioökonomischen Herausforderungen steht. Eine Deckung der prognostizierten Bedarfe an Iridium über den Sekundärsektor erscheint wenig aussichtsreich.

Yttrium: Versorgung hängt an China

Bedarf für Wasserstofftechnologien wird steigen

Yttrium (Y) ist ein Seltenerdelement. Zur Gruppe der Seltenen Erden gehören die 15 Elemente der Lanthanoiden und Yttrium. Sie werden in Leichte und Schwere Seltene Erden eingeteilt, wobei Yttrium zu den Schweren Seltenen Erden zählt. Nahezu alle Schweren Seltenen Erden, die derzeit produziert werden, stammen aus China.

In der großen Mehrheit der Seltenen-Erden-Lagerstätten sind Schwere Seltene Erden in nur sehr geringen Konzentrationen vertreten, mit am häufigsten ist Yttrium, was sich auch in der Produktionsmenge widerspiegelt. Schwere Seltene Erden und somit auch Yttrium sind vor allem in Ionenaustauschharzen (IAT) und im Mineral Xenotim angereichert.

IAT werden hauptsächlich in den südlichen Provinzen Chinas und in Myanmar abgebaut. Weitere in Entwicklung befindliche Vorkommen liegen in Chile, Brasilien, Uganda und Madagaskar. Die Zusammensetzung und die Anteile der einzelnen Seltenerdelemente kann je nach Vorkommen erheblich variieren.

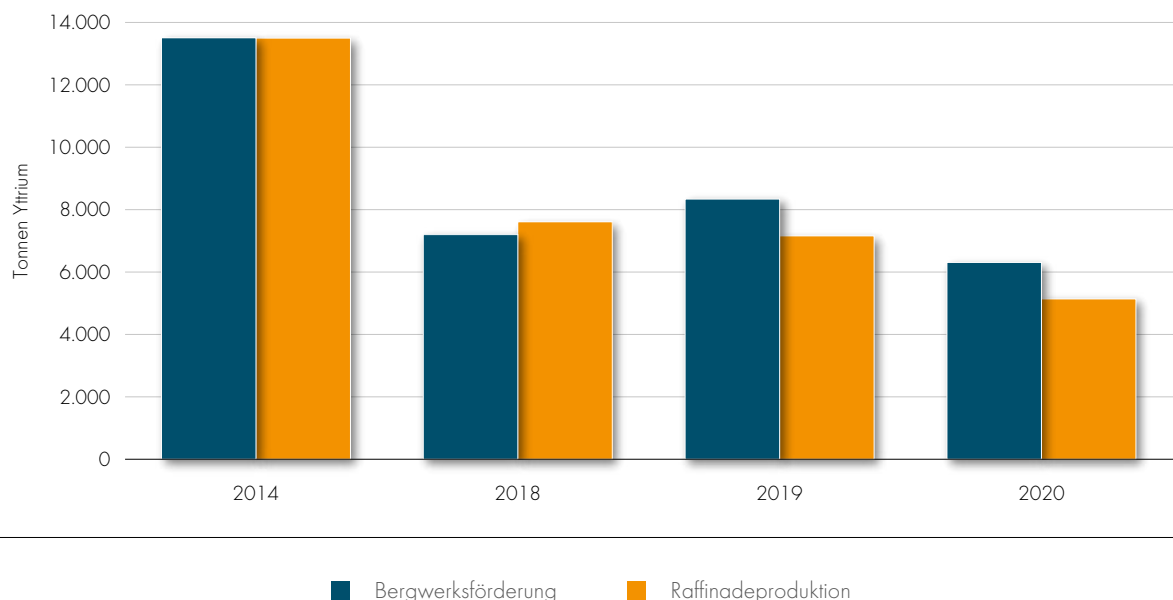
Xenotim findet sich in Seifenlagerstätten bspw. in Schwermineralsanden in Australien und als Beiprodukt in den Zinnsteinlagerstätten Südostasiens. Xenotim wurde früher als Nebenprodukt des Zinnbergbaus in Malaysia, Indonesien und Thailand

gewonnen. Umweltprobleme führten jedoch zur starken Einschränkung des Abbaus. Aus einigen Lagerstätten wird noch Xenotim gewonnen, allerdings ist die derzeitige Förderung sehr gering und trägt nur einen sehr kleinen Teil zur globalen Yttriumgewinnung bei.

Weitere Vorkommen mit hohen Yttriumanteilen befinden sich z. B. in Australien, Brasilien, Kanada, den USA, aber auch in Europa, hier in Grönland und Schweden (Norra Kärr).

Die weltweite jährliche Produktion von Yttrium wird für die Jahre 2019 und 2020 auf 8.300 bzw. 6.300 t geschätzt. Noch wenige Jahre zuvor war die Produktion mit 13.500 t (2014) deutlich höher. Dies lag an der damals hohen Förderung von IAT in China, deren Abbau z. T. an der Produktionsquote vorbei erfolgte, aber in den letzten Jahren, u. a. aufgrund von Umweltproblemen, stark eingeschränkt wurde.

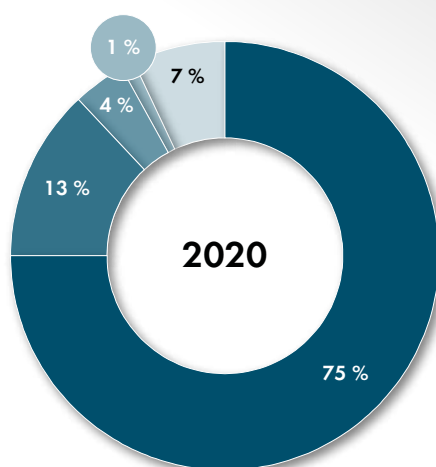
Das Haupteinsatzgebiet von Yttrium besteht in der Form von Yttrium-dotiertem Zirkonoxid (YSZ), das zur Herstellung hochwiderstandsfähiger Keramik genutzt wird. Diese wiederum findet man bspw. als feuerfesten Werkstoff in der Luft- und Raumfahrt, in Festkörperoxid-Brennstoffzellen (SOFC) und Festkörperoxid-Elektrolyseuren (SOEL), aber auch in künstlichen Gelenken oder als Zahnersatz.



In den Wasserstofftechnologien SOEL und SOFC kommt YSZ seit Langem zum Einsatz und ist auch aktuell noch das am häufigsten verwendete Elektrolytmaterial. Zur Stabilisierung von Zirkoniumdioxid kann Yttriumoxid durch Scandiumoxid substituiert werden. Scandium-dotiertes Zirkoniumdioxid (ScSZ) weist eine bessere Leitfähigkeit und auch eine höhere Stabilität auf, YSZ ist jedoch verfügbarer und günstiger.

Im Jahr 2018 lag der Yttriumbedarf für SOEL und SOFC bei rund 3 t. Die DERA-Auftragsstudie „Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021“ zeigt, dass der Yttriumbedarf, je nach Szenario, für SOEL und SOFC allein auf weltweit 1.270 – 3.642 t bis zum Jahr 2040 steigen könnte. Bei einer Produktion von 6.300 t sind dies 20 – 57 % des derzeitigen Angebots.

Yttriumnachfrage



■ Keramik ■ Leuchtstoffe ■ Glas ■ Pigmente ■ übrige Anwendungen

Nachfrage nach Yttrium 2020 (Datenquelle: angelehnt an Roskill 2021)

Des Weiteren wird Yttrium als Sintermittel bei der Herstellung von Siliziumnitrid verwendet und in SiALON-Keramiken (Silizium-Aluminiumoxid-Nitrid). Ein wichtiges Hauptanwendungsgebiet ist Yttrium-Aluminium-Granat (YAG) z. B. für YAG-Laser.

Ein weiterer bedeutender Einsatzbereich von Yttrium liegt in der Produktion von Leuchtstoffen z. B. für Leuchtrohren, Lampen und Flachbildschirme.

Im Bereich Hochleistungskeramiken wird für die nächsten Jahre das stärkste Nachfragewachstum für Yttrium vermutet.

Für Yttrium besteht eine hohe Angebotskonzentration im Bergbau, noch stärker konzentriert ist die Weiterverarbeitung zu Yttriumoxid bzw. -metall. Die Raffinadeproduktion von nahezu allen Schweren Selteneren Erden erfolgt in China. Änderungen der wirtschaftlichen Bedingungen, Umweltprobleme oder Genehmigungs- und Handelsbeschränkungen könnten die Verfügbarkeit vieler Seltenerdelemente, einschließlich Yttrium, beeinträchtigen.

Titan, Nickel, Zirkonia und Cer

Eine Reihe von mineralischen Rohstoffen kommt in unterschiedlichen Komponenten von Elektrolyseanlagen zum Einsatz. Auch wenn der zukünftige Bedarf in diesem Bereich bei einigen Metallen voraussichtlich nicht die derzeitige Produktion übersteigen wird, sollten Anlagenhersteller die Märkte dieser Rohstoffe beobachten.



Titanschwamm

Titan

Für die Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse (PEMEL) werden Bipolarplatten und poröse Transportschichten aufgrund hoher Korrosionsbeständigkeit aus Titan verwendet.

Titan ist in der Erdkruste weit verbreitet und ein bedeutendes Leichtmetall. Der weit überwiegende Anteil von Titanerzen wird jedoch für nicht-metallische Anwendungen, d. h. in Form von Titandioxid als Weißpigment genutzt. Lediglich 6 % werden zu Titanschwamm aufbereitet und nachfolgend zu Titanmetall verarbeitet, das anschließend meist weiter für Titanlegierungen verwendet wird. Titanschwamm wird weltweit in nur sieben Ländern produziert. Die Gesamtproduktion im Jahr 2019 betrug etwa 210.000 t. 40 % der Produktion entfallen auf China, gefolgt von Japan mit etwa 20 - 25 % und Russland mit etwa 20 %.

Die Nachfrage nach Titanmetall ist sehr stark von der Luftfahrtindustrie abhängig, die infolge der Corona-Pandemie zunächst deutlich eingebrochen ist, sich inzwischen jedoch wieder erholt hat.

Nickel

Bei der alkalischen Elektrolyse (AEL) wird Nickel in unterschiedlichen Komponenten der Elektrolysezelle eingesetzt. Es wird als Anoden- und Kathodenmaterial, in den Bipolarplatten sowie in der anodenseitigen Transportschicht (als Raney-Nickel) verwendet. Außerdem kommen nickelführende weichmartensitische und austenitische Sonderstähle in unterschiedlichen Wasserstofftechnologien in der Herstellung, beim Transport und bei der Speicherung von Wasserstoff zum Einsatz.

Die globale Bergwerksproduktion von Nickel betrug im Jahr 2019 rund 2,54 Mio. t. Das bedeutendste Förderland war Indonesien mit etwa 853.000 t Nickelinhalt im Erz (Marktanteil 33,6 %), gefolgt von den Philippinen (Marktanteil 12,7 %), Russland (8,8 %) und Neukaledonien (8,2 %). Die derzeitige Raffinadeproduktion entfällt vor allem auf China mit 34 % und Indonesien mit 15,8 %.

Nickel wird überwiegend für die Herstellung von nicht rostenden Stählen und Nickellegierungen nachgefragt. Zukünftig wird aber die Nachfrage für die Batterieherstellung der wesentliche Wachstumstreiber sein.

Zirkonia

Zirkoniumdioxid (ZrO₂), auch Zirkonia genannt, ist eine der am häufigsten verwendeten Oxidkeramiken. Die Anwendungen sind aufgrund der hohen Widerstandsfähigkeit gegen chemische, thermische und mechanische Einflüsse sehr vielfältig. Die wichtigsten Einsatzfelder sind feuerfeste Werkstoffe z. B. in Hochöfen und in Turbinen, Fahrzeug- oder Industriekatalysatoren, Hochleistungskeramiken und elektronische Materialien.

Zirkonia kann durch mehrere Verfahren aus dem Mineral Zirkon (ZrSiO₄) hergestellt werden. Die bedeutendsten Zirkonförderländer sind Australien und Südafrika. Die derzeitige globale Zirkonnachfrage beträgt etwa 1 Mio. t. Der weitaus größte Teil davon wird zur Fliesenglasur- und Fliesenherstellung verwendet. Nur ein sehr geringer Anteil wird zu Zirkonia weiterverarbeitet.

Aufgrund der Fähigkeit, bei höherer Temperatur Sauerstoff-Ionen elektrolytisch zu leiten, wird Zirkonia als Festelektrolyt z. B. in der Festkörperoxid-Elektrolyse (SOEL) sowie Festkörperoxid-Brennstoffzellen (SOFC) eingesetzt. Bei Temperaturzunahme und -abnahme ändert sich die Kristallmodifikation von Zirkonia und es kommt zu Volumenänderungen, welche Spannungen und somit Risse in Bauteilen verursa-

chen können. Um dies zu verhindern, wird Zirkonia mit verschiedenen Oxiden stabilisiert (Dotierung).

Für den Festelektrolyt in der SOEL und den SOFC kommt meist Yttriumoxid, aber auch Scandiumoxid zum Einsatz. In der SOEL kann auf Scandium-Cer-dotiertes Zirkoniumdioxid (ScCeSZ) und bei den SOFC auf Gadolinium-dotiertes Ceroxid (GDC) und Cer-Gadolinium-Oxid (CGO) zurückgegriffen werden.

Cer

Cer ist ein Seltenerdenelement und gehört mit Lanthan, Neodym und Praseodym zu den Leichten Seltenen Erden (Cer-Gruppe). Die Seltenen Erden können nur zusammen abgebaut werden. Die gewinnbare Menge einzelner Seltener Erdoxide (SEO) hängt somit von der Lagerstättenzusammensetzung ab. Cer kommt in den meisten Lagerstätten deutlich häufiger vor als die anderen Seltenen Erden.

Die Raffinadeproduktion von Cer betrug im Jahr 2019 etwa 53.000 t, die Bergwerksförderung sogar etwa 71.000 t. Das entspricht einem Anteil von 40 % der produzierten Seltenen Erden. Die wichtigsten Bergwerksförderländer von Leichten Seltenen Erden waren China, USA und Australien. Die Raffinadeproduktion erfolgt hauptsächlich in China und Malaysia.



Stabilisiertes Zirkoniumdioxid für verschiedene Anwendungen

Rohstoffpreise

Scandium und Yttrium

Scandium und Yttrium werden vor allem als Oxid (Sc_2O_3 , Y_2O_3) oder als Metall (Sc, Y) gehandelt. Neben diesen Haupthandelsprodukten existiert noch eine Reihe von weiteren Handelswaren. Bei Scandium sind dies vor allem Aluminiumlegierungen mit einem Scandiumanteil von 2 % sowie Iod-, Chlor-, Fluor- und Acetatverbindungen. Yttrium wird unter anderem als Chlorid, Fluorid, Acetat oder Hydroxid vertrieben.

Obwohl an zwei chinesischen Rohstoffbörsen Seltene Erden sowie Scandium und Yttrium gehandelt werden können, sind Informationen über Preise nur schwer zugänglich. Der überwiegende Handel von Scandium und Yttrium findet außerhalb der Börsen statt. Die Preise werden zwischen Käufern und Verkäufern separat ausgehandelt und sind somit nicht öffentlich verfügbar. Preisbestimmend sind neben der aktuellen Nachfrage- und Angebotssituation vor allem die Qualitätsanforderungen sowie der Umfang der Lieferung. Eine Preisabsicherung über Terminmärkte ist nicht möglich. Die Shanghai Future Exchange untersucht aktuell die Möglichkeit, Termingeschäfte für Seltene Erden anzubieten.

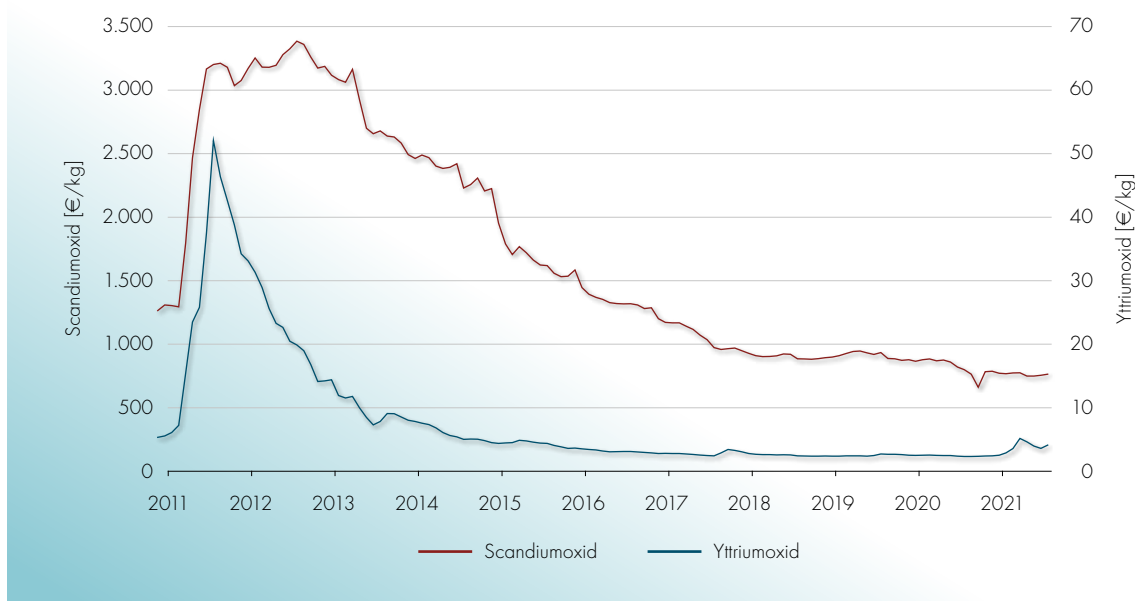
Der Preis für Scandiumoxid erreichte im Sommer 2011 zusammen mit den anderen Elementen der

Seltenen Erden den bisherigen Höchststand von über 3.000 €/kg. Seitdem befindet sich der Scandiumpreis in einem steten Abwärtstrend und notiert im August 2021 bei ca. 760 €/kg.

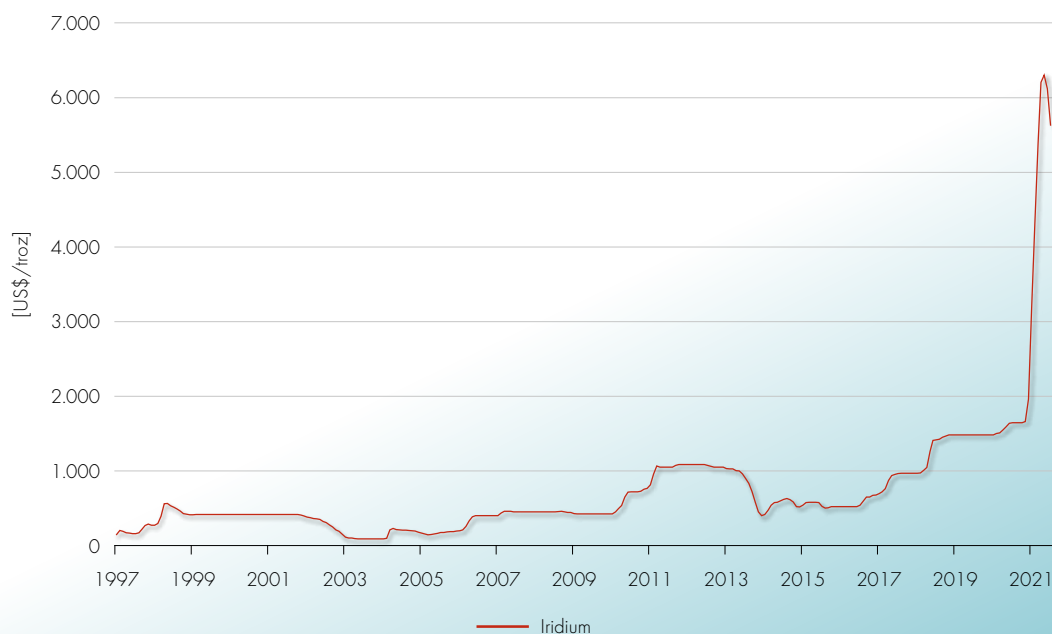
Scandium wird weltweit hauptsächlich als Scandiumoxid gewonnen. Um metallisches Scandium zu erhalten, sind weitere aufwendige Prozessschritte notwendig. Dies spiegelt sich in einem höheren Preis wider, der aktuell um das Vierfache über dem Oxidpreis liegt.

Die neue Scandium-Produktionsanlage von Rio Tinto im kanadischen Quebec nahm im Juni 2021 die Produktion auf. Nach der Anlaufphase wird die Anlage eine Kapazität von 3 t pro Jahr Scandiumoxid haben. Das entspricht in etwa 20 % des aktuellen Angebots. Das zusätzliche Angebot könnte sich bei ausbleibender Nachfrage auf den Scandiumpreis auswirken und zu weiteren Preisabschlägen führen. Zusätzliche Ausbaustufen seien laut Rio Tinto möglich, sodass bei einem steigenden Bedarf die Produktion erhöht werden kann.

Auch der Preis für Yttriumoxid erreichte 2011 seinen bisherigen Höchststand von über 50 €/kg. Der anschließende Abwärtstrend dauerte bis ins Jahr 2018, als das Kilogramm Yttriumoxid nur noch 2,5 € kostete. Zwischen Januar 2021 und August 2021 ist



Preisentwicklung von Scandiumoxid und Yttriumoxid (Datenquelle: BGR o. J.)



Preisentwicklung von Iridium (Datenquelle: BGR o. J.)

der Preis für Yttriumoxid um ca. 90 % angestiegen. Grund sind neben einer zunehmenden Nachfrage vor allem die Verfügbarkeit von Yttriumerz.

Yttrium wird vor allem aus Ionenaustauschtonen (IAT) gewonnen. China, der größte Produzent von Yttrium, deckte 2021 den eigenen Bedarf an IAT zu 60 % über Myanmar. Die politische Situation in Myanmar als auch ein temporäres chinesisches Importverbot im Jahr 2021 von Erzen aus Myanmar sorgten für steigende Yttriumpreise.

Iridium

Der Preis für Iridium kann täglich über die großen Edelmetallhändler und -verarbeiter eingesehen werden. Eine börsengestützte Preisabsicherung wie bei Platin oder Palladium über Terminkontrakte ist für Iridium nicht möglich.

Der Preis für Iridium erlebte zwischen Dezember 2020 und Mai 2021 einen signifikanten Anstieg. Während das Metall zum Jahresende 2020 rund

1.700 US\$/troz kostete, stieg der Preis bis Mai 2021 auf 6.300 US\$/troz.

Der Grund für diesen Preisanstieg: Ein relativ kleiner und ausgeglichener Markt trifft auf eine steigende Nachfrage bei gleichzeitigen Versorgungsengpässen. Iridium wird für verschiedene Nischenprodukte verwendet. Mit dem Aufkommen der neuen Mobilfunktechnologie 5G ist die Nachfrage nach Iridiumtiegeln zur Züchtung von synthetischen Kristallen gestiegen. Gleichzeitig ist das Iridiumangebot durch die Corona-Pandemie und technische Probleme in Südafrika stark reduziert gewesen.

Iridium wird als Beiprodukt der Palladium- und Platinproduktion mitgewonnen. Durch diese Kopplung ist eine der Nachfrage angepasste Bergwerksförderung nicht ohne Weiteres möglich. Zusätzlich ist der Iridiummarkt hochkonzentriert. Weitaus größter Teil der globalen Bergwerksförderung findet in Südafrika statt. Bei Produktionsausfällen kann es dann – wie im Jahr 2021 zu beobachten – zu dramatischen Preissteigerungen kommen.

Versorgungsrisiken

Die Bewertung von Versorgungsrisiken ist stets Ausdruck bestimmter Parameter zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dies trifft auch auf die Risiken und die Marktsituation im Bergbau und der Raffinadeproduktion zu. Die Beurteilung von Preis- und Lieferrisiken ist nicht statisch, sondern verändert sich mit der Zeit.

Die größten Versorgungsrisiken sehen wir bei Iridium und Scandium – aufgrund der sehr hohen Bedarfe, die alleine durch die Wasserelektrolyse auf diese Rohstoffmärkte zukommen könnten. Bereits heute weisen diese Rohstoffe hohe Versorgungsrisiken auf. Die Märkte von Scandium und Iridium sind sehr klein, die Jahresförderung liegt im zweistelligen bzw. einstelligen Tonnenbereich, das Angebot ist auf nur wenige Länder begrenzt und stark konzentriert, die Datenlage ist zudem sehr intransparent.

Iridium wird hauptsächlich in Südafrika und Russland als Beiprodukt von Platin und Palladium gewonnen. Eine deutliche Erhöhung der Iridiumproduktion ist

unwahrscheinlich. Die Preisexplosion bei Iridium ab Dezember 2020 ist Ausdruck einer Unsicherheit über die zukünftige Versorgungslage.

Die Scandiumproduktion fokussiert sich im Wesentlichen auf China. Aufgrund der vergleichsweise großen chinesischen Kapazitäten wird dies voraussichtlich auch zukünftig so bleiben. Allerdings gibt es mit dem Einstieg von RUSAL und Rio Tinto in die Scandium- bzw. Al-Sc-Legierungsproduktion jetzt größere Akteure im Markt, die möglicherweise zukünftig diese Abhängigkeit etwas reduzieren könnten.

Auch der Yttriummarkt ist hoch konzentriert. Vor allem die Weiterverarbeitung zu Yttriumoxid bzw. -metall wird von China dominiert. Für die Versorgungslage spielen insbesondere Unsicherheiten über Chinas Umwelt- und Handelspolitik eine große Rolle.



Relevanzanalyse

Welche monetäre und strategische Bedeutung haben die eingesetzten Rohstoffe?

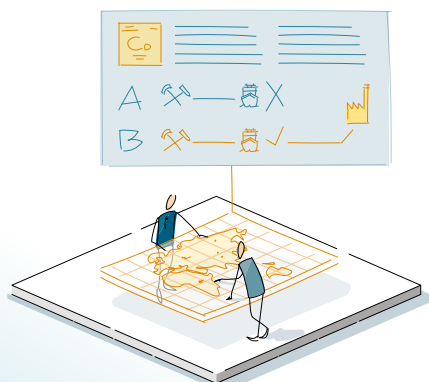


Screening von internationalen Wettbewerbsverzerrungen

Für welche der potenziell kritischen systemrelevanten Rohstoffe gibt es zusätzlich Handelsbeschränkungen?

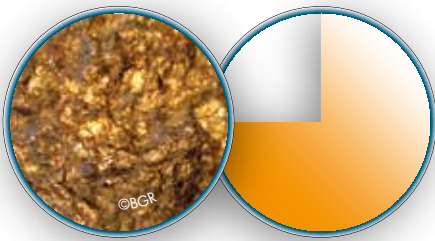
Detailanalyse

Welche weiteren Versorgungsrisiken bestehen für die potenziell kritischen systemrelevanten Rohstoffe?



○ Geringes Versorgungsrisiko

● Hohes Versorgungsrisiko

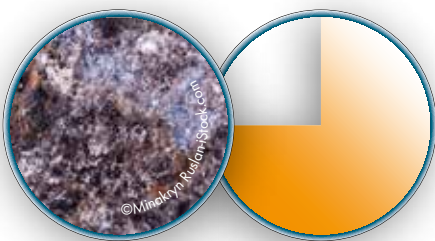
**Iridium:**

Hohes Versorgungsrisiko, sehr geringe Produktion

Als Beiprodukt abhängig von der Platin- und Palladiumförderung

Eine starke Erhöhung der Iridiumproduktion ist unwahrscheinlich, da dies eine deutliche Erhöhung der Platin- und Palladiumproduktion voraussetzt

Der globale Markt ist hoch konzentriert

**Scandium:**

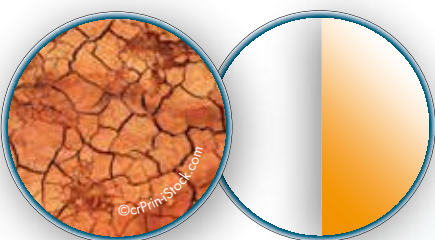
Opaker Markt

Intransparente Datenlage über die aktuellen Produzenten

Der globale Markt ist hoch konzentriert und dominiert durch China

Als Beiprodukt abhängig von der Titan-, Zirkonium- und Aluminiumförderung

Ausbau des Angebots durch geplante Projekte außerhalb Chinas möglich

**Yttrium:**

Chinesische Marktmacht

Hohe Angebotskonzentration beim Abbau und insbesondere bei der Weiterverarbeitung

China dominiert die Raffinadeproduktion

Änderungen der wirtschaftlichen Bedingungen, Umweltprobleme oder Genehmigungs- und Handelsbeschränkungen könnten die Verfügbarkeit von Yttrium beeinträchtigen

Literaturhinweise

BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (O. J.): Fachinformationssystem Rohstoffe. – Unveröffentlicht; Hannover [Stand: 27.10.2021].

BMWi (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. – URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20 [Stand: 27.10.2021].

CM GROUP (2021): Scandium: Properties, Alloys, and Current Activities. – TMS Webinar Series, Session 1, 13.07.2021 [Stand: 27.10.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. – URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf [Stand: 27.10.2021].

HOBSON P. (2021): Tight supply and hydrogen hopes drive iridium up 160 %. – Thomson Reuters, 12.02.2021. – URL: <https://www.reuters.com/article/us-precious-iridium-idUSKBN2AC1DG> [Stand: 27.10.2021].

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021): Global Hydrogen Review 2021: 222 S.; Paris. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021> [Stand: 27.10.2021].

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (2020): Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolyzers to Meet the 1.5°C Climate Goal: 103 S.; Abu Dhabi. – URL: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf [Stand: 27.10.2021].

JOHNSON MATTHEY (2021): PGM Market Report May 2021: 59 S.; London. – URL: <https://matthey.com/-/media/files/pgm-market-report/jm-pgm-market-report-may-2021.pdf> [Stand: 27.10.2021].

MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F.; LANGKAU, S.; BAUR, S.-J.; BILLAUD, M.; DEUBZER, O.; EBERLING, E.; ERDMANN, L.; HAENDEL, M.; KRAIL, M.; LOIBL, A.; MAISEL, F.; MARWEDE, M.; NEEF, C.; NEUWIRTH, M.; ROSTEK, L.; RÜCKSCHLOSS, J.; SHIRINZADEH, S.; STIJEPIC, D.; TERCERO ESPINOZA, L.; TIPPNER, M. (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. – DERA Rohstoffinformationen 50: 366 S.; Berlin.

NOW – NATIONALE ORGANISATION WASSERSTOFF-UND BRENNSTOFFZELLENTechnologie GmbH (2018): Studie IndWEDe, Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme. – 201 S.; Berlin. – URL: https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/09/indwede-studie_v04.1.pdf [Stand: 27.10.2021].

ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2021): Rare Earths 20th Ed: 479 S.; London.

Autorenschaft

Haben Sie Fragen zum Thema Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse oder wünschen Sie weitere Informationen? Unsere Expertinnen und Experten beantworten gerne Ihre Fragen. Kontaktieren Sie uns!



Rohstoffpreise

Dennis Bastian
dennis.bastian@bgr.de



Yttrium

Maren Liedtke
maren.liedtke@bgr.de



Iridium

Michael Schmidt
michael.schmidt@bgr.de



Scandium

Dr. Martin Schmitz
martin.schmitz@bgr.de



Technologien

Viktoriya Tremareva
viktoriya.tremareva@bgr.de

Impressum

Herausgeber: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) | Wilhelmstraße 25 - 30 | 13593 Berlin

Kontaktbüro: Tel.: +49 30 36993 226 | dera@bgr.de | www.deutsche-rohstoffagentur.de

Layout: Kay Lang

Bildnachweise: Titelbild: ©Olemedia - iStock.com

Mitarbeiterfotos: Mathias Sack

Zitierhinweis: DERA (2022): Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse. - DERA Themenheft: 26 S.; Berlin.

ISBN: 978-3-948532-56-7 (Druck)

ISBN: 978-3-948532-57-4 (PDF)

ISSN: 2193-5319


Update Februar 2022

Die Verbreitung der Inhalte durch Dritte ist unter Quellenangabe erlaubt. Belege bitte an die DERA unter dera@bgr.de senden.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist eine technisch-wissenschaftliche Oberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

The image features a teal background with a close-up of water bubbles and the rim of a glass on the right side. The bubbles are in various stages of formation and movement, creating a dynamic and fresh visual. The glass rim is sharp and clear, contrasting with the soft, out-of-focus bubbles.

Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Wilhelmstraße 25 - 30 | 13593 Berlin
dera@bgr.de | www.deutsche-rohstoffagentur.de