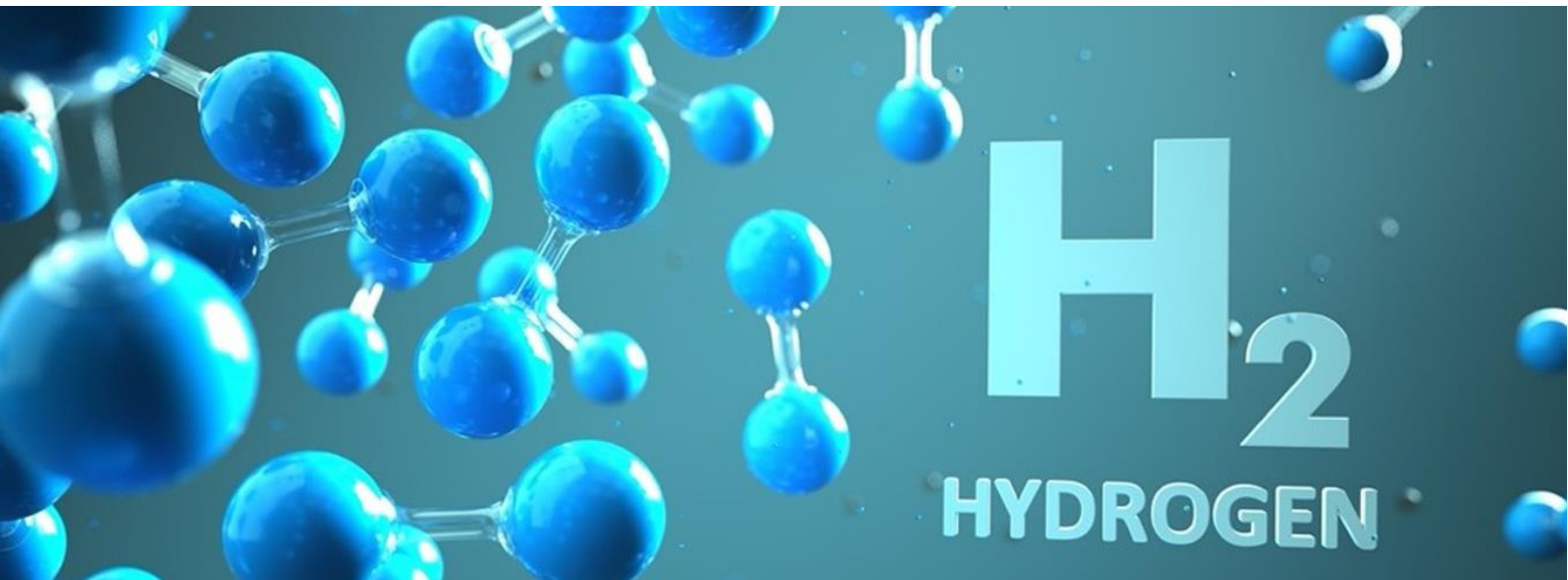


GRÜNER WASSERSTOFF MIT OFFSHORE-WINDENERGIE

HINTERGRUNDPAPIER ZU DEN HERSTELLUNGSMETHODEN VON WASSERSTOFF



Die Offshore-Windenergie leistet bereits jetzt einen bedeutenden, stetig wachsenden Anteil an der erneuerbaren Stromerzeugung. Der offshore erzeugte Strom soll zudem zukünftig einen bedeutenden Anteil an der Erzeugung von grünem Wasserstoff beitragen. Hierfür können etwa die sogenannten „Sonstigen Energiegewinnungsbereiche“ beitragen, welche im Wind-auf-See-Gesetz beschrieben und im aktuellen, darauf basierenden Flächenentwicklungsplan vorgesehen sind. Möglich ist sowohl die direkte Umwandlung des Stroms auf See in Wasserstoff oder erst die Ableitung an Land und danach die Umwandlung in Wasserstoff. Hier muss sich noch herauskristalisieren, welche Verfahren am effizientesten und volkswirtschaftlich am besten geeignet sind.

Im folgenden Hintergrundpapier werden die unterschiedlichen Herstellungsmethoden von Wasserstoff näher dargestellt und insbesondere auf die Elektrolyse eingegangen, für welche der Offshore-Windstrom genutzt werden kann. Das Hintergrundpapier wurde durch die Deutsche Windguard im Auftrag der Stiftung OFFSHORE-WINDENERGIE erstellt und ist Teil des vom Umweltministerium des Landes Niedersachsen geförderten Projektes „Grüner Wasserstoff mit Offshore-Windenergie.“

PROJEKT

Grüner Wasserstoff mit
Offshore-Windenergie

LAUFZEIT

12/2020 – 12/2022

GEFÖRDERT DURCH

Niedersächsisches Ministerium
für Umwelt, Energie, Bauen &
Klimaschutz

KONTAKT

Dr. Ursula Prall
(u.prall@offshore-stiftung.de)

www.offshore-stiftung.de

FARBENLEHRE DER WASSERSTOFF-HERSTELLUNG

Wasserstoff kann durch verschiedene Technologien produziert werden. Je nach Erzeugungstechnologie werden unterschiedliche Bezeichnungen für den Wasserstoff verwendet. Auch wenn die Bezeichnungen sich auf verschiedene Farben beziehen, ist Wasserstoff in jedem Fall ein farbloses Gas: Es geht bei den Farben ausschließlich um die Beschreibung des Ursprungs des Wasserstoffs.

GRÜNER WASSERSTOFF



Wasserstoff kann beispielsweise durch Elektrolyse von Wasser erzeugt werden (s.u.). Dabei werden Wassermoleküle (H_2O) in ihre beiden Bestandteile, also die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen entsteht kein CO_2 . Wird dieser Strom bei der Elektrolyse eingesetzt, ist der erzeugte Wasserstoff klimaneutral und wird als grüner Wasserstoff bezeichnet.

GRAUER WASSERSTOFF



Aktuell wird weltweit der größte Teil des Wasserstoffs durch die Dampfreformierung von fossilen Brennstoffen wie Kohle oder Erdgas gewonnen. Bei dieser Technologie wird üblicherweise Erdgas mit Wasserdampf unter Hitze in Wasserstoff und CO_2 umgewandelt. Pro Tonne Wasserstoff entstehen hierbei als Abfallprodukt zehn Tonnen CO_2 . Der so erzeugte Wasserstoff wird als grauer Wasserstoff bezeichnet.

BLAUER WASSERSTOFF



Wenn das bei der Produktion von grauem Wasserstoff mittels Erdgasdampfreformierung anfallende CO_2 abgetrennt und gespeichert statt in die Atmosphäre entlassen wird, spricht man von blauem Wasserstoff. Hierfür wird die sogenannte Carbon Capture and Storage Technologie (CCS) verwendet. Allerdings kann auch mit sehr effizienten CCS-Verfahren nur rund 90% des CO_2 abgetrennt werden. So entstehen bei der Produktion von blauem Wasserstoff Treibhausgasemissionen von einer Tonne CO_2 je Tonne Wasserstoff.

TÜRKISER WASSERSTOFF



Eine weitere Technologie zur Wasserstoffherzeugung ist die Methanpyrolyse. Hierbei wird Erdgas durch Wärmeeinsatz in Wasserstoff und festen Kohlenstoff aufgespalten. Wenn die erforderliche Wärmeversorgung für das Verfahren aus erneuerbaren Energiequellen erfolgt, ist auch dieses Verfahren bilanziell als CO_2 -neutral anzusehen.

ROTER WASSERSTOFF



Diese Art des Wasserstoffs wird mit Strom aus Kernkraftwerken erzeugt.

METHODEN ZUR GEWINNUNG VON WASSERSTOFF

Elektrolyse

Elektrolyse ist die Aufspaltung einer chemischen Verbindung unter Verwendung von elektrischem Strom. In der Wasserelektrolyse wird Wasser in die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt: Es wird also elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt.

Bei der Wasserelektrolyse sind die beiden Elektroden von Wasser umgeben, das durch die Zugabe von Säure oder Lauge besser leitfähig gemacht wird. Die eigentliche Elektrolyse besteht aus zwei Teilreaktionen. An der negativ geladenen Elektrode, der Kathode, entsteht durch Reduktion gasförmiger Wasserstoff. An der positiv geladenen Anode entsteht durch Oxidation Sauerstoff. Abbildung 1 veranschaulicht die ablaufende Reaktion.

Die Elektrolyse von Wasser erfordert Strom aus einer Gleichspannungsquelle. Des Weiteren ist, als Gegenstand der Aufspaltung, in der Regel demineralisiertes Wasser erforderlich.¹ Für die Elektrolyse auf See ist also eine Entsalzung des Seewassers notwendig. Ein mögliches Verfahren zur Entsalzung von Meerwasser ist die Umkehrosmose.

Für die Elektrolyse von Wasser kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz, wobei für die Erzeugung von Wasserstoff mit Strom aus fluktuierenden (schwankenden) erneuerbaren Energien besonders das PEMEL-Verfahren als vielversprechend gilt.

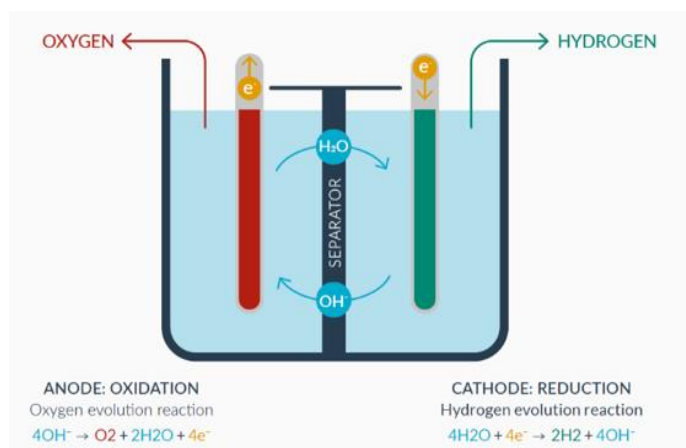


Abb. 1: Das Prinzip der Elektrolyse
 © Catapult (2020)

Alkalische Elektrolyse (AEL)

Die alkalische Elektrolyse (AEL) ist heute das am häufigsten eingesetzte Elektrolyseverfahren zur Gewinnung von Wasserstoff aus elektrischer Energie. Die AEL wird seit vielen Jahren großtechnisch angewendet und ist gut erprobt.

Der eigentliche Elektrolyseprozess findet in Zellen mit einer wässrigen Kalium-Hydroxid-Lösung statt. Die Zusammenschaltung mehrerer Zellen wird als Stack bezeichnet. Derzeit sind Stacks für elektrische Leistungen bis zu 10 MW verfügbar. Die AEL findet üblicherweise in Druckbereichen zwischen 1-30 bar und Temperaturen zwischen 40°C und 90°C statt.

AEL-Anlagen werden häufig für den Dauerbetrieb ausgelegt, wobei ein Teillastbetrieb ab etwa 15% möglich ist. Häufige Laständerungen sind für AEL-Anlagen allerdings problematisch, da sie zu geringeren Gasqualitäten des Wasserstoffs führen und die Lebensdauer der Elektrolysezellen reduzieren. Aus diesem Grund gelten AEL-

¹ Aktuelle Forschungsansätze beschäftigen sich auch mit der Gewinnung von Wasserstoff aus Meerwasser ohne vorherige Entsalzung.

Anlagen für den Direktbetrieb mit Strom aus schwankenden erneuerbaren Energieträgern wie der Windenergie als weniger geeignet.

Bezieht man den Heizwert des gewonnenen Wasserstoffs auf die eingesetzte elektrische Energie, so erreicht die AEL aktuell energetische Wirkungsgrade zwischen 60% und 70%. Bezogen auf den Brennwert des Wasserstoffs beträgt der Wirkungsgrad zwischen 72% und 82%. Darüber hinaus wird bei der Wasserelektrolyse thermische Energie frei, die beispielsweise für die Wärmeversorgung von Industrieanlagen oder Wohngebieten genutzt werden kann.

Im Vergleich der unterschiedlichen Wasserelektrolyse-Verfahren ist die AEL heute mit den niedrigsten Kosten verbunden. Die Lebensdauer der Stacks beträgt etwa 60.000 – 90.000 Betriebsstunden, bei entsprechendem zwischenzeitlichem Austausch der Stacks können die Anlagen Betriebszeiten von 20 bis 30 Jahren erreichen.

Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL)

Die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (auch Proton Exchange Membrane Elektrolyse, PEMEL) nutzt Zellen mit fester, saurer Protonenaustauschmembran zwischen Elektroden aus Edelmetallen. Die PEMEL steht erst am Anfang der Kommerzialisierung und befindet sich bisher kaum im großtechnischen Einsatz. Einzelne Module erreichen derzeit Leistungen bis zu 5 MW, die wiederum zu Anlagen mit größerer Gesamtleistung kombiniert werden können. Die Prozessparameter der PEMEL liegen bei Drücken zwischen 20 bar und 50 bar und in Temperaturbereichen von 20°C bis 100°C.

Ein Teillastbetrieb ist bereits ab 5% der Nennleistung möglich. Ein großer Vorteil der PEMEL-Technologie liegt in ihrer Unempfindlichkeit gegenüber Lastwechseln. Dies macht sie besonders geeignet für den Betrieb in Verbindung mit Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Energien. Darüber hinaus ist der Platzbedarf der PEMEL im Vergleich zu anderen Wasserelektrolyse-Technologien mit Abstand am geringsten, was insbesondere für den Einsatz auf See einen weiteren Vorteil darstellt.

Der auf den Heizwert bezogene energetische Wirkungsgrad der PEMEL liegt heute bei 60% - 64% und damit noch unter den erreichten Wirkungsgraden der AEL. Auf den Brennwert bezogen ergibt sich ein energetischer Wirkungsgrad von 71% - 75%. Auch bei der PEMEL bietet es sich bei geeigneten Standorten an, die entstehende Abwärme zum Beispiel in Wärmenetzen zu nutzen, um den Nutzungsgrad der elektrischen Energie zu erhöhen.

Die Kosten der PEMEL liegen heute noch etwas höher als bei der AEL, mittelfristig wird jedoch mit vergleichbaren Kosten gerechnet. Die Lebensdauer der Stacks ist mit aktuell 30.000 – 90.000 Betriebsstunden geringer als bei der AEL. Ein Austausch der Stacks ist möglich. Langfristig kann für die PEMEL von einer Erhöhung der Stack-Lebensdauer ausgegangen werden.

Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL)

Die Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL) wird häufig auch als SOEC für Solid Oxide Electrolyzer Cell bezeichnet. Für die Festoxid-Elektrolysezelle werden keramische Metalle verwendet. Die HTEL-Technologie befindet sich aktuell in der Forschungsphase mit realisierten Größen bis 720 kW.

Die HTEL findet bei Temperaturen zwischen 100°C und 1000°C statt. Um diese hohen Temperaturen zu erreichen, bietet sich ein Einsatz im industriellen Umfeld an, wo Dampf und Hochtemperaturwärme als Abwärme bereits vorhanden sind. Das Fehlen nennenswerter Abwärme schließt den Einsatz der HTEL auf See faktisch aus.

Mit der HTEL werden bereits heute mit 77% bis 84% die höchsten Wirkungsgrade erreicht, wenn man den Heizwert des Wasserstoffs auf die eingesetzte elektrische Energie bezieht. Bezogen auf den Brennwert entspricht dies 91% bis 99%. Diese Betrachtung zieht allerdings die eingesetzte Wärme nicht in die Bilanz ein.

Im Vergleich zur PEMEL ist die HTEL durch eine geringere Teillastflexibilität gekennzeichnet. Die Kosten der HTEL sind deutlich höher als bei den beiden fortgeschritteneren Technologien, mittelfristig könnte die HTEL jedoch die kostengünstigste Technologie werden, da sie aufgrund ihrer kompakten Bauart mit einem geringeren spezifischen Materialeinsatz auskommt und da sie höhere Stromdichten ermöglicht. Die Lebensdauer der HTEL-Zellen ist mit aktuell 10.000 bis 30.000 Betriebsstunden geringer als bei den beiden anderen Technologien. Für die Zukunft kann aber auch für diese Technologie mit deutlich steigenden Betriebsdauern gerechnet werden.

GRÜNER WASSERSTOFF MIT OFFSHORE-WINDENERGIE

PROJEKTZIELE

- Förderung des Wissens –und Erfahrungsaustausches zwischen unterschiedlichen Stakeholdern aus Politik, Wirtschaft und Forschung im Kontext von Offshore-Wind und grüner Wasserstoff, u.a. durch geeignete Dialogformate
- Unterstützung bei der Umsetzung der Ausbauziele für Offshore-Windenergie, u. a. durch Hintergrundanalysen und Positionspapiere, durch Markt- und Technikanalysen sowie die Beteiligung an Konsultationsverfahren
- Förderung der Ausbauperspektiven und des Markthochlaufs für Grünen Wasserstoff durch Offshore-Windenergie, u. a. durch ein Strategiepapier und eine Roadmap, mit der eine schrittweise Ausbaustrategie zur Errichtung von mindestens 5 GW Offshore-Wind-Wasserstoffkapazität in deutschen Gewässern dargestellt werden soll

Gefördert durch:



Beauftragt durch:



Erstellt durch:

