

# Basiswissen Wasserstoff: Die Handlungs- und Anwendungsfelder in der Metropolregion Nordwest

## Erzeugung

### Wie wird erzeugt?

<b>Grüner Wasserstoff</b> Auf Basis erneuerbarer Energien (Wind, Sonne etc.) via Elektrolyse erzeugter Wasserstoff
<b>Grauer Wasserstoff</b> Meist auf Basis von Erdgas (fossiler Brennstoff) durch Zuführung von Hitze via Dampfreformierung gewonnen. Dabei wird Kohlenstoffdioxid frei und in die Atmosphäre abgegeben
<b>Blauer Wasserstoff</b> „Blau“ nennt man den Wasserstoff, der traditionell wie der graue via Dampfreformierung mit Erdgas als Ausgangsstoff hergestellt wird. Dabei werden aller- dings 90% des entstehenden Kohlenstoffdioxids aufgefangen und gebunden oder anderweitig genutzt und nicht in die Atmosphäre abgegeben
<b>Oranger Wasserstoff</b> Auf Basis von Bioenergie (bspw. Biogas oder Bio- masse) hergestellter Wasserstoff
<b>Roter Wasserstoff</b> Auf Basis von Kernenergie hergestellter Wasserstoff
<b>Brauner Wasserstoff</b> Auf Basis von Braunkohle hergestellter Wasserstoff
<b>Schwarzer Wasserstoff</b> Auf Basis von Steinkohle hergestellter Wasserstoff
<b>Türkisfarbener Wasserstoff</b> Durch die thermische Spaltung von Methan er- zeugter Wasserstoff. Dabei entsteht fester Kohlen- stoff statt Kohlenstoffdioxid. Um klimaneutral zu sein, muss türkisfarbener Wasserstoff auf Basis erneuerbarer Energien (Wind, Sonne etc.) erzeugt und der entstehende Kohlenstoff dauerhaft ge- bunden werden

Die Metropolregion Nordwest setzt auf die flächendeckende Nutzung von grünem Wasserstoff entlang eines klaren CO<sub>2</sub>-Reduktionspfades auf Basis des nationalen Klimaschutzgesetzes als nicht verhandelbares Ziel bis 2045. Denn nur bei grünem Wasserstoff werden ausschließlich erneuerbare Energien zur Herstellung genutzt. Blauer und türkiser Wasserstoff werden als Übergangstechnologien zum Markthochlauf anerkannt.

Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse erzeugt. Dabei wird hochreines Wasser durch die Zufuhr erneuerbarer Energien in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten.

Die bewährteste Methode ist die Alkalische Elektrolyse (AEL), die seit ca. 100 Jahren eingesetzt wird und die längste Lebensdauer sowie einen hohen Wirkungsgrad aufweist.<sup>1</sup>

Ein weiteres Verfahren ist die Proton Exchange Membrane Elektrolyse (PEM), die einen ähnlichen Wirkungsgrad und eine vergleichbare Lebensdauer wie

die Alkalische Elektrolyse hat, bei der jedoch Edelmetalle eingesetzt werden müssen.<sup>2</sup>

Den höchsten Wirkungsgrad hat die Hochtemperaturelektrolyse (HTE), welche allerdings hohe Temperaturen von 600 bis 900°C benötigt. Aufgrund der damit zusammenhängenden kürzeren Lebensdauer der Anlagen, ist diese Technologie noch nicht marktreif.

	AEL	PEM	HTE	AEM
<b>Bewährt</b>	ja	ja	bedingt	nein
<b>Flexibel</b>	nein	ja	ja	ja
<b>Kosten</b>	hoch (aufgrund relativ geringer Produktionsraten)	relativ hoch (aufgrund der eingesetzten Edelmetalle)	relativ gering (sofern industrielle Wärmequelle angebunden ist)	gering
<b>Leistungsdichte</b>	niedrig	hoch	hoch	hoch
<b>Wirkungsgrad</b>	hoch	hoch	hoch	hoch
<b>Marktreif</b>	ja	ja	bedingt	nein

Eine relativ neue Methode ist die Elektrolyse mit anionenleitender Membran (AEM), die bisher noch einen sehr geringen Wirkungsgrad und eine sehr kurze Lebensdauer aufweist. Von Experten wird dieser Technologie jedoch ein

<sup>1</sup> Factsheet Erzeugung der AG 1 des H2.N.O.N.

<sup>2</sup> Factsheet Erzeugung der AG 1 des H2.N.O.N.

großes Potenzial zugesprochen, da sie eine hohe Wirtschaftlichkeit und Lebensdauer verspricht. Zudem werden weder Edelmetalle noch hochreines Wasser benötigt.<sup>3</sup> Damit wird perspektivisch der Einsatz von Meerwasser und somit eine erheblich vereinfachte Erzeugung möglich.

Darüber hinaus gibt es weitere Methoden, die sich jedoch noch im Entwicklungsstadium befinden: dazu zählen photoelektrochemische, photobiologische und thermochemische Verfahren zur Wasserstoffspaltung.

Derzeit werden noch weit über 90% der jährlich erzeugten Wasserstoffmenge in Deutschland aus fossilen Energieträgern via Kohle-Vergasung gewonnen und aus jeder Tonne grauem Wasserstoff emittieren rund 25 Tonnen CO<sub>2</sub>.<sup>4</sup> Und auch bei der Herstellung von blauem Wasserstoff via Dampfreformierung mit Erdgas als Ausgangsstoff fällt CO<sub>2</sub> an, das jedoch zu über 90% aufgefangen und im sog. CCS-Verfahren (Carbon Capture and Storage) in unterirdischen Öl- und Gasfeldern oder im Meer gespeichert wird. Genauso kann das CO<sub>2</sub> jedoch auch nach Abscheidung im sog. CCU-Verfahren (Carbon Capture and Use) nachhaltig in einen Kreislauf eingebunden und wiederverwertet werden.

Aktuell werden lediglich 0,7% Wasserstoff grün oder blau erzeugt, da der graue Wasserstoff erheblich günstiger produziert werden kann.<sup>5</sup> Außerdem stellt die Bundesregierung jedes Jahr mehr als 16 Milliarden Euro für die Subventionierung fossiler Brennstoffe bereit und trägt somit entscheidend zu dem signifikanten Preisgefälle bei.<sup>6</sup>

Dem blauen Wasserstoff fällt die Rolle der Durchdringung und Diversifikation des bereits bestehenden Wasserstoffmarktes zu. Er kann als Brückentechnologie dem grünen Wasserstoff den Weg bereiten und einen ökonomisch verträglichen Ausbau der benötigten Infrastruktur ermöglichen. Allerdings ist ausschließlich der grüne Wasserstoff klimaneutral, weswegen sich Entscheidungsträgerinnen und –träger der Auswirkungen aller anderen Erzeugungsmethoden stets bewusst sein sollten.

Neben den grünen und blauen Wasserstoff gibt es aber auch noch orange, rot, braun und schwarz erzeugten Wasserstoff basierend auf den Grundstoffe Bioenergie, Kernenergie, Braunkohle und Steinkohle<sup>7</sup> sowie türkisfarbener Wasserstoff, der durch die Aufspaltung von Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff erzeugt wird (Methanprolyse).

Der Nationale Wasserstoffrat geht allein für den Mobilitätssektor von einem Wasserstoffbedarf von rund 25 TWh bzw. rund 750.000 Tonnen<sup>8</sup> für das Jahr 2030 aus. Da sich allerdings die Reduktionsziele ab 2035 signifikant erhöhen, ist in kurzer Zeit mit einem drei- bis vierfach höheren Bedarf zu rechnen.<sup>9</sup> Insgesamt gibt es in Deutschland allerdings derzeit nur eine Elektrolysekapazität von 67 MW, wobei im

---

<sup>3</sup> Factsheet Erzeugung der AG 1 des H2.N.O.N.

<sup>4</sup> IKEM: Kurzstudie Wasserstoff-Farbenlehre

<sup>5</sup> ISL-Thesenpapier 2020

<sup>6</sup> IKEM: Kurzstudie Wasserstoff-Farbenlehre

<sup>7</sup> IKEM: Kurzstudie Wasserstoff-Farbenlehre

<sup>8</sup> 1 Tonne Wasserstoff liefert rund 33.330 kWh Energie

<sup>9</sup> Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021-2025 des Nationalen Wasserstoffrates

Jahr 2020 die Planungen für Elektrolyseanlagen zum ersten Mal die Gigawatt-Grenze überschritten haben.<sup>10</sup> Die nationale Kapazität wird sich - sobald die unter anderem in der Metropolregion Nordwest geplanten Anlagen in Betrieb genommen werden - in den nächsten Jahren auf ein Vielfaches erhöhen.

Wasserstoff kann sowohl zentral als auch dezentral erzeugt werden. Zentrale Erzeugungsanlagen sollten an Netzknotenpunkte angeschlossen sein, um die Versorgung mit großen Mengen erneuerbarer Energien sicherzustellen. Zudem sollten sie in räumlicher Nähe zu großvolumigen Speichern, Verteilinfrastrukturen und großindustriellen Verbraucherinnen und Verbrauchern aufgebaut werden.

Bei dezentrale Erzeugungsanlagen handelt es sich um kleinere Erzeugungseinheiten, welche bspw. aus benachbarten Windenergie- oder Biogasanlagen gespeist werden können. Sie stellen Wasserstoff direkt am Ort des Verbrauchs her und bieten sich zur Versorgung von kleineren industriellen Verbrauchern sowie von Wasserstofftankstellen, aber auch zur perspektivischen Deckung des Wärme- und Strombedarfs von Gewerbe- und Industriebetrieben sowie privater Haushalten an.

Beispielhafte Projekte zur Erzeugung von Wasserstoff finden Sie auf [www.wasserstoff-region.de/h2-projekte](http://www.wasserstoff-region.de/h2-projekte).

### Welche Voraussetzungen sind nötig?

Die wesentlichen Voraussetzungen zur Erzeugung von grünem Wasserstoff sind neben den benötigten Elektrolyseanlagen vor allem erneuerbare Energien, die vom Ort ihrer Erzeugung (bspw. Windkraftanlagen) zu den Anlagen zur Wasserstoffherzeugung transportiert werden müssen. Dafür sind Übertragungsnetze sowie verdichtete Netzanschlüsse über alle Spannungsebenen hinweg nötig.

Die Erzeugung von grünem Wasserstoff und dessen Derivate sind immer aus Sicht der Anwenderinnen und Anwender zu denken und die Erzeugungsanlagen auch entsprechend in deren räumlicher Nähe zu verorten. Aufgrund der noch nicht konkurrenzfähigen Kosten der Wasserstoffanwendungen müssen die Anwendungsfälle vor Ort individuell geplant und umgesetzt werden. Denn die Anforderungen an die Wasserstofftechnologie sind durchaus unterschiedlich: während bspw. in küstennahen Regionen die maritime Wirtschaft eine große Rolle spielt, nimmt in anderen Regionen die Agrarwirtschaft oder auch die Logistik einen hohen wirtschaftlichen Stellenwert ein.

### Was sind die Herausforderungen?

Mit grünem Wasserstoff lässt sich Energie klimaneutral speichern und transportieren, wodurch dieser ein großes Potenzial für die Sektoren Energie, Energiespeicherung, Wärme und Verkehr aufweist. Wasserstoff ist somit ein Energieträger und keine

---

<sup>10</sup> BWK BD. 72 (2020) Nr. 12

Energiequelle, da zur Herstellung zunächst bei allen Herstellungsarten Primärenergie aufgewendet werden muss. Eine umweltfreundliche Energieerzeugung mittels Wasserstoff findet erst dann statt, wenn Wasserstoff mit regenerativen Energie erzeugt wird. In erster Linie steht die aufzubauende Wasserstoffwirtschaft deshalb der Herausforderung einer nicht ausreichenden Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien gegenüber.

2019 wurden in Deutschland 240 TWh Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen, was in etwa einem Anteil von 46% an der Nettostromerzeugung entspricht.<sup>11</sup> Ein Elektrolyseur hat einen Wirkungsgrad von 70%, was bedeutet, dass bei dem in der nationalen Wasserstoffstrategie angenommenen Bedarf an grünem Wasserstoff von 700 TWh im Jahr 2050 1.000 TWh Strom aus erneuerbaren Energien benötigt würden, um den Bedarf zu decken (also die vierfache Menge im Vergleich zu heute).<sup>12</sup> Die Erzeugungskapazitäten für Wind- und auch für Solarenergie als Voraussetzung für die Herstellung von grünem Wasserstoff müssen demnach massiv ausgebaut werden. Herausforderungen sind dabei vielerorts das Planungsrecht sowie regulatorische Vorgaben, aber auch Initiativen von Bürgerinnen und Bürgern. Bspw. hatte die Bundesnetzagentur im Jahr 2020 eine Leistung von 366 MW für Windkraftprojekte ausgeschrieben. Seit Jahren war die Ausschreibung erstmalig wieder überzeichnet, es sind also mehr Angebote eingegangen als Leistung ausgeschrieben war. Nichtsdestotrotz wird allein durch die Deckelung durch die Ausschreibungsgrenzen für erneuerbare Energien durch die Bundesnetzagentur der Ausbau von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien gebremst.<sup>13</sup>

Zur effizienten Erzeugung mittels Elektrolyse bedarf es zudem einer gleichbleibenden Zufuhr von Energie. Bei einem direkten Anschluss bspw. an eine volatile Windenergieanlage ist diese konstante Energiezufuhr nicht gewährleistet, so dass Elektrolyseure meist zusätzlich an das Stromnetz angeschlossen werden müssen und damit auch auf fossile Energien basierenden Strom nutzen.

Außerdem ist die Erzeugung von einem Kilogramm grünem Wasserstoff aus Wind- oder Sonnenstrom vier- bis fünfmal teurer als der sogenannte graue Wasserstoff. Damit ist die Herstellung nicht wettbewerbsfähig.<sup>14</sup> Schätzungen zufolge betragen die Kosten für ein Kilogramm Wasserstoff auf fossiler Basis etwa 1,50 Euro, für blauen Wasserstoff erhöhen sich diese Kosten bereits auf 2,00 Euro pro Kilogramm und für grünen Wasserstoff liegen sie zwischen 2,50 und 5,50 Euro.<sup>15</sup> Das liegt zum einen an den hohen Investitionskosten für Erzeugungsanlagen, die sich aus den Elektrolyseuren an sich und weiteren Komponenten wie bspw. Tanks, Verdichter, Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen etc. zusammensetzen. Die Kosten hängen in erster Linie von der Leistung der Anlage ab und betragen zwischen 800 -1.800 Euro pro kW. Unabhängig von der Art der Anlage ist mit einer Lieferzeit (inklusive Montage

---

<sup>11</sup> ISL-Faktenpapier 2020

<sup>12</sup> ISL-Faktenpapier 2020

<sup>13</sup> <https://www.energie-und-management.de/nachrichten/strom/detail/letzte-windausschreibung-2020-erstmalig-wieder-ueberzeichnet-140555>; abgerufen 05.08.2021

<sup>14</sup> [https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/energiewende-der-zu-schoene-traum-vom-gruenen-wasserstoff-a-9c3a8b5e-6833-46b7-8e8b-e36afc48df97?sara\\_ecid=soci\\_upd\\_wbMbjhOSvVilSjc8RPU89NcCvtlFcJ#ref=rss](https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/energiewende-der-zu-schoene-traum-vom-gruenen-wasserstoff-a-9c3a8b5e-6833-46b7-8e8b-e36afc48df97?sara_ecid=soci_upd_wbMbjhOSvVilSjc8RPU89NcCvtlFcJ#ref=rss); abgerufen 05.08.2021

<sup>15</sup> IKEM: Kurzstudie Wasserstoff-Farbenlehre

und Inbetriebnahme) von 12 bis 18 Monate zu rechnen. Neben den zu tätigen Investitionen (CAPEX) müssen auch Betriebskosten (OPEX) einkalkuliert werden.<sup>16</sup>

Die maßgeblichen Betriebskosten sind die Stromverbrauchskosten. Denn Elektrolyseure gelten als Endverbraucher, wodurch grundsätzlich alle Stromnebenkosten anfallen.<sup>17</sup> Ist der Elektrolyseur vor dem Netzanschlusspunkt einer Windkraft- oder Photovoltaikanlage angeschlossen, fallen Steuern und Umlagen weg. Ist er danach angeschlossen, fallen die Stromnebenkosten vollumfänglich an und machen laut einer Studie von PwC 60 bis 70% der Gesteungskosten von grünem Wasserstoff aus.<sup>18</sup> Daneben kommen Instandhaltungskosten und vor allem Genehmigungskosten zum Tragen. Diese betragen bspw. 5% der Errichtungskosten, mindestens jedoch 174,00 Euro bei Anlagen bis zu 1 Million Euro. Bei einer Anlage, die 5 Millionen Euro kostet, fallen 21 000,00 Euro zuzüglich 1% der 5 Millionen Euro übersteigenden Errichtungskosten an.<sup>19</sup>

Beim Neubau neuer Infrastrukturen ist das Planungsrecht stets mitzudenken und ggf. auf eine entsprechende Anpassung hinzuwirken. Darüber hinaus gilt es für den Betrieb von Anlagen zur Erzeugung, Speicherung und der Verteilung ein standardisiertes Risikomanagement aufzubauen.

### Wer sind die Akteure?

Um die Erzeugungskapazitäten von grünem Wasserstoff zügig zu erhöhen müssen die großen Energieversorger mit Projektierern und Betreibern von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien sowie mit den Netzbetreibern eng zusammenarbeiten. Die Planungsämter und Genehmigungsbehörden spielen eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung, um den effizienten Aufbau der Erzeugungsanlagen sicherzustellen.

Aber auch Landwirte oder regionale Energiekooperativen, die Windkraft- oder Biogasanlagen besitzen, könnten insbesondere bei einer dezentralen Erzeugung langfristig eine Rolle für die Versorgung in der Landtechnik, des ÖPNV oder in der Logistik spielen.

---

<sup>16</sup> Integriertes Gesamtkonzept Fischereihafen Bremerhaven

<sup>17</sup> Der deutsche Strompreis setzt sich derzeit auch folgenden Komponenten zusammen: Erzeugung und Vertrieb, Netzentgelte, §19 Umlage, Stromsteuer, Konzessionsabgabe, KWK-Aufschlag, EEG-Umlage, Offshore-Netzumlage, Umlage für abschaltbare Lasten.

<sup>18</sup> Bericht Handelsblatt „Riesiger Bedarf an Wasserstoff vom 22.04.2021

<sup>19</sup> 16. Verordnung zur Änderung der Gesundheits-Kostenverordnung (604.02 Betriebssicherheitsverordnung für überwachungsbedürftige Anlagen)