

## Schöne neue Klimawelt - Wie der grüne Wasserstoffhochlauf gelingen kann

### - Kurzfassung -

Für die angestrebte Energiewende ist Wasserstoff ein zentraler Bestandteil. Es gilt, mit überschüssigem Solar- und Windstrom grünen Wasserstoff zu erzeugen und saisonal zu speichern. Der stolpernde Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft wird allenthalben beklagt.<sup>1)</sup> In der vorliegenden Studie werden Wege für einen Einstieg in die grüne Wasserstoffwirtschaft aufgezeigt.

Für die Erzeugung von grünem Wasserstoff ist die Nutzung von regenerativem Strom erforderlich. Die Verfügbarkeit von Wind- und solarem Strom ist aber stark schwankend. Deshalb können Elektrolyseure zur Erzeugung von grünem Wasserstoff nicht in Dauereinsatz betrieben werden, sondern nur in getakteten Betrieb entsprechend der Verfügbarkeit von regenerativ erzeugtem Strom. Daraus ergibt sich ein enger Zusammenhang zwischen der Verfügbarkeit von grünem Strom im Netz und den nutzbaren Betriebsstunden für die Elektrolyse. Setzt man den Anteil von EE-Strom im Netz hoch an (wie z.B. mit 90 % in der 37. BImSchV), kommen die Elektrolyseure nur auf sehr geringe Betriebsstunden, was einen wirtschaftlichen Betrieb außerhalb des Sektors Verkehr regelrecht ausschließt.

Bisherige Studien haben den angesprochenen Zusammenhang zwischen EE-Stromanteil im Netz und Betriebsstunden für die Elektrolyse von grünem Wasserstoff thematisiert, aber dabei mit pauschalen Annahmen gearbeitet.<sup>2)</sup> In der hier vorliegenden Studie wird nun auf konkrete und aktuelle Daten zurückgegriffen, um diesen Zusammenhang zu konkretisieren. Zugrunde liegt ein Rechenmodell, das für die beiden Halbjahre II/2023 und I/2024 auf Stundenbasis die Grünstromanteile und die jeweiligen Börsenstrompreise (Day-Ahead-Auktion) auswertet.<sup>3)</sup> Durch die gewählte Jahresperiode Juli 2023 bis Juni 2024 sind die Daten sowohl hochaktuell als auch ausreichend weit von den Auswirkungen des durch den Ukrainekrieg ausgelösten Preisschocks entfernt.

Beim derzeitigen Stand der Nutzung regenerativer Energien für die Stromerzeugung liegt auf Jahresbasis der Anteil erneuerbarer Energien bei ca. 60 %. Auf Stundenbasis ergibt sich aus dem zugrunde liegendem Rechenmodell folgender Zusammenhang zwischen dem EE-Stromanteil im Netz, den Jahresstunden, in denen ein solcher Grünstromanteil im Netz vorhanden ist, und den jeweiligen Day-Ahead-Durchschnittspreisen an der Strombörse:

<b>Stündlicher Anteil EE-Strom</b>	50 %	60 %	70 %	80 %
<b>Stunden p.a.</b>	5.251	4.051	2.907	1.854
<b>Strompreis Day-Ahead €/MWh</b>	€ 59,04	€ 50,71	€ 38,86	26,37

Aus diesem Zusammenhang leitet sich die Frage ab, bei welchem Prozentanteil regenerativer Energie und den damit verbundenen möglichen Betriebsstunden die Elektrolyse für grünen Wasserstoff wirtschaftlich betrieben werden kann. Dabei wird davon ausgegangen, dass für den Sektor Industrie bei einem Preis von € 0,12/kwh H<sub>2</sub> (bzw. € 4.-/kg H<sub>2</sub>) für den schrittweisen Einstieg in die grüne Wasserstoffwirtschaft eine ausreichende Nachfrage in Konkurrenz zu grauem Wasserstoff besteht.<sup>4)</sup>

Geht man für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von der Voraussetzung eines durchaus realistischen Anlagepreises für die Elektrolyseanlage von € 750.-/kwh H<sub>2</sub>/h aus, errechnen sich für unterschiedliche Grünstromanteile folgende Eckdaten für die Wirtschaftlichkeit:

<b>Kosten Elektrolyseur € 750.-/kwh H2/h</b>			
<b>Preis H2 0,12 € kwh</b>			
<b>Anteil Grünstrom im Netz je Std.</b>	<b>60%</b>	<b>70%</b>	<b>80%</b>
Betriebsstunden p.a.	4.051	2.907	1.854
Strompreis € je MWh	€ 50,71	€ 38,86	26,37 €
Amortisation in Jahren	13,4	9,8	10,6
<b>Rendite in %</b>	<b>0,8%</b>	<b>3,6%</b>	<b>2,8%</b>

Die Wirtschaftlichkeit ist positiv, wenn auch nur knapp. Das Optimum der Wirtschaftlichkeit liegt bei 70 % stündlichem grünem Stromanteil im Netz. Bei Anlagenkosten der Elektrolyseanlage ab € 1.000.-/kwh H2/h wird die Rendite negativ. Preise von oder unter € 1.000.-/kwh H2/h erreichen derzeit nur Anlagen mit alkalischer Elektrolyse (AEL). Der Einsatz der alkalischen Elektrolyse für den Wasserstoff-Hochlauf ist möglich, hat aber den Nachteil, dass die AEL für getaktetem Betrieb entsprechend der Verfügbarkeit von grünem Strom nicht ideal geeignet ist. Die PEM-Elektrolyse ist hier technisch deutlich besser geeignet, hat aber den Nachteil des hohen Bedarfs seltener Metalle (Platin, Iridium, Titan u.a.). Es ist deshalb nicht zu erwarten, dass die PEM-Elektrolyse wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Alle Hoffnungen ruhen deshalb derzeit auf der AEM-Elektrolyse, auf deren Basis erste industrielle Anlagen im MW-Bereich in Containerbauweise verfügbar sind. Hier müssten die Preise zum gegenwärtigen Stand aber noch um 1/3 oder mehr sinken, um in den Sektoren Industrie und Energie wirtschaftlich eingesetzt werden zu können.

Die Frage ist, welche regulatorische Definition für "grünen" Wasserstoff für den Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft in den Sektoren Industrie und Energie angemessen ist. Die Ergebnisse der Studie legen nahe, die Hürde für die Erzeugung von grünem Wasserstoff nicht höher als 70 % EE-Stromanteil zu setzen. Mit diesem Wert ist eine gute Balance zwischen ökonomischer Wirtschaftlichkeit und ökologischer Wirksamkeit bezogen auf das Ziel Klimaschutz gefunden. Der in § 4 Abs. (3), Nr 2. des Entwurfs für das Wasserstoffbeschleunigungsgesetz genannte Wert von 80 % Grünstromanteil scheint unter Berücksichtigung der mit der Wasserstoffelektrolyse verbundenen Risiken als zu hoch, um den Weg in den Wasserstoff-Hochlauf zu ebnet. Die 70 % EE-Stromanteil lassen sich in Zukunft hinsichtlich des zunehmenden Ausbaus regenerativer Energien im Stromnetz gleitend anpassen. Hierzu werden in der Studie konkrete Vorschläge gemacht.

Die in der 37. BImSchV niedergelegten Regelungen für "grünen" Wasserstoff betreffenden den Sektor Verkehr und sind hierfür durchaus passend und geeignet. Eine Übertragung auf die Sektoren Industrie und Energie wäre nach den Ergebnissen dieser Studie ungeeignet und für den Wasserstoff-Hochlauf kontraproduktiv.

1) Vgl. z.B. BCG White Paper: Turning the European Green Hydrogen Dreams into Reality: A Call to Action, October 2023, unter: <https://media-publications.bcg.com/Turning-the-European-Green-H2-Dream-into-Reality.pdf>

2) Vgl. hierzu z.B.: IfO-Institut: Grüner Wasserstoff: Wie steht es um die Wirtschaftlichkeit und welche Nachfrage lässt sich erwarten?, 2023, Abb. 1, unter: <https://www.ifo.de/publikationen/2023/aufsatz-zeitschrift/gruener-wasserstoff-wirtschaftlichkeit>; Norddeutsches Reallabor: Grüner Wasserstoff für die Energiewende, Teil 5: Erzeugung von grünem Wasserstoff, Juni 2024, S. 23, unter: <https://norddeutsches-reallabor.de/download/potentiale-grenzen-und-prioritaeten-gruener-wasserstoff-fuer-die-energiewende-teil-5-erzeugung-von-gruenem-wasserstoff-2024-06/>

3) Eigene Berechnungen auf der Basis der Stundenwerte im bundesdeutschen Stromnetz der Fraunhofer Energy Charts, unter: [https://www.energy-charts.info/charts/price\\_spot\\_market/chart.htm?l=de&c=DE](https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?l=de&c=DE)

4) Fraunhofer/ESA: Preiselastische Wasserstoffnachfrage in Deutschland – Methodik und Ergebnisse, Hypat Working Paper 01/2023, S. 20, unter: [https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT\\_Working-Paper-01\\_2023\\_Preiselastische-Nachfrage.pdf](https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT_Working-Paper-01_2023_Preiselastische-Nachfrage.pdf), sowie BCG White Paper: Turning the European Green Hydrogen Dreams into Reality, siehe Anm. 1)