

## Stellungnahme zur Leitfrage:

»Das Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT arbeitet gemeinsam mit der Stahlindustrie an einer Methode, um CO<sub>2</sub> aus der Stahlproduktion als Rohstoff für die chemische Industrie zu gewinnen. Wie wichtig ist für Sie die Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft in der nationalen Klimadebatte und welche Bedeutung messen Sie dem Wasserstoff bei der Erreichung der nationalen Klimaziele bei? Welche Rahmenbedingungen müsste die Politik hier setzen und gehen die entsprechenden Beschlüsse im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 in die richtige Richtung? «

Prof. Dr.-Ing. Göрге Deerberg (goerge.deerberg@umsicht.fraunhofer.de)

Stellvertretender Institutsleiter, Bereichsleiter Prozesse, Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen

Lehrstuhl Umweltwissenschaften, Fakultät Kultur- und Sozialwissenschaften, FernUniversität in Hagen

### 1. Einführung

17 Partner aus Industrie und Wissenschaft entwickeln im Rahmen des vom BMBF geförderten Projektes Carbon2Chem® Technologien und Systemlösungen, mit denen Hüttengase, die prozessbedingt unvermeidbar bei der Stahlerzeugung anfallen, in Chemikalien, Kraftstoffe und Düngemittel umgewandelt werden können. Durch die chemische Nutzung der kohlenstoffhaltigen Hüttengase gelingt die Substitution fossiler Rohstoffe wie Erdöl oder Erdgas in der Chemie. Der entstehende cross-industrielle Carbon2Chem®-Produktionsverbund aus Stahl- und Chemieindustrie kann CO<sub>2</sub>-Emissionen in relevanter Größenordnung vermeiden (Potenzial in der Stahlindustrie in Deutschland: ca. 20 Mio. t<sub>CO2</sub>/Jahr). Weltweit sind allein mehr als 50 Standorte für World-Scale-Produktion identifiziert, in denen das Konzept eins zu eins umsetzbar ist, indem die deutsche Technologie dort eingesetzt wird. Sehr viel mehr Standorte zur Stahl-, Zement- und Klinkerherstellung sind grundsätzlich ebenso geeignet wie Müllverbrennungs- oder Biogasanlagen.

**Im Rahmen der ersten Phase (2016-2020) von Carbon2Chem® wurden die grundlegenden Fragestellungen bearbeitet und festgestellt, dass der Einsatz vorhandener Technologien zur Realisierung des Konzeptes möglich und sinnvoll ist, so dass große Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichbar sind.** Die Umsetzung der Technologien erscheint ab 2022 bis 2025 in großem Umfang möglich. Voraussetzung ist die ausreichende Verfügbarkeit erneuerbarer Energie, denn zur Aktivierung des Kohlenstoffs aus der Hütte (im Wesentlichen Kohlenmonoxid, CO, und Kohlendioxid, CO<sub>2</sub>) ist Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen erforderlich.

### 2. Wie wichtig ist für Sie die Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft in der nationalen Klimadebatte

Eine Wirtschaft ohne Kohlenstoff (Dekarbonisierung) ist nicht realisierbar, denn kohlenstoffbasierte Produkte sind in allen Bereichen des Lebens und Wirtschaftens unverzichtbar. Insbesondere ist eine chemische Industrie ohne Kohlenstoff nicht möglich. Was jedoch gelingen muss, ist eine Defossilisierung. D. h. Kohlenstoff, der neu aus fossilen Quellen (Kohle, Erdöl, Erdgas) gewonnen werden muss, muss vermieden werden, denn bei den meisten Anwendungen gelangt dieser Kohlenstoff bei der Nutzung (Energiebereitstellung durch Verbrennen) oder nach der Nutzung (Müllverbrennung) als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre. Gleichzeitig existieren Anwendungen, bei denen unvermeidbar CO<sub>2</sub> anfällt und emittiert

wird. Zum Teil, weil alternative kohlenstofffreie Technologien nicht bereitstehen (z. B. Stahlerzeugung), oder weil CO<sub>2</sub> zwangsläufig als Nebenprodukt bei der Herstellung entsteht (z. B. Zementproduktion).

In beiden Bereichen findet seit Jahren bzw. Jahrzehnten eine gravierende Effizienz- und Ressourceneffizienzsteigerung statt, auf die die bereits erreichten Emissionsminderungen zurückgehen. Allerdings sind in sehr vielen Prozessen nach den intensiven Optimierungsmaßnahmen die thermodynamischen Grenzen erreicht, so dass weitere Einsparpotenziale nicht zu erwarten sind oder auf Produktionsrückgang beruhen müssten.

CCU-Technologien wie der Carbon2Chem<sup>®</sup>-Ansatz dienen dazu, diese Prozessketten zu verknüpfen, um den Kohlenstoffbedarf der chemischen und petrochemischen Industrie durch Recycling aus unvermeidbaren CO<sub>2</sub>-Quellen zu decken. Damit sind auch dauerhaft verfügbare Kohlenstoffquellen für die chemische Produktion gesichert. Die erforderlichen Technologien stehen größtenteils bereit und müssen lediglich auf die neuen Einsatzgebiete angepasst werden.

Derzeit werden in Deutschland aus fossilen Quellen pro Jahr ca. 57 Mio. t Kohlenstoff chemisch genutzt (ca. 13 Mio. t für Chemieprodukte und ca. 44 Mio. t für Kraftstoffe). Der Bedarf an Chemieprodukten wird tendenziell eher ansteigen. Der Bedarf an fossilen Treibstoffen wird dagegen eher sinken, voraussichtlich jedoch nicht gänzlich verschwinden, denn in Schiffs-, Schwerlast- und insbesondere Flugverkehr kann auch mittel- bis langfristig nicht auf Kohlenwasserstoffe als Kraftstoff vollständig verzichtet werden.

Gleichzeitig setzt die Industrie in Deutschland in sogenannten Punktquellen jährlich unvermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von ca. 26 Mio. t Kohlenstoff frei (Stahl 16 Mio. t Kohlenstoff, Zement 6 Mio. t Kohlenstoff, Müllverbrennung 4 Mio. t Kohlenstoff).

Die Nutzung der Synergien durch Kreislaufschließung zwischen Kohlenstoff- Verbrauchern und Emittenten bildet ein Gesamtpotenzial zur Vermeidung von ca. 95 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr (entsprechend 26 Mio. t Kohlenstoff). Wenn man bedenkt, dass bei der Bereitstellung von fossilen Rohstoffen durch Verluste, Förderung, Prozessierung und Transport weitere erhebliche THG-Emissionen erfolgen, ist das indirekte Einsparpotenzial entsprechend hoch (z. B. bei Erdgas mehr als + 50 % bezogen auf die direkten Emissionen bei Erdgas-Verbrennung).

**Eine Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft auch auf Basis von CCU-Technologien ist ein wesentlicher Baustein zur gleichzeitigen Senkung der THG-Emissionen in Deutschland und zur Erhaltung der Wirtschaftskraft. Die Technologien stehen zur Verfügung. Dabei sind große Chancen auch für den Technologietransfer und -export auf die internationalen Technologiemarkte zu erwarten. Hinderlich sind derzeit die Marktsituation, denn die fossilen Produkte sind heute kostengünstiger und risikoärmer zu produzieren, und die Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub>-freiem Wasserstoff.**

### **3. Welche Bedeutung messen Sie dem Wasserstoff bei der Erreichung der nationalen Klimaziele bei?**

**Wasserstoff stellt gerade in der rohstoffintensiven Grundstoffindustrie als Rohstoff einen Schlüssel zur Emissionsminderung dar**, denn mit ihm muss insbesondere in Chemie- und Stahlindustrie zukünftig ein großer Teil des erforderlichen Reduktionspotenzials gedeckt werden, da der direkte Einsatz von Strom (noch) nicht möglich und in einigen Bereichen auch nicht absehbar ist. Ohne Wasserstoff wird dies in vielen Bereichen nicht gelingen. Dabei ist es absolut essenziell, dass der Wasserstoff CO<sub>2</sub>-frei hergestellt wird, da ansonsten THG-Emissionssteigerungen die Folge wären.

Die enormen Reduktionsäquivalente zur Eisenerzverhüttung, um Roheisen zu gewinnen, können heute nur auf Kohlebasis bereitgestellt werden. Carbon2Chem® nutzt Wasserstoff, um das freigesetzte CO<sub>2</sub> für die chemische Produktion zu aktivieren. In der Entwicklung befinden sich auch Prozesse, in denen Wasserstoff direkt in der Stahlerzeugung Kohlenstoff ersetzt. Auch in diesen perspektivischen Prozessen wird Wasserstoff in großen Mengen benötigt. Nach heutiger Schätzung würde ein World-Scale-Stahlwerk Wasserstoff in Größenordnungen von ca. 7 – 10 Mrd. Nm<sup>3</sup> pro Jahr verbrauchen<sup>1</sup>. Dies entspricht einer Wasser-Elektrolyse mit einem Strombedarf in der Größenordnung von ca. 32-45 TWh (Stahlindustrie gesamt: 26 – 37 Mrd. Nm<sup>3</sup>, Strombedarf für Elektrolyse 117-167 TWh).

In der chemischen Industrie wird ein ähnlicher Wasserstoffbedarf gesehen, denn die Substitution fossiler Rohstoffe muss durch chemische Aktivierung mit Wasserstoff erfolgen. E-Chemicals oder E-Fuels basieren in der Regel auf Kohlenstoff aus CO<sub>2</sub>, Abfällen, Biomasse etc. und Wasserstoff. Der Wasserstoffbedarf der Chemie kann bei weitgehender Substitution der fossilen Rohstoffe bei 60 Mrd. Nm<sup>3</sup> liegen (Strombedarf für Elektrolyse in Größenordnung von ca. 270 TWh).

**Wasserstoff kann in vielen Anwendungen fossiles Erdgas ersetzen und in vorhandener Infrastruktur genutzt werden. Dadurch kann Wasserstoff auch zur Defossilisierung in der Mobilität und bei der Wärmebereitstellung beitragen. Durch ihn kann die Kopplung der Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie und Wärme erfolgen. Der Gesamtbedarf wird derzeit in Größenordnung 200 Mrd. Nm<sup>3</sup> entsprechend 900 TWh Strombedarf für Elektrolyse.**

Die Wasserelektrolyse ist technologisch weit entwickelt. Der erforderliche dynamische Betrieb wird derzeit auch im großem Maßstab mit absehbarem Erfolg geprüft. Herausfordernd wird die Massenproduktion großer Elektrolyseureinheiten im großen Maßstab, denn heute werden im Wesentlichen Unikate hergestellt. Die weltweit erforderlichen Elektrolysekapazitäten erfordern zudem den Einsatz seltener Metalle (z.B. Iridium) in großem Umfang, was zu Ressourcenproblemen führen kann.

#### **4. Welche Rahmenbedingungen müsste die Politik hier setzen und gehen die entsprechenden Beschlüsse im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 in die richtige Richtung?**

**Die Versorgung mit erneuerbarer Energie (EE) ist eine Grundvoraussetzung für das Erreichen der Klimaziele.** Nach aktuellen Schätzungen reicht eine nationale EE-Stromerzeugung nicht aus. Der aktuelle jährliche Primärenergiebedarf Deutschlands beträgt ca. 3600 TWh, der überwiegende Teil davon wird als fossiler Rohstoff (Kohle, Erdöl, Erdgas) importiert und zur Nutzung als Kraftstoff, zur Wärmebereitstellung, zur Verstromung oder als Rohstoff benutzt. Die Erzeugung erneuerbaren Stroms beträgt dagegen ca. 430 TWh (2018).

Durch Sektorkopplung und die Defossilisierung der Wirtschaft wird der Bedarf an erneuerbarem Strom bis zum Jahr 2050 in Größenordnungen von bis zu 3000 TWh oder mehr ansteigen. **Es ist daher klar, dass auch weiterhin Energie, jetzt allerdings erneuerbare, importiert werden muss. Dies erscheint sowohl aus wirtschaftlicher Sicht (erneuerbare Energie kann andernorts besser bereitgestellt werden) als auch aus Sicht der Außenhandelsbilanz geboten. Der enorme Bedarf an Wasserstoff erfordert eine Wasserstoffinfrastruktur,** die teilweise synergistisch mit der heutigen Erdgas-

---

<sup>1</sup> Wasserstoff als Schlüssel zur erfolgreichen Energiewende: den Einstieg jetzt ermöglichen.

Ein Diskussionsbeitrag der AG Wasserstoff von IN4climate.NRW zur Entwicklung der nationalen Wasserstoffstrategie, <https://www.in4climate.nrw> (10/2019) und eigene Berechnungen

Infrastruktur entstehen kann. Hierzu ist insbesondere in der Transitionsphase neben »grünem Wasserstoff« (auf Basis erneuerbarer Energie) auch »blauer Wasserstoff« erforderlich, der auf Erdgasbasis hergestellt wird, wobei das dabei entstehende CO<sub>2</sub> im Untergrund gespeichert wird.

**Wasserstoff ist auch als Energieträger zum internationalen Transport von Energie geeignet. Dazu sind entsprechende Infrastrukturen und Kooperationen zu unterstützen und aufzubauen.**

**Die Beschlüsse im Rahmen des Klimaschutzprogramms gehen in die richtige Richtung.**

**Es wären weitere regulatorische Voraussetzungen und wirtschaftliche Anreize förderlich<sup>1</sup>:**

- **Schaffung zusätzlicher Kapazitäten für Strom aus erneuerbaren Energien für die Produktion von Wasserstoff:** Für die Produktion von grünem Wasserstoff in Deutschland entsteht ein zusätzlicher Bedarf an Strom aus erneuerbaren Energien. Damit die Wasserstoffproduktion nicht die Treibhausgasminde rung in anderen Bereichen beeinträchtigt, müssen daher zusätzliche Kapazitäten über den von der Bundesregierung geplanten Ausbaukorridor hinaus bereitgestellt werden. Elektrolyseanlagen müssen dabei flexibel betreibbar sein (entspricht dem aktuellen Stand der Technik) und zur Stabilisierung des Stromnetzes bei fluktuierender Stromproduktion aus erneuerbaren Energien beitragen können.
- **Einführung handelbarer Herkunftsnachweise für Wasserstoff:** Es werden Herkunftsnachweise für Wasserstoff benötigt, die über dessen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasemissionen Auskunft geben und auf CO<sub>2</sub>-Minderungsziele (zum Beispiel im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED II) anrechenbar sind. Entsprechende Systeme sind europaweit aufzubauen. Dabei muss für grünen Wasserstoff gewährleistet sein, dass der für die Produktion verwendete erneuerbare Strom nicht doppelt (im Stromsektor und zum Beispiel im Transportsektor) angerechnet werden kann.
- **Abbau negativer Anreize durch Anpassung des Steuer- und Abgabensystems für Strom:** Notwendig ist eine Anpassung des Steuer- und Abgabensystems für Strom, die den Anforderungen der Sektorenkopplung gerecht wird. Dies bedeutet auch, dass entsprechende Anreize für den Betrieb von elektrisch betriebenen Wasserstofferzeugungsanlagen gesetzt werden. Das derzeit geltende Steuer-, Abgaben- und Umlagensystem, insbesondere die EEG-Umlage, belastet die Verwendung von Strom zum Betrieb von Power-to-X-Anlagen erheblich. Dies stellt ein signifikantes Hindernis für den wirtschaftlichen Betrieb solcher Anlagen dar. Die Regelungen für zuschaltbare Lasten im Stromsystem sollten erweitert werden, so dass die Nutzung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien auch in Power-to-Gas-Anlagen attraktiver wird.
- **Setzen positiver Anreize durch Förderung von Wasserstofftechnologien:** Derzeit ist CO<sub>2</sub>-frei erzeugter Wasserstoff im Vergleich mit fossilen Brennstoffen nicht wettbewerbsfähig. Deshalb sind (für die Phase der Markteinführung) Instrumente notwendig, die Investitionen in CO<sub>2</sub>-frei erzeugten Wasserstoff wirtschaftlich machen beziehungsweise eine Nachfrage schaffen, und so Skalierungs- und Lernkurveneffekte, einen Markthochlauf von Wasserstofftechnologien und den Aufbau der notwendigen Infrastruktur ermöglichen. Aktuell werden verschiedene mögliche Instrumente diskutiert. Dazu gehören Markteinführungsprogramme, eine Quote für CO<sub>2</sub>-frei erzeugten Wasserstoff z. B. in Form von handelbaren Zertifikaten, eine OPEX-Förderung über Contracts for Difference, die projektbezogen für einen begrenzten Zeitraum einen festen Preis für die erzielten CO<sub>2</sub>-Minderungen garantieren, und die Förderung des spezifischen Einsatzes von Wasserstoff in bestimmten Sektoren. Die Entscheidung über die Einführung eines dieser Instrumente erfordert eine sorgfältige vergleichende Abwägung der jeweiligen Vor- und Nachteile.

Bei der Einführung von Förderinstrumenten muss außerdem sichergestellt sein, dass mit der Produktion von CO<sub>2</sub>-frei erzeugtem Wasserstoff nicht ein ungewollter Anstieg der Treibhausgasemissionen an anderer Stelle einher geht. Zudem sollten mögliche Risiken für Carbon Leakage berücksichtigt werden.

- **Frühzeitige nationale Umsetzung der Europäischen Richtlinien (Erneuerbare-Energien-Richtlinie und Strommarkttrichtlinie) und Anrechenbarkeit von CO<sub>2</sub>-frei erzeugtem Wasserstoff für die THG-Minderungsquote:** Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) erlaubt es den Mitgliedstaaten, die Nutzung von CO<sub>2</sub>-frei erzeugtem Wasserstoff im Raffinerieprozess auf die Erneuerbare-Energien-Quote anzurechnen. Damit würde ein Anreiz für Raffinerien geschaffen, grünen oder blauen Wasserstoff zu verarbeiten und auf diese Weise ihre Emissionen zu senken. In der nationalen Umsetzung in Deutschland bedeutet dies, dass CO<sub>2</sub>-frei erzeugter Wasserstoff auf die THG-Minderungsquote gemäß BImSchG anrechenbar gemacht werden muss. Die Umsetzung sollte zeitnah erfolgen, um Rechtssicherheit zu schaffen und Investitionen zu ermöglichen. Die entsprechenden Herkunftsnachweise (siehe oben) sind hierfür Voraussetzung.
- **Konsequente Berücksichtigung von Wasserstoff in den relevanten gesetzlichen Regelungen:** Das technische Regelwerk (DVGW) muss ebenfalls für reine Wasserstoffinfrastrukturen ergänzt werden.
- **-Ergänzung des Netzentwicklungsplan Gas (NEP Gas) für die transparente Entwicklung der Wasserstoffinfrastruktur:** Der NEP Gas hat sich als Koordinierungs- und Steuerungsinstrument für den Ausbau des Erdgasnetzes bewährt und erscheint auch für den Aufbau einer Transportinfrastruktur für den Ferntransport von Wasserstoff geeignet. Es ist zu prüfen, ob Anpassungen des Prozesses notwendig sind, die der hohen zu erwartenden Dynamik im Bereich Wasserstoff Rechnung tragen. Grundsätzlich liegt im Bereich des Aufbaus der Wasserstoffnetzinfrastruktur eine typische »Henne-Ei«-Problematik vor, die mit entsprechenden Maßnahmen und durch koordiniertes Vorgehen von Unternehmen mit Unterstützung der öffentlichen Hand überwunden werden muss. Gegenwärtig ist von großer Bedeutung, dass die Bundesnetzagentur die angemeldeten großindustriellen Produktionsmengen und Bedarfe an Wasserstoff in der Bestätigung des Szenariorahmens für den NEP Gas 2020 berücksichtigt, damit ein zeitnaher Einstieg gelingen kann. Eine kombinierte Planung der Strom- und Gasinfrastruktur ist zudem erforderlich.
- **Erleichterung von Genehmigungsverfahren:** Regulatorische Barrieren für die Genehmigung von Elektrolyseanlagen sollten abgebaut werden, etwa durch eine Harmonisierung der Verfahren zwischen den Bundesländern und einen Austausch zur Genehmigungspraxis zwischen den betroffenen Behörden.

#### **Weitere Maßnahmen können sein:**

**Anrechnungsfähigkeit von recyceltem CO<sub>2</sub>:** Das in CCU- Prozessen genutzte CO<sub>2</sub> ersetzt in Nachfolgeprozessen Kohlenstoff aus fossilen Quellen und trägt somit zur Reduzierung der THG-Emissionen bei. Nach derzeitigen Regularien ist die Anrechenbarkeit auf diese Emissionsminderung noch nicht möglich.

**Möglichst schnelle Angleichung der CO<sub>2</sub>- Bepreisung an das ETS und zügige Verringerung der Zertifikate:** Derzeit sind die angesetzten CO<sub>2</sub>- Preise im Vergleich zum ETS zu gering und können dadurch aufschiebend wirken. Berechnungen zeigen, dass die Konkurrenzfähigkeit wasserstoffbasierter Produkte erst bei höheren CO<sub>2</sub>-Preisen erreicht wird. Je nach Markt, Wasserstoffkosten etc. sind CO<sub>2</sub>- Preise von mehr als 100 €/t CO<sub>2</sub> erforderlich, um eine Gleichstellung zu erreichen.