



Global Energy Solutions e.V.

For Prosperity and Climate Neutrality



ERGEBNISSE / POSITIONIERUNG GLOBAL ENERGY SOLUTIONS¹

Stand September 2022

¹ www.global-energy-solutions.org, Postadresse: Lise-Meitner-Str. 9, D-89081 Ulm
Telefon: 0731 / 8507 5925, E-Mail: office@global-energy-solutions.org

Vorbemerkung

Global Energy Solutions e. V. (GES) bearbeitet das Thema in globaler Perspektive. Als wissenschaftliche Einrichtung beschäftigen wir uns ergebnisoffen mit der Frage, ob mit Blick auf 2050 eine Welt mit dann geschätzt 10 Milliarden Menschen in Freiheit und mit wachsendem Wohlstand, insbesondere auch Energiewohlstand, denkbar ist. Dabei sollen vielfältige Anliegen im Umfeld der SDG, insbesondere Menschenrechte, Überwindung der Armut, Erhalt der biologischen Vielfalt und Stabilisierung des Klimasystems beachtet werden. Die Beurteilung von Alternativen beim Klimaschutz orientiert sich insbesondere an Vermeidungskosten für CO₂. Es geht also um die Frage, was es kostet, eine Tonne CO₂ einzusparen, zu vermeiden oder der Atmosphäre auch wieder zu entziehen. Die Überlegungen sind global ausgelegt, Strategien sind teils in Phasen organisiert. Wichtig erscheinen rasche Absenkungen von CO₂ Emissionen, dies insbesondere auch wegen der zeitlich nicht präzise abschätzbaren Tipping-Point Problematik. GES ist der Überzeugung, dass es nicht eine Lösung für alles geben kann, vielmehr arbeiten wir an einem „Lösungsbaukasten“ mit mehreren Bausteinen, die ineinandergreifen.

1. Klimafreundlicher Strom

Eine wohlstandsverträgliche Energie- und Klimastrategie für die Welt mit Blick auf 2050 und 10 Milliarden Menschen benötigt – auch anteilig – ein Vielfaches der heutigen Menge klimafreundlichen Stroms. Dieser wird auf verschiedenen Wegen erzeugt werden: alte und neue Verfahren zur Nutzung von erneuerbaren Energien, fossile Energieträger mit CCUS und Kernenergielösungen².

² Perspektivisch können weitere, bahnbrechende Innovationen in der Zukunft wichtig werden, z. B. im Bereich der Kernfusion.

2. Klimafreundlicher Wasserstoff

Ebenso benötigt wird klimafreundlicher Wasserstoff (Low Carbon H₂), produziert mit klimafreundlichem Strom über Elektrolyse oder (ohne Elektrolyse) als sogenannter blauer Wasserstoff aus Erdgas³ in Verbindung mit Carbon Capture and Storage (CCUS⁴) oder als sogenannter türkiser Wasserstoff aus Erdgas ohne CCUS⁵. Low Carbon H₂ spielt für die Sektoren-Kopplung eine wichtige Rolle und ist für viele Industrieproduktionen von Bedeutung, u.a. für Stahl und Chemie, aber ebenso für Wärme-/ Kälteversorgung und für Mobilität in der Breite. Der Aufbau einer international vernetzten Wasserstoffwirtschaft stellt aufgrund der Komplexität der zu schaffenden Lieferketten eine erhebliche Herausforderung dar, ist aber zur zeitnahen Erzielung der erforderlichen „Economies of Scale“ für die Bewältigung der Herausforderungen im Klima- und Energiebereich unabdingbar.

3. Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS)

CCUS ist in zeitlicher Hinsicht ein Schlüsselthema zur Erzielung schneller CO₂-Minderwirkung und besitzt ein breites Einsatzfeld. CCUS verspricht rasche Verbesserungen in Bezug auf den CO₂-Fußabdruck der Zivilisation. Die Methoden sind anwendungsspezifisch und für viele Anwendungsbereiche ausgereift.⁶ Wirksamkeit und Effizienz sind hoch. Die entstehenden Mehrkosten sind tragbar, wenn CO₂ bepreist wird. Fördermaßnahmen, wie sie z.B. in den USA bestehen, sind ebenfalls hilfreich. In Entwicklungs- und Schwellenländern sind Finanzierungsbeiträge der

³ Erdgas muss weitestgehend Methan-emissionsfrei zur Verfügung gestellt werden. Best-practice Beispiele zeigen, dass das möglich und finanzierbar ist.

⁴ Neuanlagen zeigen, dass das möglich und finanzierbar ist.

⁵ Blauer Wasserstoff wird durch Erdgasreforming gewonnen, türkiser Wasserstoff durch Erdgasspaltung.

⁶ Die Machbarkeit und Sicherheit sind, z. B. über Enhanced Oil Recovery Technologien, seit Jahrzehnten bewiesen.

Weltgemeinschaft notwendig. Bei Storage wird eine dauerhafte Kohlenstoffrückführung („cradle to grave“) realisiert.⁷ Im Fall von CO₂-Utilization können teilweise geschlossene Kohlenstoffkreisläufe erreicht werden.

4. Skalierungshemmnisse bei Elektrolyseuren

Es deuten sich (auch mittelfristig) erhebliche Herausforderungen beim Ausbau der erforderlichen Elektrolyseurkapazitäten an. Ursächlich sind hohe Kosten sowie die üblichen „Henne-Ei“-Probleme in entstehenden Märkten mit vielfältig ausdifferenzierten Geschäftsmodellen. Dies belastet die Produktion von klimafreundlichem Wasserstoff über klimafreundlichen Strom. Damit bekommen international vernetzte Projekte, bei denen hohe Laufzeiten für die Elektrolyseure durch besonders wind- und sonnenreiche Standorte bei vergleichsweise niedrigen Transportkosten erzielt werden, eine besondere Bedeutung, um die erforderliche Wirtschaftlichkeit darzustellen. Europa droht sich um diese Chancen zu bringen, wenn europäische Regularien für Importe verpflichtend gemacht werden, wie das heute diskutiert wird (z.B. Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz). Das birgt erhebliche Gefahr für die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie und kann zur Abwanderung ganzer Industriezweige führen.

5. Nutzung von CO₂ aus Punktquellen

Die Nutzung von CO₂ aus Punktquellen (zum Beispiel von Kohlekraftwerken, Zementwerken und bei der Stahl- und Eisenherstellung) ist dringend erforderlich, um die weltweiten CO₂-Emissionen rasch abzusenken.

⁷ Entnommener Kohlenstoff in Form von Gas und Öl wird als CO₂ wieder eingelagert oder mineralisiert.

6. Anforderungen an den wirtschaftlichen Einsatz von Elektrolyseuren

Für einen wirtschaftlichen Einsatz der Elektrolyseure sollten diese über das Jahr gemittelt zu mindestens 60 % ihrer Erzeugungskapazität im Einsatz sein. Die jeweils genutzten Erneuerbaren müssen über das Jahr entsprechende Volumina an klimafreundlichem Strom bereitstellen. Dies ist in kostengünstiger Weise insbesondere in speziellen Regionen der Welt erreichbar und erfordert meist geeignete Kombinationen von Solar- und Windkraft. Beispiele sind der Süden Chiles (nur Wind), das südliche Marokko (Wind/Solar) oder auch Namibia (Wind/Solar). Die Kostensituation verschärft sich, wenn Elektrolyseure nur zeitweise arbeiten können, weil z.B. aufgrund spezifischer regulatorischer Vorgaben verfügbarer erneuerbarer Strom temporär zum Betreiben der Elektrolyseure nicht genutzt werden darf, weil andere Nutzungsarten Vorrang erhalten. Auch die ausschließliche Nutzung von Überschussstrom ist eine wirtschaftlich wenig attraktive Anwendung für Elektrolyseure, aufgrund absehbar geringer Auslastungen (vielleicht 20–40 %).⁸ Aufgrund der großen Umwandlungsverluste bei der Rückverstromung des Wasserstoffs empfiehlt GES generell eine klare Priorisierung für die stoffliche Nutzung von Wasserstoff vor der energetischen. Für bestimmte industrielle Anwendungen, zum Beispiel Stahl und Chemie, erscheint auch ein direkter Reduktions- bzw. Nutzungsansatz über Erdgas und CCUS zur Vermeidung des teuren Weges über Low Carbon H₂ sinnvoll.

⁸ Wenn es um die direkte Stromversorgung geht, ist eine hohe Auslastung bei der Stromerzeugung weniger wichtig. Allerdings ist dann die Volatilität in der Stromversorgung zu adressieren.

7. Synthetische Kraftstoffe⁹

Synthetische Kraftstoffe auf Basis von Low Carbon H₂ bilden neben klimafreundlichem Strom und klimafreundlichem Wasserstoff ein drittes Standbein jeder tragfähigen Lösung der weltweiten Zukunftsprobleme in den Bereichen Energie und Klima. Sie haben für eine klimaneutrale Mobilität der Zukunft eine große Bedeutung. Solche Kraftstoffe haben große Vorteile bzgl. Transportierbarkeit, Speicherefähigkeit und Nutzung vorhandener Infrastrukturen. Darin sind sie Wasserstoff überlegen.

Zu den synthetischen Energieträgern/Kraftstoffen gehören klimafreundliches Methanol, Methan, Ammoniak und synthetische Kohlenwasserstoffe (Fischer-Tropsch-Produkte) für unterschiedliche Anwendungen.

Synthetische Kraftstoffe werden u. a. für die klimaneutrale Versorgung der weltweiten Bestandsflotte von heute 1,3 und perspektivisch 1,6 Milliarden Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren benötigt. Man spricht in diesem Kontext auch von E-Fuels. Vor allem in Afrika wird ein großes Wachstum der Verbrennerflotte erwartet. Dies betrifft u.a. massiv den Bereich der LKWs. E-Fuels sind auch für die Bereiche Schifffahrt und Flugverkehr Schlüsselthemen. Neben dem Mobilitätssektor und der

⁹ Synthetische Kraftstoffe beinhalten in unserer Definition folgende Stoffgruppen: 1. E-Fuels, also Strom-basierte Kraftstoffe (z.B. mittels Photovoltaik, Wind- oder Wasserkraft erzeugt) und 2. Biomasse-basierte Kraftstoffe (z.B. aus Mais oder aus Abfällen wie Stroh, Gülle oder Altholz), kurz: Bio-Fuels. Beide Stoffgruppen können klimaneutral produziert werden. Fossile Energieträger (Kohle, Öl und Gas) sind unserer Definition nach nicht Basis für synthetische Kraftstoffe.

Stromerzeugung können synthetische Kraftstoffe auch für individuelle Wärme-Kältelösungen genutzt werden.

8. Klimaneutralität synthetischer Kraftstoffe

Synthetische Kraftstoffe auf der Basis von klimafreundlichem Wasserstoff sind klimaneutral, wenn das zur Herstellung eingesetzte CO₂ über Direct Air Capture gewonnen wurde oder abgefangenes CO₂ aus Verbrennungsprozessen von biogenem Material bei der Herstellung genutzt wird. Sie sind nicht klimaneutral bei der Nutzung von CO₂ aus Punktquellen, es sei denn, das eingesetzte CO₂ wird nicht zur Klimaneutralitätsstellung der jeweiligen Punktquelle (zum Beispiel für ein klimaneutrales Kohlekraftwerk) verrechnet. Klimaneutralität der synthetischen Kraftstoffe kann aber auch im Fall der Verrechnung des abgefangenen CO₂ für die Klimaneutralität der genutzten Punktquellen erreicht werden und zwar dadurch, dass in entsprechendem Umfang CO₂-Negativemissionen an anderer Stelle erzeugt und finanziert werden. Dies ist zum Beispiel möglich über Nature-based Solutions¹⁰ und CCUS (Verpressung, Erzeugung von Kohle über Pyrolyse oder Mineralisierung). Wichtig sind in diesem Kontext international abgestimmte Verrechnungsmethoden, die so weit wie möglich sachlich unnötige Materialtransporte vermeiden.

¹⁰ Nature-based Solutions müssen umfassenden Nachhaltigkeitsanforderungen gemäß international anerkannten Standards (z.B. ICROA) entsprechen und dürfen nicht zu Lasten der Natur und der einheimischen, manchmal indigenen Bevölkerung gehen. Landrechte sind zu beachten/anzuerkennen, gegebenenfalls zu identifizieren und zu kodifizieren.

Einsichten für die deutsche Energiewende

(zusätzliches Aufgabenfeld des Vereins „Global Energy Solutions e.V.“, neben dem BMZ-Projekt)

1. Ein starkes klimaneutrales Stromsystem für Deutschland

Für Deutschland erscheint zur Erreichung einer hohen Resilienz, überschaubarer Kosten und Stabilität des Gesamtstromsystems eine Kombination aus (neuen) Erneuerbaren und Erdgas mit CCUS tragfähig. Die Begründung für die Kombination der Erneuerbaren mit Erdgas ist ein vergleichsweise kostengünstiger Zugang zur Beherrschung der Volatilität der erneuerbaren Energien.

2. Was erfordert eine Beschränkung auf erneuerbare Energiequellen

Ein Stromsystem auf Basis 100 % Erneuerbarer ist technisch möglich, wenn man Solar- und Windkraft entsprechend ausbaut. Strebt man zum Beispiel ein jährliches Volumen von Strom auf Basis neuer erneuerbarer Energie¹¹ von 1000 TWh an, sind die Wind- und PV-Anlagen gegenüber dem aktuellen Stand etwa um den Faktor 7 auszubauen. Diese liefern dann ca. 1300 TWh Strom, von denen 450 TWh nicht unmittelbar genutzt werden können, da hierfür zum Erzeugungszeitpunkt kein Abnehmer existiert. Dieser Überschuss könnte aber durch Elektrolyseure in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert werden. Bei Dunkelflauten könnte dieser Wasserstoff wieder zu 150 TWh verstromt werden, sodass insgesamt die 1000 TWh für die Netzlast zeitgerecht sichergestellt sind. Zur Nutzung des Wasserstoffs werden enorme Kapazitäten an entsprechend geeigneter Transportinfrastruktur sowie geeigneten Speichern und geeigneten Gaskraftwerken benötigt. Dabei geht

¹¹ Wind und Photovoltaik

es um ein Vielfaches der heutigen Kapazitäten. Will man den temporären Überschussstrom weitgehend nutzen, also möglichst alle Stromspitzen einbeziehen, ist die Auslastung des gesamten, teuer für Wasserstoffherstellung zur Volatilitätsbeherrschung ausgebauten Energie-Systems, sehr gering. Das erhöht die Kosten erheblich. Es ist erkennbar, dass ein solcher Umbau mit gewaltigen finanziellen, zeitlichen, regulativen und gesellschaftlichen Erfordernissen und Konflikten verbunden sein wird.

3. Elektrolyse-Wasserstoff für alle industriellen Bedarfe

Will man mit Elektrolyse-Wasserstoff zusätzlich industrielle Anwendungen in den Bereichen Stahl, Chemie etc. versorgen, ist bei entsprechendem Mitteleinsatz ein Ausbau der Erneuerbaren in Richtung von deutlich über 1500 TWh pro Jahr erforderlich. Es müssen dann zu hohen Kosten und bei schwieriger Engpasslage erhebliche zusätzliche Mengen Elektrolyse-Wasserstoff (erzeugt über zum Beispiel 700 TWh CO₂-armen Strom) verfügbar gemacht werden, die temporär adäquat zu transportieren, zu speichern und zu verbrennen sind, um die Volatilität zu beherrschen. Das verschärft noch einmal die Problemlage, die bereits unter Punkt 2 beschrieben wurde. Damit wird klar, dass Deutschland auch langfristig für die Versorgung seiner Industrie auf den Import von zunächst Erdgas und später verstärkt von Wasserstoff und seinen Derivaten angewiesen sein wird.