



JPR-Focus Nr. 02/25

Der Newsletter von JPR Concepts & Innovation im neuen Format und weiterhin kostenlos.

Erscheint in drei Sprachen – Deutsch, Französisch, Englisch – nun 2- bis 3-mal im Jahr.

Vertiefte, ganzheitliche Gesichtspunkte zu aktuellen Fragen.

Texte aus diesem Newsletter dürfen gern in anderen Newsletter und Webseiten verwendet werden. Ein Hinweis auf den "JPR -Focus" als Quelle ist jedoch notwendig.

Liebe Leserinnen und Leser

Herzlich willkommen zur zweiten Nummer des JPR-Focus im Jahre 2025.

Der Wasserstoff spielt eine zentrale Rolle für die Energiewende, liest man in vielen Publikationen. Grosse Pläne werden demzufolge geschmiedet. Der Bau eines Wasserstoffnetzes bzw. der Umbau gewisser Teile des bestehenden Gasnetzes sollte gleich angefangen werden.

Mittlerweile haben manche auch verstanden, dass der Energiesektor nicht der alleinige Missetäter für die Klimaproblematik ist. Da hat man einen neuen Begriff erfunden, die Dekarbonisierung der Wirtschaft, erfunden. Dabei geht es nicht um eine Abkehr vom Kohlenstoff, sondern nur um eine Verringerung bzw. eine Vermeidung von CO₂-Emissionen sowie auch eine Abkehr der fossilen Energieträgern Kohle, Erdgas und Erdöl. Diese Wortwahl hilft nicht unbedingt klar zu verstehen, um was es geht. Auch da soll der Wasserstoff eine zentrale Rolle spielen.

Trotz diesen tollen Aussichten, scheint der Wasserstoff-Sektor nicht zum Durchbruch zu kommen. Alles bleibt bei der Vision und bei virtuellen Plänen zu bleiben. Es gibt zwar ein paar Erfolgsgeschichten. Sie beweisen allerdings nicht die grossen Pläne, sondern zeigen auf, welche Randbedingungen gelten.

Das Ziel dieses Berichts ist es, die Zusammenhänge soweit zu beleuchten, sodass die Thematik besser verstanden wird und die Potenziale des Wasserstoffes richtig erkannt werden.

Ich wünsche Ihnen viel Spass beim Lesen.

Ihr Jean-Pierre Rickli

Der Wasserstoff

Kann er wirklich alle Erwartungen erfüllen?

1. Einleitung

Der Wasserstoff hat eine wesentliche Rolle in der Energiewende und in der Dekarbonisierung der Wirtschaft zu spielen. Viele Berichte, Firmenmeldungen und Studien versuchen diese Aussage zu begründen. Seminare und Konferenzen werden zu diesem Thema abgehalten. Riesige Investitionen für eine geeignete Infrastruktur sollen von der Öffentlichkeit erbracht werden. Was herauskommt ist nicht viel mehr als heisse Luft. Warum?

Dafür sehe ich vor allem folgende Gründe:

- Alle Zukunftsvisionen sind nur auf den Endbedarf, meistens in kWh ausgedrückt, gerichtet.
- Die Wasserstoff-Produktion wird als rein technologisches Problem betrachtet. Welche Verfahren? Welche Effizienz? Welche Transport- und Lagerlösungen?
- Die wichtigen Fragen werden nicht gestellt. Wer wird das Netz füllen? Wo wird das geschehen? Welche Mengen braucht man? Ist die Infrastruktur für die Produktion überhaupt verfügbar? Dazu fallen die Antworten von Sektor zu Sektor recht unterschiedlich aus.
- Der letzte Hauptgrund sehe ich einfach in der alten Lebensweisheit: der Teufel liegt in den Details.

Die zwei ersten Gründe werden wir hier nicht detailliert behandeln. Ich werde in diesem Zusammenhang nur auf einzelne Konsequenzen von dieser Betrachtungsweise hinweisen.

Der zentrale Punkt dieses Berichts wird der Analyse des dritten Grundes sein. Dabei möglicherweise auch mit der mangelnden Motivation sich mit den entsprechenden Fragestellungen zu befassen, die Furcht vor dem Teufel. Die Beantwortung solchen Fragen bedingt, dass man sich mit den Details beschäftigt. Das wiederum setzt voraus: ein gewisses Wissen zu haben, die Bereitschaft in die Tiefe zu gehen und somit auch einen gewissen Aufwand in Kauf zu nehmen

2. Der Wasserstoff

Bevor wir überhaupt über ihn diskutieren, müssen wir den Hauptakteur dieses Berichts besser kennen. Keine Angst, es geht hier nicht um einen grossen Chemie-Kurs. Es geht darum, zu verstehen, wieso ihm ein solches Potenzial zugeschrieben wird und welche technologische Herausforderung er mit sich bringt.

2.1 Was ist interessant am Wasserstoff?

In der heutigen Diskussion um die Energiewende bringt er folgende Vorteile mit sich:

- Er ist auf Erde reichlich vorhanden und zwar, im Wasser.
- Seine Reaktion mit dem Sauerstoff lässt viel Energie frei. Diese energiereiche Verbindung nutzen wir als Antriebsenergie für die Raketen, die wir ins All schiessen.

- Das Endprodukt dieser Reaktion ist Wasser. Demzufolge, wenn wir Wasserstoff aus Wasser gewinnen, entsteht kein Stoffverlust und auch keine schädlichen Stoffe, die wir entsorgen müssen.
- Wasserstoff kann man, unter Einhaltung gewisser Massnahmen, lagern und transportieren. Der Verbrauch vom Wasserstoff kann somit von dessen Produktion entkoppelt werden.

Beim Thema Dekarbonisierung der Wirtschaft ist er nicht nur als Energieträger von Bedeutung, sondern kann als Rohstoff für die Erzeugung von Produkten gebraucht werden. So könnten zum Beispiel Treibstoffe aus dem Wasserstoff und dem aus der Luft zurückgewonnenen CO₂ produziert werden. Andere Produkte stehen auf der Warteliste. Viele solche Verfahren sind bereits in der Testphase, viele andere stehen jedoch lediglich als Ideen auf dem Papier. Wie solche Prozesse ablaufen könnten ist weitgehend Zukunftsmusik.

2.2 Spezielle Eigenschaften

Wie wir oben gesehen haben, Wasserstoff ist zwar reichlich vorhanden, jedoch mit dem Sauerstoff als Wasser gebunden. Um an den Wasserstoff zu kommen, muss man diese Verbindung lösen; mit viel Energie.

Wasserstoff reagiert sehr heftig mit Sauerstoff (Knallgas). Es ist einerseits vorteilhaft bei der Nutzung für Wärmeerzeugung. Hingegen, stellt das ein ernstes Risiko bei der Lagerung und dem Transport dar. Spezielle Vorkehrungen sind unerlässlich.

Das Wasserstoffatom ist das kleinste von allen Elementen. Das bedeutet, dass der Wasserstoff ein sehr hohes Diffusionsvermögen hat. Es braucht somit spezielle Materiale für die Lager- und die Transportbehälter. Eine Nutzung des vorhandenen Gasnetzes müsste somit eingehend überprüft werden. Grössere und teure Umbauten sind somit durchaus möglich.

Da gehen die Meinungen auseinander. Während manche für einen Neubau plädieren, gibt es Gutachten, die belegen sollten, dass die Verwendung grosser Teile des vorhandenen Gasnetzes kein Problem ist. Wurde die Materialphysik neu erfunden? Gibt es besondere Interessen hinter diesen Aussagen? Wurden die einzuhaltenden Randbedingungen in das Kleingeschriebene verbannt, das niemand liest?

2.3 Seine Farben

Wasserstoff ist selbstverständlich farblos und als Gas mit dem Auge nicht feststellbar. Dennoch findet man in den Publikationen zahlreiche Referenzen auf grünem, grauem, blauem oder sonst farbigem Wasserstoff. Das hat nichts mit dem Wasserstoff selbst zu tun, sondern mit seiner Herkunft und mit der Art der für seine Gewinnung eingesetzten Energie. Diese Farbgebung ist vor allem eine Marketingangelegenheit, manche würden sagen, mit unterschiedlichen «green-wash» Stufen.

Hier eine Übersicht der gängigen Farben:

- Grün
Es ist die hoffnungsvollste Farbe des Wasserstoffs. Der für die Elektrolyse genutzte Strom kommt aus Wind- oder Sonnenenergie. Somit wird dieser Wasserstoff als klimaneutral

betrachtet.

Das grosse Problem dieses Weges ist der hohe Bedarf an grünem Strom, der seine anderweitige Nutzung stark einschränkt.

- Blau

Der mit dieser Farbe gekennzeichnete Wasserstoff wird aus der Dampfreformierung gewonnen. Der dafür notwendige Energieträger ist Erdgas, Erdöl oder Kohle. Der bei diesem Verfahren entstehende CO₂ wird gefasst und unterirdisch gelagert. Somit gilt auch dieser Wasserstoff als klimaneutral.

Die CO₂-Trennung und die Lagerung sind erprobten Techniken, die energieintensiv sind. Da auch hier grünen Strom verbraucht wird, könnten andere Nutzungen eingeschränkt werden. Dazu sind die Anforderungen an den Lagerungsstätte ziemlich hoch, was die Anzahl an geeigneten Stellen stark mindert.

- Grau

Wasserstoff mit dieser farbigen Bezeichnung ist das Gegenteil vom grünen. Der Strom für die Elektrolyse-Produktion dieses Wasserstoffs kommt von fossilen Kraftwerken. Er wird somit als nicht klimaneutral betrachtet.

- Türkis

Dieser Wasserstoff wird aus einem thermischen Prozess gewonnen – die Methanpyrolyse – wobei Methan bzw. Erdgas in Wasserstoff und festen Kohlenstoff gespalten wird. Sofern der Kohlenstoff dauerhaft gebunden wird, ist auch dieses Verfahren CO₂-neutral. Selbstverständlich müssen allen Anlagenteilen mit erneuerbaren Energien betrieben werden. Da der Strombedarf für den Betrieb wesentlich kleiner ist als die anderen vorherigen Varianten, wird oft türkiser Wasserstoff als Übergang zum grünen Wasserstoff dargestellt.

- Rot, violett, pink

Alle diese Farben werden zur Kennzeichnung von Wasserstoff, der aus der Elektrolyse produziert wird, welche mit aus Kernkraftwerken stammenden Strom betrieben wird. Da dieser Strom fast ohne CO₂-Emissionen produziert wird, macht diese Farben klimafreundlich. Die anderen Aspekte wie den Abbau von Uran, die Sicherheit von solchen Anlagen und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle sind Teile anderer Diskussionen. Für viele sind diese Diskussionen überflüssig, denn dieser Weg ist in erster Linie für bestehenden Anlagen. Lässt man diese Anlagen so lange als möglich Strom produzieren, so kann sich die gesamte Ökobilanz nur verbessern. Damit kann auch die Wasserstoff-Produktion unabhängig vom Ausbau der Solarenergie hochgefahren werden.

- Orange

Bei dieser Farbe wird Wasserstoff üblicherweise auch über die Elektrolyse produziert. Der Strom dazu, allerdings, wird in Biogas-kraftwerke und Kehrriktverbrennungsanlagen erzeugt. Somit ist dieser Wasserstoff nicht ganz klimaneutral, kann aber die Ökobilanz anderer Verbrauchssektoren verbessern.

Biogas- wie auch Kehrriktverbrennungsanlage sind lokale Einrichtungen mit beschränkter Reichweite. Somit hat auch der orange Wasserstoff einen lokalen Charakter.

- Gelb

Der Wasserstoff dieser Farbe wird ebenfalls über die Elektrolyse gewonnen. Der Strom dazu kommt aus dem deutschen Strommix, das Heisst beinhaltet sowohl Strom aus erneuerbaren wie auch aus fossilen Energiequellen. Auch dieser Wasserstoff wird nicht als klimaneutral betrachtet, ist allerdings weniger schlecht als der graue.

- Weiss

Der weisse Wasserstoff ist der in der Natur vorkommende Wasserstoff. Er befindet sich in natürlichen Lagerstätten, in tief gelegenen Gesteinsschichten. Die Förderung dieses Wasserstoffs könnte durch Verfahren wie Fracking erfolgen. Dadurch ist dieser Wasserstoff nur beschränkt klimaneutral. Dazu ist er nicht nachhaltig, da diese Vorkommen nicht erneuerbar sind.

Zu dieser bereits sehr farbigen Palette an Wasserstoff-Arten gibt es noch zwei Farben zu erwähnen. Sie spielen eine untergeordnete Rolle und wurden in erster Linie wegen den unterschiedlichen Subventionen und Zulassungsfristen eingeführt.

- Schwarz

Diese Kennzeichnung wird für den Wasserstoff verwendet, bei welchem der Strom für die Elektrolyse von Steinkohle-Kraftwerken kommt und somit nicht klimaneutral ist.

- Braun

Diese Farbe wird für den Wasserstoff verwendet, bei welchem der Strom von Braunkohle-Kraftwerken kommt und somit auch nicht klimaneutral ist.

Diese bunte Aufzählung macht einen wichtigen Teil der Problematik um den klimaneutralen, grünen und umweltfreundlichen Wasserstoff sichtbar: genug elektrische Energie für die Wasserstoff-Produktion zu bekommen.

Der Weg zum «grünen Wasserstoff» ist direkt mit der Erzeugung von grünem Strom aus erneuerbaren Energiequellen verbunden. Heute sind wir noch nicht in der Lage unsere Grundbedürfnisse an Elektrizität für die Beleuchtung, die Haushaltgeräte und die Kommunikation mit erneuerbaren Energien zu decken. Diese Formulierung ist sogar sehr positiv. Manche sagen «weit weg» oder reden von Illusion, dass so etwas überhaupt möglich wäre. Woher soll dann die notwendige Energie die Produktion des notwendigen Wasserstoffs für die Füllung eines Leitungsnetzes wie das heutige Gasnetz überhaupt zur Verfügung stehen?

Daraus erkennen wir auch, dass für eine längere Zeit noch, die Handhabung für seinen Transport und seine Lagerung, eine mehr oder weniger starke graue Nuance dem Wasserstoff aller Farben, ausser schwarz und braun, geben wird. Dabei stellt man auch fest, dass die Beurteilung auf Grund der Klimaneutralität nicht zielführend ist.

3. Welche sind die gedachten Wasserstoff-Einsatzpotenziale?

3.1 Strom- und Wärmeversorgung

Als die Energiewende ausgerufen wurde, dachte jeder, dass Wasserstoff der Energieträger der Zukunft sein wird. Grosse Visionen entstanden an den Planungstischen. Alles schien wunderbar. Die ersten Kraftwerksprojekte wurden aufgegleist und bald kam die Frage auf, woher die grosse Menge an Wasserstoff kommen sollte.

Der grüne Wasserstoff lag in weiter Ferne. Mischvarianten wurden studiert, daher die Vielfalt an Farben. Doch, auch an einen fristgerechten Ausbau der Elektrolyse-Kapazität war nicht zu denken. Diese Kraftwerks-Projekte wurden einfach auf Eis gelegt.

Was blieb sind Projekte auf abgelegten Orten, Inseln zum Beispiel. Dort gibt es meistens Wind und in südlichen Lagen auch genügend Sonneneinstrahlung. Gute Voraussetzungen für einen grünen Wasserstoff.

Dort sind auch die Distanzen überschaubar. Dazu ist der Energiebedarf neben den privaten Haushalten, auf dem lokalen Gewerbe und den Handwerksbetrieben beschränkt. Somit kann auch ein Gleichgewicht zwischen Energie-Angebot und -Nachfrage hergestellt werden. Die Überschüsse werden gelagert in Batterien oder in Wasserstoffspeichern. Daraus lässt sich auch Energie für den lokalen Transport – mit Batterien oder über Brennstoffzellen – zur Verfügung stellen.

3.2 Güter- und Personen-Transport

Da kommen wir zu einem komplexen Thema, eigentlich zu drei komplexen Themen, nämlich zum Transport von Gütern und Personen auf dem Land, auf dem Wasser und in der Luft. Da ihre Problematiken ganz unterschiedlich sind, müssen wir sie getrennt anschauen.

Der Schwerpunkt der Anwendungen und den Projekten mit Wasserstoff basiert auf die Brennstoffzelle-Technologie als Grundprinzip.

Eine Alternative dazu wäre Wasserstoff für die Produktion von Treibstoffen wie Ethanol oder Methanol zu verwenden. Der Kohlenstoffanteil käme dann von Anlagen, welche das CO₂ aus der Luft ziehen. Wegen dem hohen Energieverbrauchs – Energie für die Elektrolyse, Energie für das Herausfiltern des CO₂ aus der Luft, Energie für den Treibstoff-Herstellungsprozess – ist eine solche Lösung noch in weiter Ferne.

3.2.1 Transport auf dem Land

Die kleinere Leistungsgrösse der Aggregate für den Transport von Gütern und Personen auf Strassen hat die Entwicklung verschiedener Lösungen ermöglicht.

Gemäss dem noch vorhandenen Geschäftsverständnis wurde das grösste Marktpotential bei den Autoantrieben – grosse Anzahl, kleineres technisches Risiko, kleineres finanzielles Risiko, grosse Marktreichweite – gesehen. Viele Autobauer entwickelten entsprechenden Konzepten und haben neue Modelle auf dem Markt versuchsweise gebracht, zur Reifung der Technologie.

Die Ernüchterung kam nun. Woher sollte der Wasserstoff für eine breite Anwendung kommen? Ausser den Versuchsfeldern gab es nichts. Niemand hatte sich darum gekümmert. Es fehlte das Geld für einen breiten Ausbau. Alles war zu unsicher und zu teuer.

Es war auch eine weitere Ernüchterung für alle, die glaubten, dass eine mehrfache Energieumwandlung – von erneuerbarer Energie, Wind oder Solar, zum Strom, vom Strom zum Wasserstoff, vom Wasserstoff zum Strom, vom Strom zur mechanischen Energie – gleichwertig oder sogar besser ist wie die zweifache Umwandlung – chemische Energie zur Wärme und von der Wärme zur mechanischen Energie – die in einem Verbrennungsmotor stattfindet.

Eine Alternative war, eine Gesamtlösung anzubieten, d. H. Stromproduktion über Solarpanels, Wasserstoffproduktion über Elektrolyse, Wasserstoffspeicherung und Fahrzeugflotte mit entsprechenden Antrieben, allenfalls Umrüstung der bestehenden Fahrzeuge auf Brennstoffzellen.

Solche Lösungen wurden bei verschiedenen Transportunternehmen (ÖV-Busse) und Güter-Feinverteilung erfolgreich implementiert. Bislang blieben diese Lösungen aus Kostengründen Nischenerscheinungen.

Auf der Schiene wurden Versuche mit umgerüsteten Diesellokomotiven durchgeführt. Die Machbarkeit wurde demonstriert. Es blieb ebenfalls aus Kostengründen bei diesen Versuchen. Auch wegen der relativ grossen Leistungen, konnte eine Stromproduktionsanlage mit Brennstoffzellen für eine breitere Anwendung nicht so einfach realisiert werden.

3.2.2 Transport auf dem Wasser

Theoretisch wäre sowohl für den Güter- wie auch für den Personen-Transport Vieles möglich; zumindest aus der blossen Sicht als Antriebsaggregat. Werden aber die Wasserstoff-Versorgung, die Wartungsfreundlichkeit, die erforderlichen Leistungsgrösse und den Betrieb in Betracht gezogen, dann ändert sich das Bild. Die Vielfalt der Kombinationen lässt praktisch nur Nischenlösungen zu.

Ein paar Beispiele:

- Die abnehmbaren Aussenbordlösungen für kleine Freizeitbooten im sporadischen Einsatz lassen sich heute nicht einfach durch Brennstoff-Zellen ersetzen. Solche kleinen Boote im regelmässigen Einsatz – Fischerboote auf Seen – könnten eventuell mit einer fest eingebauten Lösung umgerüstet werden. Sie müsste aber kaum mehr Raum und Platz beanspruchen, damit der Fischerbetrieb nicht beeinträchtigt wird. Ein leicht abnehmbarer Elektro-Motor mit Batterie-Pack könnte aber die bessere Lösung sein.
- Bei Freizeitbooten mittlerer Grösse mit fest eingebauten Antrieben, wäre eine Umrüstung auf Brennstoff-Zellen denkbar. Die Betriebsbereitschaft auch bei längeren Stillständen müsste aber gewährleistet werden. Sie müssten wartungsarm sein und keine besonderen Fachkenntnisse verlangen. Noch eher denkbar, wäre ein Einsatz bei kleinen Schiffen für den Personentransport auf kleinen Seen.
- Bei grösseren Schiffen bis zu den ganz grossen nimmt die Wartungsproblematik etwas ab, denn dort ist das Wartungspersonal vorhanden. Die Probleme verlagern sich jedoch in Richtung Leistungsgrösse – Brennstoffzelle für grosse Leistungen sind kaum vorhanden – und vor allem bei der Versorgung der sehr grossen Mengen an grünem Wasserstoff.

3.2.3 Transport in der Luft

Viele sehen den Wasserstoff als der zukünftige Treibstoff für Flugzeuge, in erster Linie zur Erzeugung von Strom für die Elektromotoren der Propellerantriebe. Eine direkte Verwendung in den Triebwerken wäre auch denkbar, sie steht aber klar in den Hintergrund.

Für die Befürworter dieser Lösung ist sie sehr sauber, sogar emissionsfrei, d. H. ohne CO₂. Das Produkt der exo-thermischen chemischen Reaktion zwischen Sauerstoff und Wasserstoff ist nämlich reines Wasser. Dieses kann man in die Luft bedenkenlos freilassen. Für mich und eine zunehmende Anzahl an Leute leider nur vermeintlich, denn Wasser in den hohen Schichten der Atmosphäre bildet nicht nur Kondensstreifen, sondern auch Wolken. Dort ist Wasserdampf ein starkes Treibhausgas. Das könnte man auch mit KI nicht bekämpfen oder vermeiden.

An diesem Beispiel versteht man vielleicht warum ich bei der alleinigen Fokussierung auf das CO₂ in den Zielen CO₂-frei, CO₂-neutral und dergleichen sehr zurückhaltend bin. Im obigen Fall würde man die Situation stark verschlimmern statt verbessern.

3.3 Produktion von chemischen Stoffen

Wir hören und lesen immer häufiger in den Medien von der Dekarbonisierung der Wirtschaft. Damit wird nicht gemeint frei von Kohlenstoff. Das wäre nicht realistisch und im Widerspruch zu vielen natürlichen Prozessen. Nein, es bedeutet lediglich ohne Nutzung von fossilen Energieträgern wie Kohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas. Als zweites Ziel wäre ohne CO₂-Emissionen oder zumindest mit ausgeglichener CO₂-Bilanz, d. H. klima-neutral.

Ein sehr ehrbares Ziel. Betroffen sind wichtige Industrien wie die Stahlproduktion, die Zementproduktion und vor allem die Chemie mit ihrer Vielfalt an Produkte.

Dabei wird eine wichtige Tatsache vergessen oder übersehen: für diese Industrien sind Kohle, Erdgas und Erdöl nur zum Teil Energieträger. Sie sind zu einem grossen Teil auch Rohstoff-Lieferanten, welche an den chemischen Prozessen teilnehmen. Will man sie auf der Seite lassen, so ist bei der Produktproduktion ein Ersatz für jedes C- oder H-Atom anderswo zu finden. Das Kohlenstoffatom wird dann aus dem aus der Luft extrahierten CO₂ geliefert und der Wasserstoffatom durch die Elektrolyse heute zur Verfügung gestellt. Beide Verfahren brauchen eine grosse Menge an Energie.

Ferner, viele im Erdöl oder Erdgas oder in der Kohle enthaltenen Verbindungen müssen dann neu synthetisiert werden. Die Entwicklung dieser Verfahren wird eine gewisse Zeit brauchen. Dann werden wir wissen, wieviel Energie dafür notwendig sein wird.

4. Ein paar hilfreiche Zahlen

4.1 Allgemeine Betrachtungen

In den bisherigen Ausführungen haben wir gesehen, dass der Wasserstoff zwar reichlich auf Erde vorhanden ist, jedoch erst nach einem gewissen Energieeinsatz für andere Verwendungen verfügbar wird. Die Verfügbarkeit von grünem Strom ist für die Produktion von grünem Wasserstoff ausschlaggebend, wenn man daran festhält, dass die Emissionen von CO₂ die Ursache für den Klimawandel sind. Alles andere ist lediglich Augenwischerei.

Wir sollen verstehen, dass der CO₂-Gehalt in der Luft einerseits nur ein wichtiger Indikator und zweitens eine Bilanz-Zahl ist. Diese Bilanz ergibt sich aus dem was emittiert und aus dem was zurückgehalten oder ausgeschieden wird. Dann wird es klar, dass hinter jede Massnahme zur Reduktion des CO₂-Ausstosses ein von mir so genanntes «graues CO₂» steckt.

Es sind die CO₂-Emissionen, die mit allen Aktivitäten zur Herstellung der Anlage – Abbau der Rohstoff, ihrer Aufarbeitung, Fabrikation der Teile, Montage, Wartung, , Wiederverwertung oder Entsorgung, etc. – verbunden sind. Ganz besonders ist der Transport zu erwähnen. Jede Transportaktivität ist grundsätzlich nicht nachhaltig und gibt jedem Produkt, gleich wie grün es ist, einen grauen Stich. Dieser wird mit der zunehmenden Entfernung stärker.

Auch im grauen CO₂ zu berücksichtigen ist der mit allen diesen Aktivitäten verbundene Verlust an CO₂-Aufnahmefähigkeit vom Boden oder Gewässer infolge von Schädigung oder Verschmutzung.

Dann können und dürfen wir andere Wasserstoff-Farben verwenden.

Verschiedentlich habe ich darauf verwiesen, dass Lösungen auf Grund der ungesicherten Versorgung mit grünem Wasserstoff nicht weiterverfolgt wurden. Dahinter scheint eine Mengenproblematik versteckt zu sein. Wie gross ist sie, zumindest schätzungsweise? Vielleicht versteckt sich da die Ursache für das langsame Vorwärtskommen versteckt?

Wir haben auch gesehen, dass Erdgas und Erdöl wie auch Kohle auch Rohstofflieferanten sind. Geht man von ihnen weg, dann müssen wir diese Rohstoffe ersetzen. Was das mengenmässig bedeutet, ist kaum im heutigen Informationsfluss enthalten. Da ist eine Grobeinschätzung bitter nötig.

Damit wir zu einer besseren Abschätzung kommen können, brauchen wir verschiedene Zahlen, die in den folgenden Abschnitten gezeigt werden.

4.2 Wieviel Strom braucht es für die Wasserstoffherzeugung

Eine kleine Recherche auf dem Elektrolysemarkt zeigt, dass heute im Durchschnitt 4.5 bis 6.3 kWh für die Erzeugung von 1 Nm³ (Norm-Kubikmeter) Wasserstoff nötig seien. Die Spanne ist durch die unterschiedlichen Bedingungen der verschiedenen Verfahren und durch die Grösse der Anlagen gegeben. Für unsere Abschätzungen werden wir den Wert von 5 kWh pro Nm³ als Basis nehmen.

Ich höre schon die entrüsteten Stimmen der Spezialisten auf diesem Gebiet, die mir sagen, dass grosse Fortschritte in Sachen Wirkungsgrad noch zu erwarten sind. Das ist richtig und für mich ganz in Ordnung. Ich kann nur entgegenhalten, dass solche Fortschritte nur die vorderen Ziffern einer Zahl beeinflussen, nicht aber die Anzahl der Nuller dahinter.

Für eine Umrechnung des Energiebedarfs auf das Gewicht bezogen, muss man noch wissen, dass das Gewicht von 1 Nm³ Wasserstoff 0.0899 kg ist. Somit sind 55.62 kWh notwendig für die Produktion von 1 kg Wasserstoff.

4.3 Wieviel Wasserstoff braucht eine Brennstoffzelle für die Stromerzeugung?

Wir haben gesehen, dass in vielen Anwendungen der Wasserstoff als Energieträger für die Stromerzeugung verwendet wird. In den meisten Fällen erfolgt das über eine Brennstoffzelle.

Auch hier gibt es eine grosse Spanne für die Effizienz der Anlage. Diese ist ein Ergebnis der unterschiedlichen Randbedingungen der verschiedenen Verfahren und der Grösse der Anlagen. Der obige Kommentar zum noch vorhandenen Verbesserungspotential gilt auch hier. Wir zielen auf die Abschätzung der Grössenordnung und nicht auf eine genaue Bestimmung hin.

Die Spanne für den elektrischen Wirkungsgrad geht von 35...40 bis 60...70 %. Diese Werte scheinen in der Regel die Wirkungsgrade der Zellen zu sein. Die Werte des Aggregats dürfen klar tiefer liegen. Die Literatur gibt dafür einen Wert von 50% als gut. Den werden wir nehmen.

Da wir vor allem wissen wollen, wieviel Strom aus einem Kilogramm Wasserstoff produziert werden kann, brauchen wir zu wissen, auf welcher Referenz – Heizwert oder Brennwert – diese Wirkungsgrade gerechnet wurden. Da fehlt auf grosser Breite eine klare Angabe. Am

wahrscheinlichsten wurde der Heizwert genommen. Dieser ist für den Wasserstoff mit 33.3 kWh/kg oder 3.0 kWh/Nm³ oder noch 120 MJ/kg.

Zum Vergleich ist der Brennwert vom Wasserstoff 39.4 kWh/kg

Für die Produktion von 1 kWh Strom brauchen wir somit eine Energiemenge am Eingang der Brennstoffzelle von $1/0.5 = 2$ kWh in Form von Wasserstoff, d. H. 0.06 kg Wasserstoff.

4.4 Wieviel Wasser braucht es für die Produktion vom Wasserstoff?

Für die Produktion von Wasserstoff aus anderen Quellen als die fossilen Energieträger ist Wasser für die Elektrolyse notwendig. Allerdings, muss dieses Wasser auch eine gewisse Qualität oder Reinheit haben. Die Trinkwasser-Qualität kann man heute als die unterste Stufe benennen. Gewisse Elektrolyse-Verfahren erfordern eine bessere Qualität, um höhere Wirkungsgrade erreichen zu können.

Es ist somit von Bedeutung zu wissen, wieviel Wasser überhaupt notwendig ist. Diese Bestimmung machen wir mit Hilfe des Atomgewichts beider Wasser-Bestandteile. Das Atomgewicht vom Wasserstoff ist 1,00784 und das vom Sauerstoff 15.999. Somit ist das Molekulargewicht vom Wasser, bestehend aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Sauerstoffatome, 18.01468.

Aus diesen Werten kann man ableiten, dass der Wasserstoffanteil 11.19 % des Wassergewichts entspricht. Man benötigt also $1/11.19 \% = 8.937$ kg Wasser um 1 kg Wasserstoff zu produzieren.

4.5 Wieviel Wasserstoff braucht es als Ersatz für die fossilen Energieträger?

Der Wasserstoff soll als Ersatz für die fossilen Energieträger und Stofflieferanten, d. H. Kohle aller Arten, Erdgas und Erdöl fungieren. Da er nicht einfach in der Natur aufkommt und auf erneuerbarer Art abgeschöpft werden kann, muss er aus Wasser produziert werden. Das ist grundsätzlich nur mit einem gewissen Energieaufwand möglich. Heute ist das übliche Verfahren dafür die Elektrolyse.

Somit ist es wichtig zu wissen, mit welchen Mengen an Wasserstoff man global oder im Einzelfall rechnen muss. So ist es dann auch möglich den entsprechenden Energiebedarf, d. H. den Strombedarf abzuschätzen.

Wenn es um Anwendungen im reinen Energiebereich geht, dann bedient man sich entweder des Brennwertes oder des Heizwertes. Im Kraftbereich wird öfter der Brennwert verwendet und im Wärmebereich den Heizwert. Ihre Verwendung ist eher eine Frage der Vereinbarung und, da die Werte unterschiedlich sind, sollte klar ersichtlich sein, welcher Wert gilt.

Schaut man aber in den gängigen Unterlagen, ganz besonders in den Statistiken auch die hochhoffiziellen, ist wenig davon zu sehen. Auch vom unterschiedlichen Wert der Energie, d. H. ihr Potenzial in anderen Energieformen umgewandelt zu werden, ist nichts zu finden. Dort bleibt ein Kilowatt ein Kilowatt, egal ob es Strom oder lauwarmes Wasser ist. Mit dem ersten kann man leicht lauwarmes Wasser mit einem guten Wirkungsgrad produzieren, das Umgekehrte ist nicht so einfach. Allerdings, die Einteilung nach Art der Verwendung gibt einen indirekten Hinweis darüber.

Für unseren Vergleiche werden wir den Heizwert für Wärmeanwendungen und für die Brennstoffzellen nehmen. Für die Kraftanwendungen – Antriebe, Kraftwerke, etc. – nehmen wir den Brennwert. Die folgenden Tabellen geben die Heizwerte und Brennwerte von ein paar typischen Brenn- und Treibstoffen an.

Stoff	Wasserstoff	Methan	Methanol	Steinkohle	Heizöl/Diesel
Heizwert (MJ/kg)	120	50	19.9	25 – 32.7	43

Tabelle 1: Heizwerte

Stoff	Wasserstoff	Methan	Methanol	Kerosin	Benzin	Diesel
Brennwert (MJ/kg)	143	55.5	22.7	43	47	45.4

Tabelle 2: Brennwerte

Es ist zu beachten, dass einige Produkte wie Kerosin, Diesel oder Kohle Mischungen von verschiedenen Produkten sind. Somit können unterschiedlichen Werte im konkreten Fall vorliegen. Die hier aufgeführten Werte entsprechen den häufig begebenen Angaben.

4.6 Wieviel Wasserstoff braucht es als für die Bildung eines Stoffs?

Dort wo der Wasserstoff ist Stofflieferant für die Bildung neuer Stoffe, erfolgt die Bestimmung der erforderlichen Menge über das Atom- bzw. das Molekulargewicht in ähnlicher Weise wie im Kapitel 4.2 beschrieben.

Diese Methode kann für die Mengenabschätzung jegliches Stoffs, der in dem neuen Molekül vorkommt, angewendet werden.

Zuerst wird das Molekulargewicht des Endmoleküls ermittelt. Dann das Gesamtgewicht der Wasserstoffatome. So können wir ihren Anteil am Molekulargewicht ausrechnen und das entsprechende Wasserstoffgewicht pro Kilogramm des Endprodukts.

Wohl verstanden, es geht hier nur um den Wasserstoff, der für den Aufbau des Moleküls benötigt wird. Der Energiebedarf für die Zurverfügungstellung der anderen Stoffe, die Synthese und die Produktion ist hier nicht enthalten.

5. Um welche Ersatzmengen geht es? – Ein paar Beispiele

Für viele, wird unsere Zukunft vom Energieträger Wasserstoff gekennzeichnet sein. Wir wollen jetzt sehen, was das bedeuten würde. Als Basis wurden die offiziellen Zahlen des schweizerischen Bundesamts für Energie (BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2024) genommen.

5.1 Nicht erneuerbarer Stromverbrauch ersetzen

Schauen wir zuerst den Strom an. In 2024 haben wir 57512 GWh verbraucht. Davon wurden 22983 GWh von Kernkraftwerken, 1433 GWh von thermischen Kraftwerken mit nicht erneuerbaren Energiequellen und 7204 GWh aus verschiedenen erneuerbaren Energiequellen produziert. Der Rest stammte von Wasserkraftwerken.

Demzufolge wären noch 24416 GWh aus nicht erneuerbaren Quellen produziert. Wir können aber davon ausgehen, dass die übrigen erneuerbaren Quellen noch ein Ausbaupotenzial haben und ihre Produktion etwa verdoppeln können. So, wären noch 17000 GWh Strom mit Hilfe vom Wasserstoff zu liefern.

Wir haben gesehen, dass 0.06 kg Wasserstoff für die Produktion von 1 kWh Strom notwendig sind. Für diese 17000 GWh Strom zu produzieren sind somit $17'000'000'000 \text{ kWh} \times 0.06 \text{ kg} = 1'020'000'000 \text{ kg}$ oder 1'020'000 Tonnen Wasserstoff notwendig.

Da Wasserstoff nicht einfach so vorhanden ist, sondern mit Strom über die Elektrolyse produziert werden muss, sind dafür $1'020'000'000 \text{ kg} \times 55.62 \text{ kWh/kg} = 56'732'400'000 \text{ kWh}$ grünem Strom zur Verfügung zu stellen.

5.2 Winterstromlücke abdecken

Da haben wir zuerst das Problem diese Lücke zu quantifizieren. Einerseits, weil die Zukunft vorausszusehen, immer ein unsicheres Unterfangen ist und, andererseits, diese Zahl politisch sehr belastet ist.

Aus den «Energieperspektiven 2050+ - Exkurs Winterstrom (2021) vom BFE kann der Stromimportüberschuss im Winter ein Mass dafür sein. Daraus kann man festhalten, dass es für eine sichere Versorgung vernünftig in diesen Jahren war, mit einer Unterproduktion von einheimischem Strom in der Höhe von 6 TWh zu rechnen.

Da inzwischen das Kernkraftwerk Mühleberg abgeschaltet wurde und der Stromverbrauch zugenommen hat, dürfte diese Unterversorgung mit einheimischem Strom auch höher sei. Die manchmal postulierte Zahl von 10 TWh dürfte nicht ganz falsch sein, aber erst in ein paar Jahren. Um einen direkten Vergleich mit den aktuellen Verbrauchszahlen zu ermöglichen, beziffern wir diese Lücke heute mit 7 TWh.

Da haben wir zwei Möglichkeiten. Die erste ist den Wasserstoff zu lagern und in Winter zu verbrauchen. Der entsprechende Strombedarf lässt sich wie vorher ermitteln. Mit einem 3-Satz kommen wir einfach zur entsprechenden Zahl: $7/17 = x/56.732$. Die erforderliche Strommenge ist dann $x = 23.360 \text{ TWh}$.

Die andere Möglichkeit ist die Speicherung der Energie in einem anderen Stoff wie Methan oder Methanol. Diese Lösung hat zwar energetische Nachteile, hat aber in Sachen Transport, Lagerung, Verteilung und Handhabung grosse Vorteile.

Die Bereitstellung von 7 TWh Strom im Winter mit Hilfe vom Methan über Brennstoffzellen verlangt einen Energieeintrag von $7 \text{ TWh} \times 1/0.5 = 14 \text{ TWh}$ Energie. Diese über Methan mit einem

Heizwert von 13.89 kWh/kg zur Verfügung zu stellen, entspricht der Bereitstellung von 1'007'919 Tonnen Methan.

Die chemische Formel des Methans ist CH₄. Damit ist sein Molekulargewicht 1 x 12.011 plus 4 x 1.00784 = 16.0424. Das Gewicht des Wasserstoff-Anteils ist somit: 25.13 %. Es braucht somit für die Herstellung von 1 kg Methan 0.2513 kg Wasserstoff. Für die Bereitstellung von 1'007'919'000 kg Methan müssen somit 253'290'040 kg Wasserstoff produziert werden. Deren Produktion benötigt dann 253'290'040 kg x 55.62 kWh/kg = 14'087'992'000 kWh oder 14.087 TWh.

Dabei ist der Energiebedarf für die Bereitstellung vom Kohlenstoff und für die Synthese nicht berücksichtigt.

5.3 Dieseltreibstoff ersetzen

Um dem Ziel der Klima-Neutralität oder Dekarbonisierung zu erreichen, wären die 2'455'000 Tonnen an verbrauchtes Dieselöl im Jahr zu ersetzen. Eine ähnliche Prozedur wäre für die 2'050'000 Tonnen Benzin oder die 1'799'000 Tonnen Flugtreibstoffe zu befolgen.

Auch hier stehen prinzipiell die gleichen zwei Möglichkeiten wie für die Abdeckung der Winterlücke zur Verfügung. Der direkte Ersatz über einen mit Wasserstoff betriebenen Antrieb oder der Ersatz über einen Zwischentreibstoff, der mit der heutigen Technologie kompatibel ist, zum Beispiel Methan.

Der Einfachheit halber nehmen wir an, dass die Umsetzungswirkungsgrade bei den Antrieben zwar nicht identisch, jedoch denjenigen von Dieselantrieben sehr ähnlich sind. Es geht schliesslich um die Grössenordnung. Wir können somit den Mengenbedarf an Wasserstoff und Methan über die Heiz- bzw. Brennwerte ermitteln.

Um 2'455'000 Tonnen an Dieselöl mit dem Heizwert von 11.94 kWh/kg durch Wasserstoff zu ersetzen, braucht es 880'261 Tonnen Wasserstoff. Die Produktion dieses Wasserstoffes benötigt dann 880'261'000 x 55.62 = 48'960'117'300 kWh oder 48.96 TWh

Für die Berechnung des direkten Ersatzes dieser Dieselöl-Menge durch Methan in den Motoren muss man die Brennwerte nehmen. Der Ersatz von 2'455'000 Tonnen Dieselöl mit einem Brennwert von 12.61 kWh/kg durch Methan mit einem Brennwert von 15.42 kWh/kg erfordert die Bereitstellung von 2'007'623 Tonnen Methan.

Wie wir oben gesehen haben, braucht es für die Bildung von 1 kg Methan, 0.2513 kg Wasserstoff. Für die Herstellung der erforderlichen Methan-Menge von 2'007'623 Tonnen braucht es somit 507'928.7 Tonnen an Wasserstoff. Die Produktion dieser Wasserstoffmenge benötigt dann: 28'250'993'000 kWh oder 28.25 TWh.

5.4 Wasserstoff für die Bildung von vielen Stoffen

Wie schon erwähnt, Erdöl, Erdgas oder Kohle sind auch Lieferanten von Rohstoffen für die Industrie, vor allem die Chemie. Vor allem Erdöl besteht aus einer Mischung vieler Komponenten.

Durch geeignete Verfahren, werden diese Komponenten getrennt und als Produkt oder Grundmaterialien für die Bildung neuer Verbindungen verwendet.

Will man auf Erdöl verzichten, muss man dann entweder auf diese so gelieferten chemischen Verbindungen verzichten oder neue Synthese-Verfahren entwickeln und die Grundmaterialien wie Wasserstoff und Kohlenstoff bereitstellen. Wasserstoff und Sauerstoff könnten durch die Elektrolyse zur Verfügung gestellt werden.

Was das bedeutet, können wir an der Hand eines zwar in unserer Gesellschaft sehr bekannten für die Chemie jedoch nicht mal so wichtigen Produkts abschätzen, das PET.

In der EU werden im Jahr ca. 5 Mio. Tonnen PET produziert. Seine chemische Grundformel ist: $C_{10}H_8O_4$ und hat ein Molekulargewicht von 192.17. Die acht Wasserstoffatome bilden somit 4.19% des Molekulargewichts. Somit sind für die besagte Produktion von 5 Mio. Tonnen, 209'500 Tonnen Wasserstoff bereitzustellen. Die Produktion dieser Menge über die Elektrolyse würde etwa 11.65 TWh verbrauchen.

Der Sauerstoff könnte aus der Wasser-Elektrolyse kommen. Die Energie für die Bereitstellung vom Kohlenstoff – Trennung vom CO_2 aus der Luft, Aufspaltung des CO_2 – und für das Synthese-Verfahren kämen noch dazu.

Wir können solche Überlegungen praktisch für jedes Produkt durchführen.

6. Schlussfolgerungen

Die Zahlen aus diesen Beispielen zeigen eigentlich wo der Kern der Problematik liegt. Es ist nicht eine Frage der Technologien oder der Wirkungsgrade bzw. der Effizienz. Es ist ein Mengenproblem. Es ist auch ein soziales und gesellschaftliches Problem. Wohlverstanden, dieses Problem ist nicht nur schweizerisch. Es ist das Problem von praktisch jedem Land, nur mit unterschiedlicher Stärke.

Der Ersatz von knapp 30% unseres Stromverbrauchs mit «grünem Wasserstoff» bedingt den zusätzlichen Einsatz von praktisch unserem jährlichen Stromverbrauch. Das gibt ein Mass für unsere Übernutzung unserer natürlichen Ressource.

Die sogenannte Winterstromlücke ergibt sich aus der Differenz zwischen der Produktionskapazität und dem Stromverbrauch. Heute ist diese Differenz in erster Linie durch den höheren Konsum im Winter gegeben. Zu einem viel geringeren Teil ist sie auch durch die saisonbedingt kleinere Produktionskapazität verursacht. Diese Lücke über den Energieträger Wasserstoff auszugleichen erfordert etwa 40 % des heutigen Konsums als zusätzliche Produktion von grünem Strom.

Wie erwähnt, soll diese zusätzliche Produktion mit erneuerbaren Energien stattfinden. Dadurch wird der saisonale Unterschied klar grösser. Demzufolge könnte der zusätzlichen Strombedarf für die saisonale Verschiebung durchaus in der Grössenordnung des heutigen Verbrauchs liegen. Ist das auch nicht ein Zeichen, dass wir uns einen natürlicheren Lebensrhythmus wieder aneignen sollten?

Wir haben uns bis jetzt nur über den Stromverbrauch Gedanken gemacht. Wie sieht es mit dem Güter- und Personen-Transport aus?

Kaum besser. Für den Ersatz vom Diesel brauchen wir eine zusätzliche Strommenge zur Erzeugung des notwendigen Wasserstoffs, die etwa die Hälfte des heutigen Gesamtverbrauch beträgt. Dann haben wir noch das Benzin und die Flugtreibstoffe, beide in etwa die gleiche Grössenordnung. Dazu noch, in ähnlicher Grösse, die Heizölmenge für die Wärmeproduktion. Das heisst, dafür braucht es zweimal den heutigen Stromverbrauch dazu.

Somit, wenn wir unseren Energiebedarf «grün» abdecken wollen, bräuchten wir über den Daumen gepeilt, eine zusätzliche «grüne» Stromproduktionskapazität, welche die rund 200 TWh für die Produktion des erforderlichen Wasserstoffs benötigt wird. Einige Leute haben diese Lücke, zumindest zum Teil erkannt und haben versucht, sie mit Alternativversorgungen zu füllen. Daher die vielen Wasserstoff-Farben.

Für eine Dekarbonisierung der Wirtschaft müsste auch Wasserstoff produziert werden, um die Stoffe und Materialien produzieren zu können, die nicht mehr aus dem Erdöl gewonnen werden sollen. Der Energiebedarf, nur für die Bereitstellung des dafür notwendigen Wasserstoffes, liegt bei den meisten Produkten ebenfalls im TWh-Bereich. Notabene: 1 TWh (Terawattstunde) = 1'000'000'000 kWh.

Womit soll dieser riesige Energiebedarf abgedeckt werden? Welche Energiequellen können angezapft werden? Wo sind sie?

Es genügt nicht zu sagen: es ist machbar. Auch gewaltige versprochene Effizienzverbesserungen bleiben nur Randerscheinungen. Alles bleibt im Terawatt-Bereich.

Manche denken die Lösung wäre bei neuen Kernkraftwerken zu finden. Es ist richtig, dass sie das Problem entschärfen könnten, da sie einerseits den Bedarf an Ersatzstrom verkleinern und helfen könnten den Zusatzbedarf abdecken zu können. Das Ausmass des Problems ist allerdings so gross, dass die Anzahl an solchen Kraftwerken andere Ressourcen überstrapazieren würden.

Für andere, sollte man riesigen Stromproduktionsanlagen in sonnenreichen Gebieten aufstellen und den Strom zur nächstgelegenen Küste transportieren, wo riesigen Wasserstoff-Produktionsanlagen aufgestellt werden. Von dort aus, könnte der Wasserstoff zu uns transportiert werden.

Aber wieso? Wäre es nicht sinnvoller, dort wo Strom und Wasserstoff zusammenfliessen, auch die energiehungrigen Industrieanlagen aufzustellen? Zum Beispiel Stahlwerke, Chemiewerke oder die Aluminium-Produktion. So würden auch die Transportwege kurz und somit auch der graue Stich in der grünen Produktion klein gehalten.

Die meisten heutigen Industrieanlagen müssten so oder so für eine Wasserstoff-Wirtschaft stark umgebaut oder sogar neu gebaut werden. Wieso nicht gerade dort? Das würde aber die ganze Wertschöpfungsstruktur wie auch die internationale Machtstruktur verändern und verschieben.

Es sieht wirklich so aus, dass der grüne Wasserstoff kaum der zukünftige globale Energieträger sein wird. Lokale Anwendungen sind aber durchaus möglich und sinnvoll. Das zeigen die verschiedenen

Projekte, realisiert oder in der Planung, auf Inseln, wo Wind und Sonne herrschen und der Bedarf nur von den lokalen Bewohnern und einer kleinen Gewerbe- und Handwerker-Wirtschaft gegeben ist.

Für eine solche Wirtschaft braucht es kein Wasserstoff-Netz in den Ausmassen des heutigen Gasnetzes. Es scheint, dass viele es geahnt, wenn nicht gewusst hatten. Die gezeigte Zurückhaltung hat bislang riesige Fehlinvestitionen verhindert.

Wäre es nicht sinnvoller die fossilen Energieträger nicht als Übeltäter zu betrachten, sondern als wertvolle Helfer wertzuschätzen und zu respektieren? Oder unser Konsumverhalten zu überdenken? Oder bessere Glücksfaktoren als das materielle Übermass zu suchen? Und auch einzusehen, dass die Zeiten der (zu) billigen Energie vorbei sind?

7. Zusammenfassung

Wir haben gesehen, dass die Problematik der Anwendung des Wasserstoffes für die Deckung unseres Energiebedarfs und für die Dekarbonisierung der Wirtschaft nicht primär technisch oder technologisch ist.

Wir wissen wie wir Wasserstoff produzieren können. Wir wissen auch wie wir ihn transportieren und lagern können. Ebenfalls können wir ihn zu Wärme und Strom zur Deckung unserer Energiebedürfnisse transformieren. Die Technologien zu seiner Transformation in anderen Stoffen des täglichen und des industriellen Gebrauchs als Ersatz für die fossilen Träger sind bereits entwickelt, auf dem Weg dazu oder müssen noch erfunden werden.

Sicher gibt es noch grosse Verbesserungspotenziale. Diese sind für die Wirtschaftlichkeit der Anwendungen von Bedeutung. Sie lösen das Grundproblem aber nicht.

Das Problem liegt auch nicht in möglicherweise beschränkten Anwendungsmöglichkeiten des Wasserstoffs. Im Gegenteil, sie sind sehr vielfältig und, tendenziell, verstärken sie die Problematik.

Nein, das Grundproblem ist einfach eine Frage der Menge. Die Bedarfsmenge an Wasserstoff ist einfach riesig. Wir bräuchten ihn als Ersatz für die fossilen und nuklearen Energievektoren, welche nicht durch lokal erzeugtem «grünen» Strom ersetzt werden können. Wir brauchen ihn auch zur Deckung der sogenannten Winterstromlücke sowie für den Transport von Gütern und Personen.

Das ist allerdings nur die Spitze des Eisbergs. Die fossilen Vektoren sind nicht nur Energievektoren, sondern und vielleicht vor allem Rohstoff-Lieferanten. Will man im Rahmen der Dekarbonisierung der Wirtschaft auf sie verzichten, so müssen neben dem Wasserstoff auch Sauerstoff und Kohlenstoff als Rohstoffe zur Verfügung gestellt werden. Für die meisten Politikern, Politologen, Wirtschaftsleuten, Ökonomen und viele anderen heisst die einfache Milchmädchenrechnung: kein Problem, Wasser gibt es genügend und auf einem Streich kriegen wir den Wasserstoff zusammen mit dem Sauerstoff und den Kohlenstoff ziehen wir aus der Luft raus. Dort gibt es auch zu viel davon.

So können wir theoretisch die Treibstoffe, die Heizstoffe und die Kunststoffwaren, die wir brauchen, produzieren.

Der Hacken bei dieser Betrachtung ist, dass alle diese Prozesse sehr, verlangen sehr viel Energie, meistens in der Form von Strom und zwar, in erster Linie als «grüner» Strom. Die für die Schweiz errechneten Zahlen geben eine Vorstellung von der Grösse der erwarteten Mengen. Sie sind nicht gerade für einen weltweiten Einsatz ermutigend.

So, brauchen wir in der Schweiz zur Abdeckung unseres Strombedarfs ohne fossile und nukleare Vektoren etwa 1,5-mal unseres gesamten Jahresverbrauchs. Rechnet man dazu den Strombedarf für die Produktion des für die Herstellung von Brenn- und Treibstoffen für den Transport mit, so braucht es nochmals 2-mal den jährlichen Verbrauch. Dieser war im Jahr 2024 in der Höhe von 57.5 TWh.

Die Stromproduktion des Wasserstoffs für die Herstellung von relativ einfachen Kunststoffen wie PET zum Beispiel, liegt ebenfalls im Bereich der TWh. Die Situation ist in anderen Ländern nicht viel besser, obwohl die Randbedingungen anders sind. Das Grundproblem ist das gleiche.

Eine weltweite Wasserstoff-Wirtschaft wie viele davon träumen, könnte nur mit dem Bau von riesigen Solar- oder Wind-Anlagen dort wo auch viel sauberes Wasser vorhanden ist, entstehen. Solche Lokalitäten sind dennoch kaum auf der Welt zu finden, zumindest nicht dort, wo Industriezentren vorhanden sind. Dann kann man sich wohl fragen, ob das alte Kolonialmodell noch seinen Sinn hat oder ob man an solchen Stätten neu die energiehungrige Industrie aufstellen sollte. Bei der Umstellung auf den Wasserstoff müssten wohl die meisten Anlagen neugebaut oder zumindest tiefgreifend umgebaut werden.

Somit ist wohl eine solche Wirtschaft kaum zu realisieren. Das will jedoch nicht sagen, dass der Wasserstoff überhaupt keine Rolle in der Zukunft spielen wird, im Gegenteil. Bei Inselösungen, das heisst sowohl Inseln im Meer wie abgelegenen Orten oder Regionen mit vornehmlichem Haushalt-, Gewerbe- und Handwerker-Energieverbrauch, dürfte er in der engeren Wahl für eine stabile, lokale Energieversorgung liegen. Ein globales Rohrnetzwerk für den Wasserstoff ist kaum die Lösung.

Die errechneten Zahlen zeigen auch auf, wie stark unsere Wirtschaft aufgeblasen ist. Die Begriffe «erneuerbaren Energien» und «Dekarbonisierung der Wirtschaft» könnten diese Blase zum Platzen bringen. Welche Ersatzmöglichkeiten haben wir zur Verfügung? Müssen wir uns neue Wirtschafts- und Industriemodelle ausdenken.

Ich hoffe, ich konnte mit diesem Beitrag etwas Klarheit und ein besseres Verständnis der Materie bringen. Dadurch wäre der Weg zu realistischeren Optionen, welche frei von Dogmen und politischen Zwängen sind, offen.

Ihr Jean-Pierre Rickli

Im September 2025

Lassen Sie Ihre Freunde und Bekannten an diesem Newsletter teilnehmen. Einfach weiterleiten oder besser anmelden lassen!

Frühere Ausgaben des JPR-Focus finden Sie im News/Archiv unserer Webseite oder direkt mit <http://www.jpr.ch/newsarchiv.cfm>

JPR Concepts & Innovation

J.-P. Rickli

Coaching - Wissensmanagement - Innovation - Energie

Höchstrasse 47

8610 Uster

Tel.: +41 (0) 44 9404642

E-Mail: jprickli@JPR.ch

Ab- oder Anmeldung: einfach über die Webseite www.jpr.ch oder per E-Mail an jprickli@JPR.ch