

Skizze der Einleitung und Ausrichtung eines Wasserstoff-Buches¹

Das Zeitalter billig und reichlich verfügbarer Kohlenwasserstoffe, also Erdgas und Erdöl geht mit Sicherheit zu Ende.

Diese Erkenntnis prägt seit fast drei Jahrzehnten die Energiediskussionen und die Energiepolitik. Die Suche nach preiswertem und umweltfreundlichem Ersatz dieser Energiequellen betrifft zunächst ihre Rolle im Primärenergieaufkommen, zu dem Wasserstoff nichts beitragen kann. Umweltfreundlichkeit umfasst dabei nicht nur die Vermeidung gesundheitlich schädlicher Emissionen und möglicher Katastrophenrisiken, sondern auch die Wirkung auf das Klima. Deshalb sind Kohle und Uran keine unproblematischen Alternativen in den **Primärenergiebilanzen**. Die Sonne und andere erneuerbare Energien sind demgegenüber zwar umweltfreundlich, sie sind aber keineswegs preisgünstig, sondern bedürfen erheblicher staatlicher Unterstützung, über deren Dauer keine Klarheit besteht.

Öl und Erdgas sind aber zugleich – bis auf Reinigungs- und Raffinationsschritte – jene Nutzenergieformen, sog. **Sekundärenergieträger**, die uns warme Gebäude und bequeme Mobilität ermöglichen, als Heizöl, Benzin, Diesel, Autogas und Kerosin bzw. als Erdgas in unserer Heizung; zunehmend dürfte Erdgas auch im Verkehr Einsatz finden, nachdem es bereits fast 1000 Erdgastankstellen in Deutschland und viele darüber hinaus in anderen Ländern gibt.

Wer Öl und später auch Erdgas ersetzen will, muss also auch nach Lösungen für den drohenden Engpass an Kraftstoffen suchen sowie die Heizung der Gebäude auf neue Weise sicher stellen. Da helfen Kohle und Uran nur indirekt, weil sie erst in Kraftwerken eingesetzt werden müssen, um Strom für Industrie und Haushalte zu liefern; immerhin können diese Kraftwerk in Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden und dann auch Fernwärme bereit stellen. Ob allerdings solche Kraftwerke unter den Bedingungen konsequenten Klimaschutzes und rigoroser Vermeidung nuklearer Risiken noch akzeptable Kosten aufweisen werden, ist nicht sicher prognostizierbar. Immerhin erfordert ein **klimaverträglicher Kohleinsatz** in Zukunft die Abtrennung des bei der Verbrennung unvermeidlich entstehenden CO₂ und dessen sichere Verwahrung in – wahrscheinlich – tiefen geologischen Formationen („Sequestration“).

Unter welchen Bedingungen Kernenergie in Deutschland oder in anderen Ländern überhaupt weiter genutzt werden wird, ist ebenfalls unklar. Einige Länder versuchen ihre Energie- und Klimaschutzprobleme mittels Kernenergie zu mildern, andere wollen diese Option nicht nutzen oder wie Deutschland deren Nutzung beenden. Und die gewiss umweltfreundlichere und klimaneutrale Kernfusion steht technisch noch lange nicht zur Verfügung – ja, es muss sogar als ungewiss, wenn auch nicht unmöglich gelten, ob es je gelingt, Fusionsreaktoren zu akzeptablen technisch-wirtschaftlichen Bedingungen errichten und betreiben zu können; energiewirtschaftliche Bedeutung kann die Fusion jedoch nicht vor der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts erreichen.

¹ Das von einem Verlag vorgeschlagene Buch-Projekt wurde aufgegeben, da kurz zuvor J.J. Romm ein ähnliches Buch veröffentlicht hat („Der Wasserstoff-Boom“, Wiley-VCH-Verlag, 2006)

Erneuerbare Energien können wie bereits bemerkt im Primärenergieaufkommen eine bedeutende Rolle übernehmen, wenn ihre Kosten akzeptiert werden – natürlich erst recht, wenn die optimistischen Kostensenkungsprognosen Realität werden. Wind- und Wasserkraft sind allerdings keine unmittelbaren Sekundärenergieträger; ihre mechanische Energie wird durch Turbinen und elektrische Generatoren in elektrischen Strom umgewandelt. Die Sonne trägt unmittelbar nur zur Wärmeversorgung bei, am besten, wenn die Gebäudearchitektur die solare Einstrahlung intelligent nutzt, oder Kollektoren warmes Wasser liefern. Biomasse kann ebenfalls zur Wärmebereitstellung genutzt werden – in Biogasanlagen zu erdgas-äquivalentem Biogas veredelt oder als Holzhackschnitzel, bzw. Pellet im Kamin verheizt. Auch die Erdwärme wird zu Heizungszwecken genutzt – am besten durch eine elektrische Wärmepumpe zur Anhebung der Temperatur ergänzt. Man sieht also, dass neben den Maßnahmen zur Wärmeenergie-Einsparung z.B. durch Wärmedämmung eine Reihe von erneuerbaren Niedertemperatur-Energiequellen Öl und Erdgas im Heizungsbereich ersetzen kann.

Dagegen ist es sehr viel schwieriger, **Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien** zu gewinnen, wenn man von dem mengenmäßig begrenzten Aufkommen an Pflanzenölen und anderen Biomasse-Derivaten absieht. Die meisten und aufkommensstärksten erneuerbaren Energiequellen sind eben direkte Stromquellen: die Wind- und Wasserkraft, photovoltaische oder solarthermische Kraftwerke sowie auch die ozeanischen Energiequellen, falls sie billig genug erschlossen werden können.

Für eine umfassende nachhaltige Kraftstoffversorgung der Zukunft jenseits von Öl und Erdgas² sind also nur zwei Pfade denkbar

- ein aus Kohle unter Sequestration der Treibhausgase gewonnener Kraftstoff, Wasserstoff oder wasserstoff-reiche Flüssig-Kraftstoffe wie z.B. Fischer-Tropsch-Diesel.
- CO₂-frei gewonnener Strom als Kraftstoff von Batterie-Fahrzeugen oder wiederum als Ausgangsenergie für eine Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse.

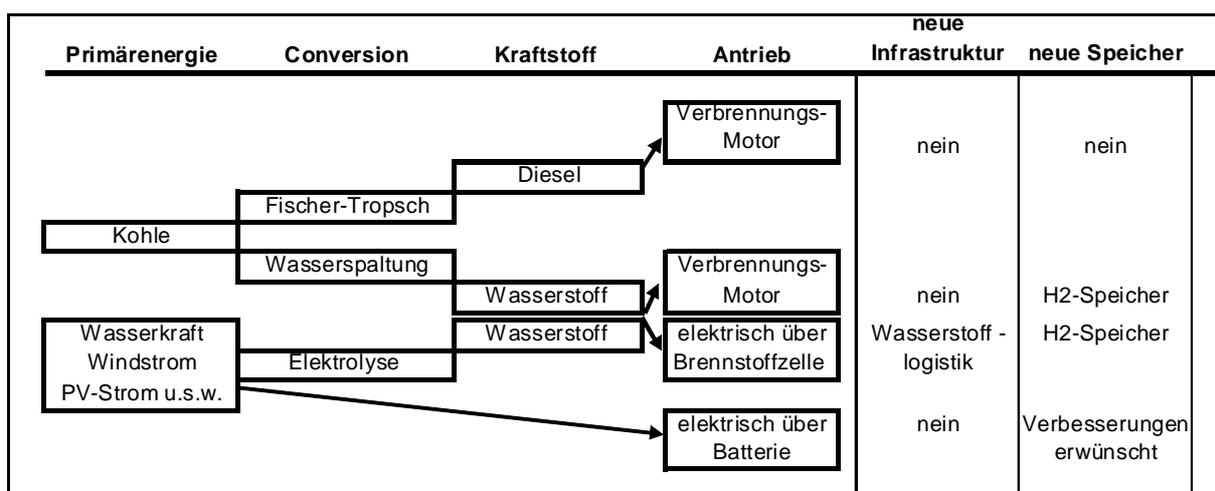


Abbildung: Kraftstoffe jenseits Öl, Erdgas und ohne Biomasse

² Biogas-Einspeisung ins Erdgasnetz kann das Erdgasaufkommen „strecken“ und so indirekt auch dem Kraftstoffmarkt verfügbar gemacht werden.

Dass sich die Forschung auch mit anderen denkbaren Pfaden beschäftigt, etwa der Wasserstoff-Gewinnung auf solar-biologischem Weg oder durch Wasserspaltung in solaren oder nuklearen Hochtemperatur-Prozessen, zeigt, dass auch in diesem Feld noch offene Fragen existieren, von deren Beantwortung es abhängen wird, ob es eines Tages weitere praktikable Pfade geben wird.

Wenn hier nur nachhaltige Energiestrategien diskutiert werden, entspricht dies der gemeinsamen Politik in der Europäischen Union. Solange allerdings die Möglichkeit besteht, dass sich die wesentlichen Wirtschaftsmächte der Erde nicht auf faire Lastenteilung beim notwendigen Klimaschutz einigen, müssen auch Strategien bedacht werden, die weniger konsequent auf Klimaschutz ausgerichtet sind. Dabei wird insbesondere die Kohlenutzung in anderem Licht und zu anderen Kosten zu berücksichtigen sein; sie würde als relativ billiger und gut verfügbarer Rohstoff sowohl im Strombereich wie auch als Basis von Kraftstoffen eine wesentlich größere Rolle spielen – vor allem zulasten teurer erneuerbarer Energien.

Ob Kohle (mit oder ohne Sequestration) zur Wasserstoff-Produktion oder zu anderen flüssigen Kraftstoffen genutzt wird, wird entscheidend von den Entwicklungserfolgen bei der Brennstoffzellentechnik, aber auch von **Fortschritten in der Speichertechnik** abhängen. Sowohl Strom wie auch Wasserstoff sind insbesondere in einem Fahrzeug nur aufwändig zu speichern; dabei hat Wasserstoff einerseits Vorteile beim Speichergewicht, aber andererseits auch Nachteile, insbesondere wegen der energetischen Verluste und Kosten bei der Wasserstofferzeugung und logistischen Bereitstellung. Flüssige Kraftstoffe aus Kohle wie FT-Diesel haben demgegenüber den Vorteil, weder neue Speicher und Motoren noch eine neue Versorgungsinfrastruktur zu benötigen, allerdings sind die Herstellungsverfahren ebenfalls teuer und energetisch verlustreich.

Ob Wasserstoff als Kraftstoff benötigt wird, entscheidet sich natürlich entscheidend an den Gesamtkosten, die ein zukünftiger Kunde für seine PKW-Mobilität zu tragen hat. Diese können sich entscheidend zugunsten eines Wasserstoffsystems erweisen, wenn die laufenden Entwicklungsarbeiten an **Brennstoffzellen** attraktive Kosten und Wirkungsgrade der Stromerzeugung an Bord erbringen. Da diese Aggregate auf Wasserstoff als Kraftstoff angewiesen sind, müsste für sie eine öffentliche Wasserstoffversorgung geschaffen werden; erste Wasserstoff-Tankstellen demonstrieren zur Zeit verschiedene Technologien, um Vergleichsdaten zu gewinnen.

Darüber hinaus darf es als wahrscheinlich gelten, dass jedenfalls die Personenkraftwagen **elektrischen Antrieb** haben werden; die eher offene Frage dürfte sein, woher der Strom an Bord kommt:

- ausschließlich aus der vom Netz geladenen Batterie
- aus einer Brennstoffzelle, die aus einem Wasserstofftank gespeist wird,
- aus einem optimierten Verbrennungsmotor mit Generator (serieller oder paralleler Hybrid).

Welche dieser technologischen Alternativen den Markt der Zukunft beherrschen wird und welche Marktsegmente vielleicht unterschiedliche Technologien nutzen werden, ist aus heutiger Sicht nicht entscheidbar; die Antwort hängt von zu vielen offenen Forschungs- und Kostenfragen ab. Gute prestige-orientierte Marketingstrategien und

staatliche Weichenstellungen können ebenfalls erheblichen Einfluss darauf nehmen, welche Technologie sich zum Marktführer entwickeln wird.

Wasserstoff ist daher eine ernst zu nehmende Option, die auf großes Interesse in Öffentlichkeit, Fachwelt, Industrie und Politik stößt – ja, eigentlich schon seit vielen Jahrzehnten gestoßen ist. Heute wird die Wasserstoffoption insbesondere von jenen Firmen geprägt und auch getragen, die die Brennstoffzellentechnik mit großem Finanzeinsatz vorantreiben und natürlich von einem überzeugenden Erfolg dieser Entwicklung ausgehen. Dem haben sich auch große Unternehmen herkömmlicher Kraftstoffversorgung angeschlossen. Diese Partner arbeiten zusammen mit Forschungsinstituten in einer starken Allianz, die von der EU als „Joint Technology Initiative“ unterstützt wird.

Andererseits mehren sich auch optimistische Stimmen bezüglich besserer **Batterietechnik**, die die Chancen reiner Batterie-Fahrzeuge erhöhen würden; Hybrid-Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, Batterie und Elektroantrieb könnten sich als elegante Übergangstechnologie erweisen. Gefördert wird diese Entwicklung durch die bereits erwähnte Tatsache, dass viele erneuerbare Energien direkte Stromerzeuger sind; eine wesentlich von erneuerbaren Energien geprägte Energiewirtschaft der Zukunft, wenn sie denn käme, würde dem Strompfad Vorteile verschaffen, da eine Umwandlung des Stroms in Wasserstoff mit dem Ziel, diesen im Fahrzeug wieder in Strom zurück zu verwandeln, doch zu verlustreich erscheint.

Nicht vorstellbar ist allerdings das **Fliegen** mit Strom aus Batterien; prinzipiell kommt hier Wasserstoff in Frage, zumal sich die Infrastruktur der Wasserstoffversorgung auf eine überschaubare Zahl von Flughäfen reduzieren ließe. In der Tat gab es bereits in Russland eine mit Wasserstoff fliegende Maschine und andernorts Überlegungen, eine entsprechende Entwicklung aufzunehmen. Es ist aber anzunehmen, dass es immer ein gewisses Aufkommen an Erdöl, bzw. Kerosin geben wird, dessen Einsatz beim Fliegen die größten Vorteile bringen wird.

Auch im **Heizungssektor** bestimmt die Primärenergiebasis der Wasserstofferzeugung die Sinnhaftigkeit denkbarer Anwendungen.

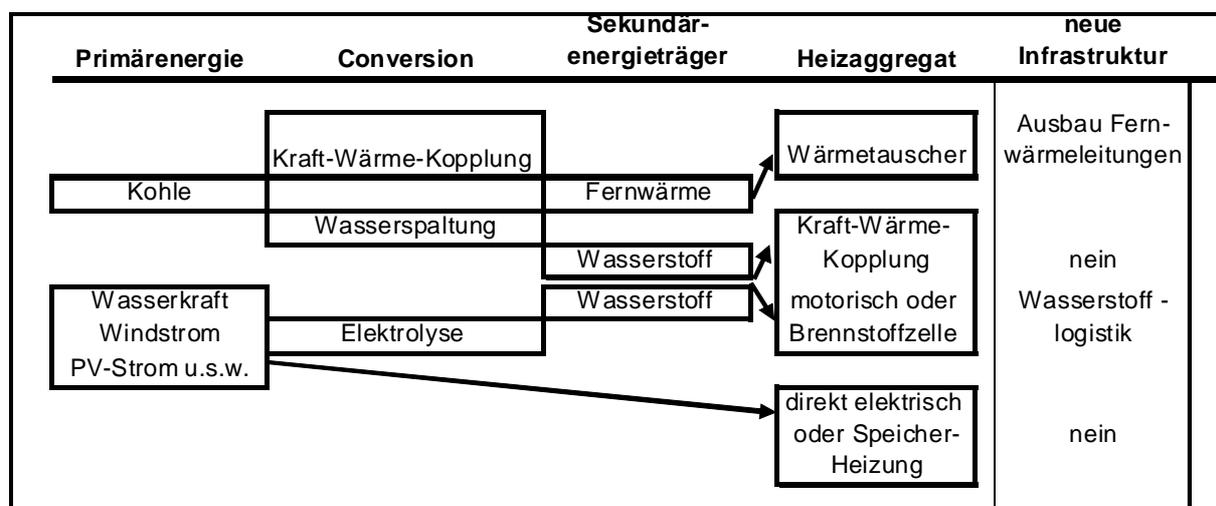


Abbildung: Heizungsenergien jenseits Öl, Erdgas (ohne niedertemperaturige erneuerbare Energien)

Wasserstoff aus Kohle (mit oder ohne Sequestration des CO₂) könnte dezentrale Kraft-Wärme-Kopplungsaggregate, möglicherweise Brennstoffzellen, versorgen und

damit der Kohle einen vielleicht besseren Zugang zum Wärmemarkt eröffnen, als es die „große“ Fernwärme aus Kohle-Kraftwerken wegen der hohen Wärmetransportkosten bieten kann; allerdings könnte auch aus Kohlevergasungsanlagen Fernwärme ausgekoppelt werden. Über die Realisierungschancen dieser Alternativen werden die Kostenentwicklungen bei der Kohle sowie bei vielen technologischen Komponenten und Anlagen entscheiden, die heute nicht sicher auszumachen sind. Sollte sich in der Kraftwerkstechnik die IGCC-Technologie, die der Gas- und Dampfturbine eine Kohlevergasungseinheit vorschaltet, wegen günstigerer Sequestrationskosten durchsetzen, gewänne zugleich die Wasserstoffherzeugung aus Kohle an technischer Reife und Marktchancen, jenen Wärmebedarf zu decken, der jenseits aller Einsparmaßnahmen und der Nutzung von Niedertemperatur-Energiequellen als Restwärmebedarf verbleibt.

Dagegen wären Brennstoffzellen als dezentrale Wärme-Kraftkopplungsaggregate offensichtlich wenig sinnvoll, wenn der benötigte Wasserstoff zuvor aus Strom hergestellt werden müsste; denn dann würde dieser Strom ohne Umwandlungsverluste auch direkt eingesetzt werden können. Wegen der Trägheit von Heizungssystemen mit kleinem Warmwasser-Speicher wären solche Anwendungen sogar hoch erwünscht, um von Sonne und Wind verursachte Netzschwankungen auszugleichen. Verschiedentlich wird auch versucht, Biomassefraktionen in Wasserstoff zu überführen, um den erwarteten höheren Wirkungsgrad von Brennstoffzellen nutzen zu können; es ist allerdings wenig wahrscheinlich, dass die beträchtlichen Umwandlungsverluste und Kosten dieser Biomasseverwertung kompensiert werden können.

Oft wird auch darauf hingewiesen, dass Elektrolyseure Stromverbraucher wären, deren Betrieb sich nach dem momentanen Netzzustand, also insbesondere dem Aufkommen an Wind- und Solarstrom richten könnte. Würde also der PKW-Verkehr Elektrolyse-Wasserstoff als Kraftstoff benötigen, so wäre dies eine elegante Möglichkeit zur **Netzstabilisierung**. Andersherum gilt das Argument aber wohl nicht: für die Netzstabilisierung gibt es eine ganze Reihe von günstigeren Alternativen der Speicherung und vor allem der Verbraucherbeeinflussung; selbst wenn sich Wasserstoff im Stromnetz als Zwischenspeicher als wirtschaftlich vorteilhaft erweisen würde, würde der bei der Elektrolyse miterzeugte Sauerstoff einen Wert darstellen, der die Rückkonversion in Strom, z.B. in Brennstoffzellen, am selben Ort nahe legen würde. Der erzeugte Wasserstoff stünde also nicht für andere Zwecke als der bedarfsgerechten Stromrückspeisung ins Netz zur Verfügung. Zudem wäre auch für die Batterien von Elektro-Fahrzeugen eine entsprechende Ladestrategie möglich.

Nicht das von erneuerbaren Stromquellen beeinflusste Netz braucht den Verkehr als Wasserstoffkunden, sondern der Bedarf muss vom Verkehr her begründet sein – und das kann ja so kommen, wenn nicht das Elektro-Fahrzeug mit Batterie das Rennen macht!