

Wasserstoffwirtschaft

Karl-Heinz Tetzlaff

Kelkheim, Germany; Tel. +4906195 960813; tetzlaff@bio-wasserstoff.de;

www.bio-wasserstoff.de

Kurzfassung: In einer Wasserstoffwirtschaft wird auf allen Ebenen mit Wasserstoff gehandelt und gewirtschaftet. Mit Wasserstoff als Sekundärenergieträger wird Strom, Wärme und Mobilität transportiert. Strom wird erst vom Endverbraucher in Kraft-Wärme-Kopplung hergestellt. In dieser wärmegeführten Energiewirtschaft, die prinzipiell verlustlos ist, kann der Bedarf an Primärenergie um 60%-80% abgesenkt werden. Eine fluktuierende Erzeugung von Strom kann verlustlos und ohne zusätzliche Investitionen absorbiert werden.

Keywords: Wasserstoff, Energiewirtschaft, Stromspeicher, Effizienz, Infrastruktur, Kosten

1 Einleitung

Die derzeitige historisch gewachsene Energiewirtschaft ist auf stets verfügbare fossile Energieträger aufgebaut. Eine wetterabhängige Stromerzeugung ist daher nicht systemkonform. Statt nun zu versuchen, die erneuerbaren Energien mit einem Reparatur-Kit mehr schlecht als recht in das alte System hineinzuzwängen, wird vorgeschlagen, das Gasnetz stärker durch Kraft-Wärmekopplung (KWK) in die Stromerzeugung zu integrieren. Damit lässt sich eine fluktuierende Energieproduktion leichter einbinden. Mit Wasserstoff als Sekundärenergieträger ist eine kostengünstige KWK mit Brennstoffzellen möglich, die nicht auf einen Netzanschluss angewiesen sind. Das Erdgasnetz ist bei sachgerechtem Betrieb ohne Einschränkung auch für Wasserstoff geeignet.

2 Methodik

Der Sekundärenergieträger Wasserstoff lässt sich, wie Strom, aus allen Energieformen herstellen. Industriell erprobt ist die Herstellung aus kohlenstoffhaltigen Energieträgern und Strom. Nachhaltig ist nur die thermochemische Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse und die Elektrolyse von EE-Strom. Der Wasserstoff wird sodann mit dem vorhandenen Rohrnetz zum Endkunden geliefert, der mittels einfacher Brennstoffzellen Strom und Wärme erzeugt. Da etwa die Hälfte des Wasserstoffs zu Strom konvertiert wird, entsteht ein systembedingter Stromüberschuss, der auf der Nutzerseite zu einer wärmegeführten Energiewirtschaft führt, die prinzipiell keine Verluste kennt. Bei diesem Konzept haben Strom und Wärme also den gleichen Preis.

Wasserstoff aus Biomasse kann "just in time" produziert werden. Das ist nicht anders als die Produktion von Strom aus Kohle, die vor dem Kraftwerk auf Halde lag. Gasnetze besitzen überdies Speicher, die einen Totalausfall von Sonne, Wind und Wasser über Wochen und Monate ausgleichen können. Ob der EE-Strom in Form von Wasserstoff oder zur Herstellung von Wärme genutzt wird, ist irrelevant.

3 Technische Beschreibung

Schlüsselement einer Wasserstoffwirtschaft ist die Nutzung von einfachen Membranbrennstoffzellen (PEMFC) als dezentrale KWK-Anlagen. Die PEMFC ist bei Massenproduktion mit ca. 30 €/kW sehr billig und hochdynamisch. Anders als Motor-KWK-Anlagen und Reformer-Brennstoffzellen, sind diese nicht auf ein Stromnetz angewiesen.

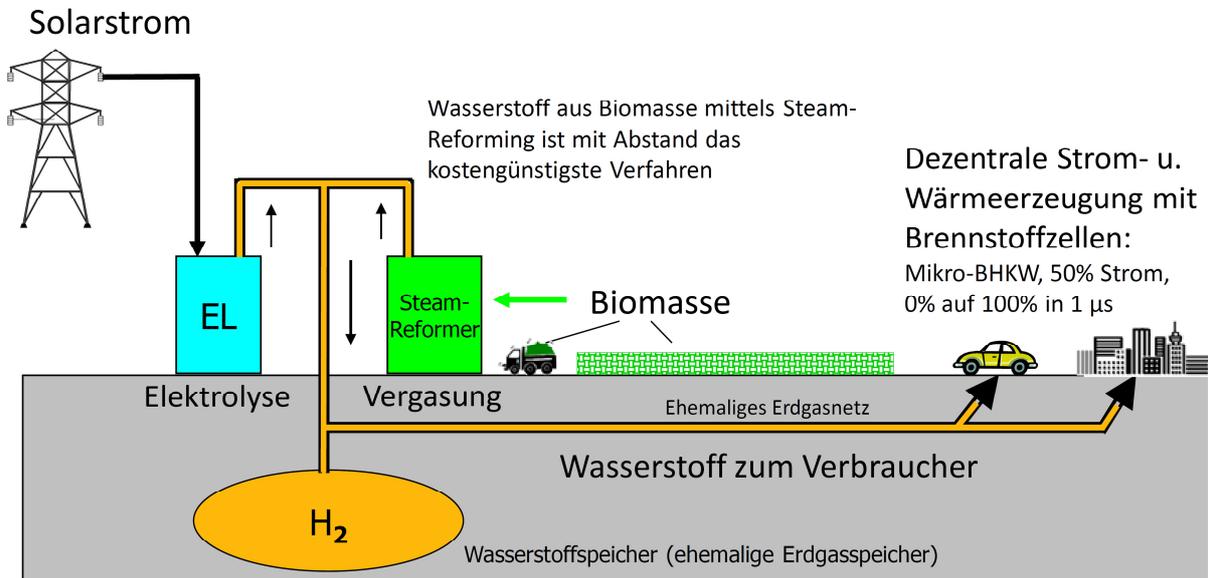


Fig. 1 Nachhaltige Wasserstoffwirtschaft

Tankstellen werden aus dem gleichen Gasnetz versorgt wie Industrie und Haushalte. Für die Gesamteffizienz ist es unerheblich, ob die Autos einen Wasserstofftank oder eine Batterie an Bord haben.

3.1 Herstellung von Wasserstoff

Die Verluste bei der Konvertierung von EE-Strom und Biomasse zu Wasserstoff liegen im einstelligen Prozentbereich. Da diese Verluste als Wärme anfallen, sind sie in einer wärmegeführten Energiewirtschaft kein realer Verlust, denn Wärme ist Mangelware und Strom ist der Abfall, den man wohl überwiegend in Wärme konvertieren wird.

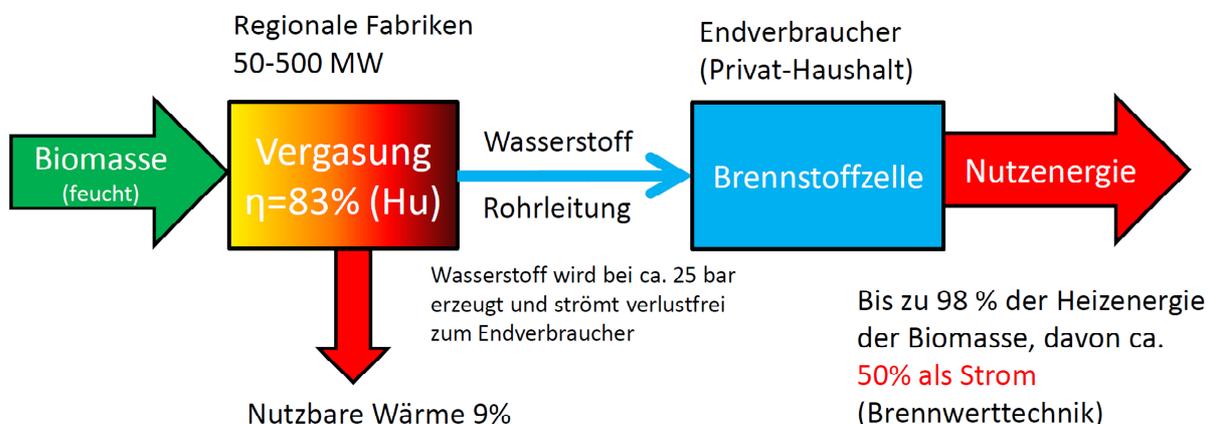


Fig. 2 Energiekette bei der thermochemischen Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse

Bemerkenswert ist, dass die gesamte Nutzenergie größer ist als der Heizwert der eingesetzten Biomasse. Die Aufteilung welcher Anteil an der Fabrik verfügbar sein soll und welcher beim Endkunden, hängt vom Standort und der Höhe der Investition ab. Eine autotherme thermochemische Vergasung lässt sich mit folgender für Holz vereinfachten Formel beschreiben:

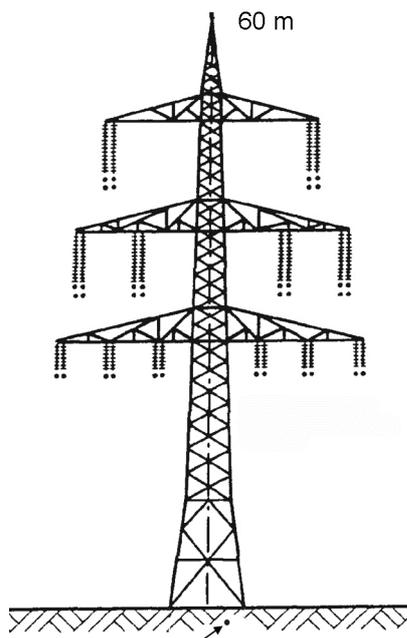


Die Formel lässt erkennen, dass der überwiegende Teil des produzierten Wasserstoffs aus dem Wasser stammt. Die Biomasse muss also nicht so trocken sein, wie beim Einsatz in Kraftwerken.

Derartige Vergasungsanlagen erfordern eine Mindestgröße von ca. 50 MW und einige Jahre für die technische Entwicklung bis zum Serienprodukt.

Die Energiekette für die Elektrolyse ist ähnlich. Es ist aber zu beachten, dass die Energie des Stroms bei der Konvertierung zu Wasserstoff zu ca. 18% als latente Wärme gebunden wird, die erst beim Endverbraucher bei der Kondensation des Wasserdampfes frei wird. Wenn der Elektrolyseur in Deutschland mit einem Wirkungsgrad von 80% angegeben wird, dann wird nur ca. 5% der Energie in Form von Wärme am Elektrolyseur frei und ca. 95% der Energie beim Endkunden.

3.2 Energieverteilung



Dargestellt ist der Transport von je 600 MW über eine Hochspannungsleitung und über ein Rohr. Das Rohr von 0,4 m Durchmesser ist maßstäblich im Sockel des Strommastes gezeichnet (Pfeil). Der Größenunterschied spiegelt sich auch in den Transportkosten wieder. So kostet der Service in Deutschland für eine Kilowattstunde Strom vom Kraftwerk zum Haushalt ca. 11 ct und der Service für eine Kilowattstunde Gas ca. 1 ct. Es ist deshalb ökonomisch günstiger den EE-Strom in Form von Wasserstoff in die Haushalte zu bringen, auch wenn dabei nur die Hälfte wieder verstromt werden kann. Das ist bei einem systembedingten Stromüberschuss aber irrelevant.

Fig. 3 Energieverteilung in Form von Strom und Wasserstoff

So wäre beispielsweise Strom, der für 7 ct/kWh (Wind) hergestellt wurde, für 8,5 ct/kWh im Haushalt verfügbar. Strom und Wärme kosten dann also 8,5 ct/kWh. Die "Verluste" durch den Elektrolyseur sind dabei kleiner als die Verluste beim Stromtransport. Eine Energieversorgung allein über das Rohr ist also im ungünstigsten Fall billiger als eine Energieversorgung über Draht und Rohr.

3.3 Effizienz

Das vorgeschlagene Konzept enthält, anders als eine stromgeführte Energiewirtschaft, keine verlustbehafteten thermodynamischen Maschinen. Durch den systembedingten Stromüberschuss in einem chemischen und elektrochemischen System ist es daher irreführend, über Wirkungsgrade bei der Herstellung von Strom zu sprechen. Angemessen wäre in diesem Fall der Begriff Stromanteil. Natürlich wird ein hoher Stromanteil zur Steigerung der Effizienz genutzt werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die mögliche Situation in Deutschland für 2030 im Vergleich zu 2007, der letzten Erhebung zum Nutzenergiebedarf [1].

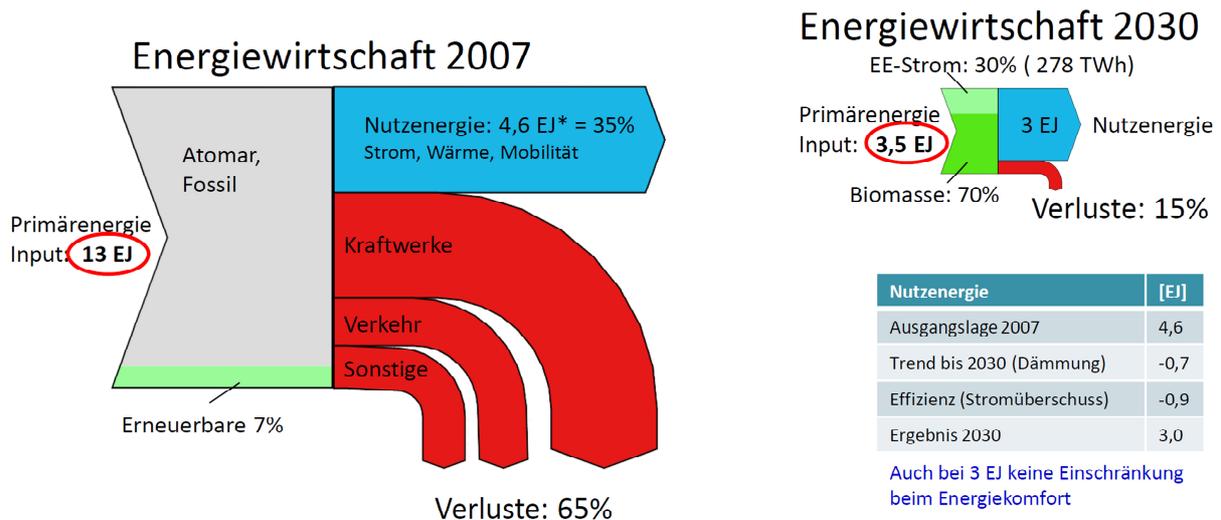


Fig. 2 Effizienz der Energiewirtschaft heute und morgen

Wie die maßstäblich gezeichneten Sankey-Diagramme zeigen, ist der Energie-Input in einer Wasserstoffwirtschaft um den Faktor 4 kleiner. Da die Energiepreise in beiden Fällen etwa gleich groß sind, sinken die Kosten für Energie um mindestens den Faktor 4, zumal kein Stromnetz und kein Wärmenetz benötigt werden.

Hier ist willkürlich unterstellt, dass der Wasserstoff überwiegend aus Biomasse hergestellt wird, weil diese zurzeit die kostengünstigste Quelle für Wasserstoff ist. Da Land und Forst von der Finanzspekulation betroffen ist, ist man gut beraten, auf die Herstellung von Strom aus Sonne, Wind und Wasser nicht zu verzichten. Infolge der hohen Effizienz des Konzeptes ist das Potenzial der Biomasse um den Faktor 4 größer als gewöhnlich.

3.4 Biomassepotenzial

Mit den heute genutzten Technologien kann nicht einmal der Verkehr klimaneutral umgestellt werden, selbst wenn dafür die gesamte Ackerfläche eingesetzt würde. In einer Wasserstoffwirtschaft ergibt sich ein völlig anders Bild. Anders als heute wird nur ein einziger Energieträger, der Wasserstoff, für jede Form der Energienutzung benötigt. Wasserstoff ist, wie Strom, aus allen Formen von Energien herstellbar. Wasserstoff benötigt auch keine spezielle Art von Biomasse, es kommt nur auf den Energiegehalt an.

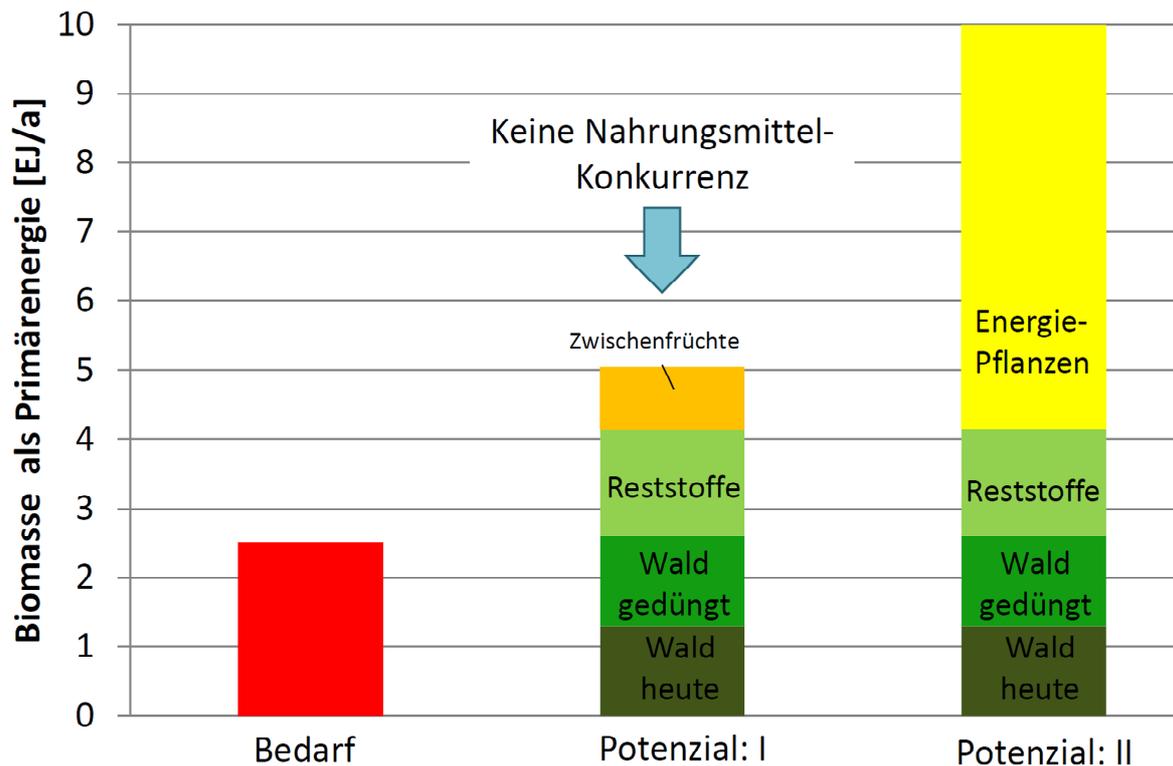


Fig. 3 Biomassepotenzial Deutschland

Wie man sieht, ist das inländische Potenzial für 2030 mehr als doppelt so hoch wie der Bedarf. Potenzial I ist das Potenzial, wenn die Lebensmittelproduktion nicht tangiert werden soll. Als Potenzial wird nur Holz aus dem Wald [2], Reststoffe aus der Landwirtschaft [3] [4] [5] und Zwischenfrüchte [6] vom Acker berücksichtigt. Mit Zwischenfrüchten ist ein grüner Aufwuchs nach der Getreideernte gemeint, der zur Folge hat, dass auch das Getreidestroh genutzt werden kann, weil das zusätzliche Wurzelwerk der Zweitfrucht zur Humusbildung ausreicht. Mit der Walddüngung ist nur die Rückgabe der entnommenen Mineralstoffe in Form von Asche gemeint. Die Düngung ist lediglich die konsequente Vollendung des Nachhaltigkeitsgedankens von Carl von Carlowitz (1713). Heute muss der Wald auf Staub aus der Sahara und den Ackerböden warten. Potenzial II schließt Energiepflanzen mit ein, soweit sie eine Selbstversorgung mit Nahrungsmitteln nicht gefährden. Es kann also festgestellt werden, dass allein das Potenzial der Biomasse ausreicht, um alle atomaren und fossilen Energien zu ersetzen. Das trifft auch auf Europa und die Welt zu, selbst wenn jeder Mensch nach deutschem Energiestandard versorgt werden würde.

3.5 Netzstabilität

Bei EE-Stromanteilen von über 50% im deutschen Stromnetz wird die Stabilisierung des Netzes schwierig. Das hier vorgestellte Konzept kommt zwar langfristig ohne Stromnetz aus. Die Übergangszeit wird bei realistischer Einschätzung aber Jahrzehnte dauern. Schon möglich, dass ein lokales Stromnetz auf Dauer Bestand hat. Mit der nachfolgenden Grafik wird gezeigt, wie das Gasnetz das vorhandene Stromnetz stabilisieren kann.

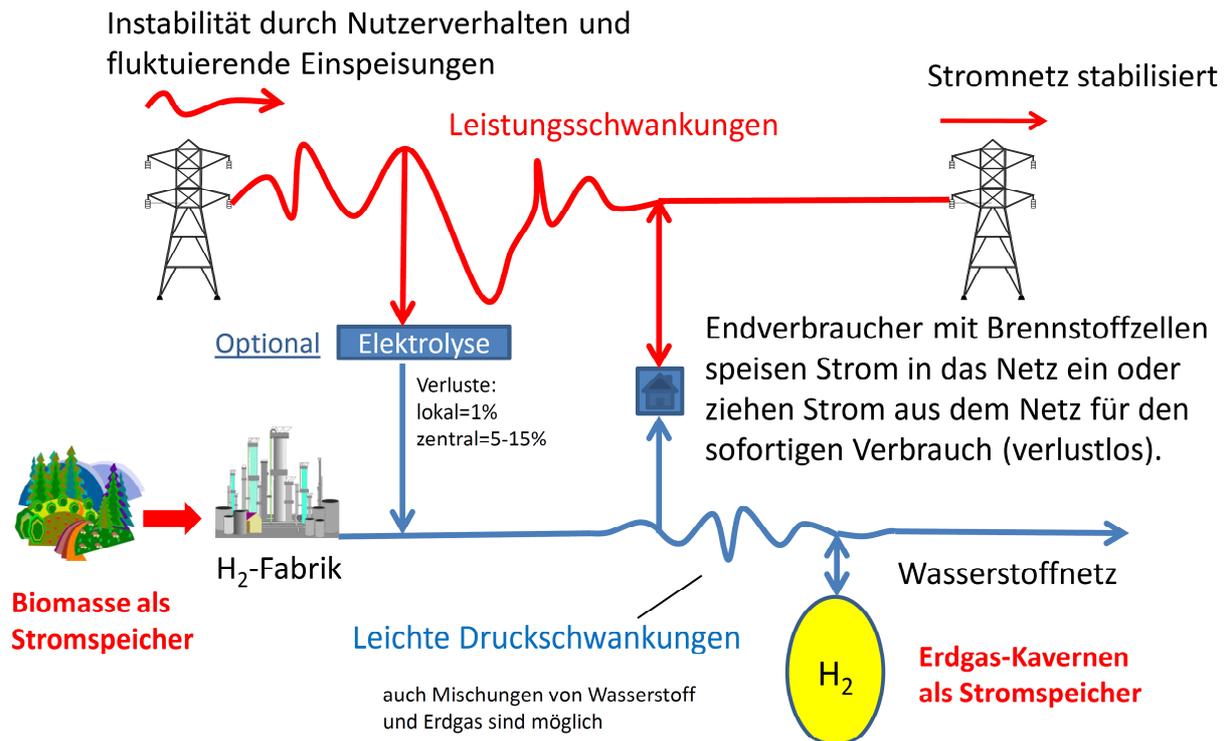


Fig. 4 Stabilisierung des Stromnetzes

Das wichtigste Koppelglied zwischen Stromnetz und Gasnetz sind die Endverbraucher mit Brennstoffzellen. Bei Stromüberschuss wird die Brennstoffzelle abgestellt und Strom aus dem Netz bezogen, auch zum Heizen. Bei Strommangel im Netz wird dagegen bis zum 5-fachen der Nennleistung der Brennstoffzellen Strom in das Netz eingespeist. Da Wasserstoff "just in time" von den Wasserstoff-Fabriken produziert werden kann und außerdem unterirdische Kavernen genutzt werden können, stellt eine erhöhte Stromproduktion kein Problem dar. Das Konzept kommt also ohne nennenswerte zusätzliche Investitionen und ohne nennenswerte Verluste aus. Das unterscheidet dieses Konzept von anderen Vorschlägen. Im Gegensatz zu anderen Vorschlägen, werden auch keine Schattenkraftwerke benötigt.

Auch für das Erdgasnetz kann die Übergangszeit zum reinem Wasserstoff mit einer einfachen Technologie gestaltet werden. Wenn zunächst mit Mischungen von Wasserstoff und Erdgas begonnen wird, setzt man eine einfache Brennstoffzelle (PEMFC) vor den alten Gaskessel, die den Wasserstoffanteil bis auf einen Restgehalt von 5% (50 mbar) verstromt. Das können alle Gaskessel vertragen. Vor sensiblen Einrichtungen (CNG-Tankstellen, Gasturbinen), kann der Wasserstoffgehalt mit dieser Schaltung auf < 0,5% abgesenkt werden.

Eine Wasserstoffwirtschaft ist also schon in der Übergangszeit wie geschaffen, um eine volatile Stromerzeugung zu kompensieren.

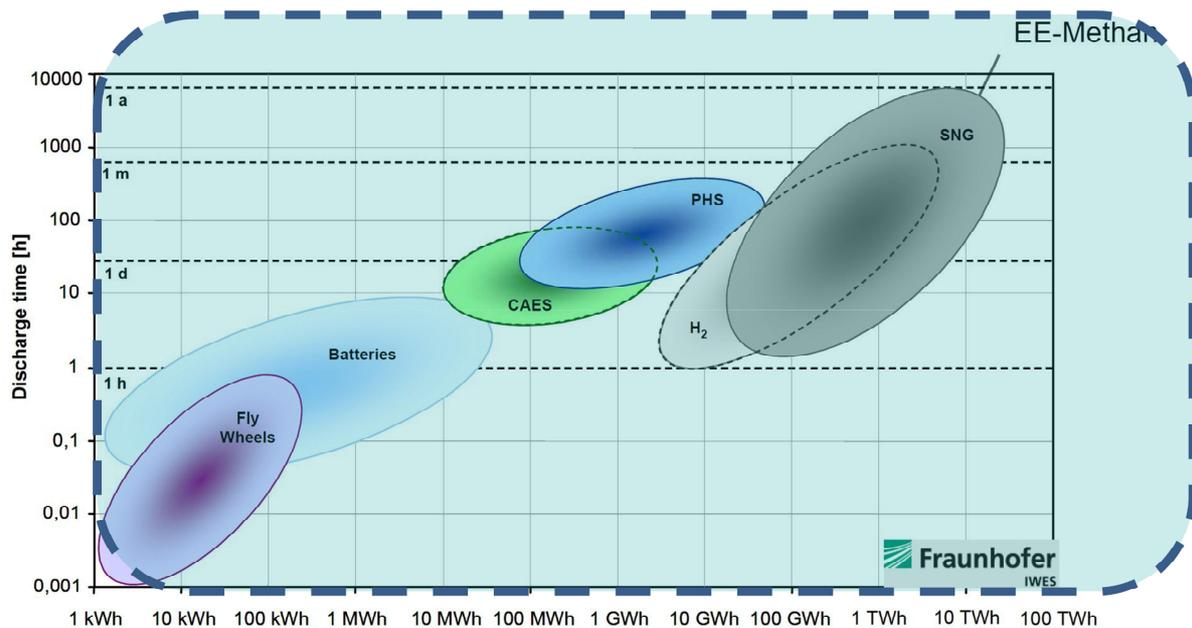


Fig. 5 Umfang der Stromnetzstabilisierung

In Fig. 5 ist eine gestrichelte blaue Linie um die übliche Darstellung (Sterner 2009) von Kapazität und Leistung gezeichnet. Daraus wird sichtbar, dass das vorgestellte Konzept alle Anforderungen zur Stabilisierung des Stromnetzes erfüllen kann:

- Die Stabilisierung erfordert keine Investitionen zur Aufnahme fluktuierender Energien.
- Die Netzstabilisierung ist verlustlos.
- Die Leistung zur Ein- und Ausspeicherung ist mehr als ausreichend.
- Die Kapazität ist nahezu unendlich groß.

Es ist also ein großer Unterschied, ob fluktuierende Energien in die historisch gewachsene Energiewirtschaft hineingezwängt werden oder ein Energiekonzept gewählt wird, das fluktuierende Energien problemlos absorbieren kann.

4 Ergebnisse

Vorgestellt wurde ein nachhaltiges Energiekonzept, bei dem Wasserstoff als Sekundärenergieträger eine maßgebliche Rolle spielt. Weder bei der Herstellung des Wasserstoffs noch bei dessen Nutzung gibt es irgendwelche Emissionen. Die Nutzung ist klimaneutral. Es gibt sogar mehrere Optionen den Treibhauseffekt rückgängig zu machen (CO₂, Biokoks). Wegen der hohen Effizienz und der einfachen Infrastruktur wird Energie im Vergleich zu heute deutlich billiger:

- Strom beim Endkunden: 2-6 ct/kWh.
- PKW-Treibstoffkosten typisch 1 €/ 100 km.
- Wärme beim Endkunden: 2-6 ct/kWh.
- Volatile Stromerzeugung problemlos absorbierbar
- Einfacher Übergang von einer Stromwirtschaft zu einer Wasserstoffwirtschaft. Voller Umwelt- und Klimaschutz.

Mit einer einmaligen Investition von etwa 40 Mrd. €, die voraussichtlich auf 20 Jahre verteilt werden, können in Deutschland mehrere 100 Mrd. €/a als volkswirtschaftlicher Gewinn verbucht werden. Damit werden Klimaschutzverhandlungen überflüssig.

Die kostenlose und verlustlose Stabilisierung des Stromnetzes ist ein willkommener Synergie-Effekt dieser Wasserstoffwirtschaft.

Literatur:

-
- [1] BWK 61,6(2009), jedoch mit Korrektur: Strom=Nutzenergie (4,4 +0,2 = 4,6 EJ)
 - [2] DBFZ Report Nr. 4 (2011); Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zu Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen bei weiteren Ausbau der Biomassenutzung; Seite 109-110
 - [3] DBFZ; Endbericht FZK 03KB021 (2012); Basisinformationen für die nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung; Seite 7
 - [4] Hochschule Bremen und Justus-Liebig-Universität Gießen; Bestandsaufnahme zum biologischen Reststoffpotenzial der deutschen Lebensmittel und Biotechnik-Industrie (2013); Seite 105
 - [5] A. Wagner; Möglichkeiten der Kaskadennutzung von biogenen Abfällen; Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung; Februar 2013 Messe Bremen
 - [6] energie aus pflanzen 6/2013; Seite 64-65