

## **Energie-Effizienz und der Beitrag der Wasserstoffenergiewirtschaft**

### **Ein Aide Mémoire<sup>1</sup>**

**Von  
Carl-Jochen Winter, Überlingen<sup>2</sup>**

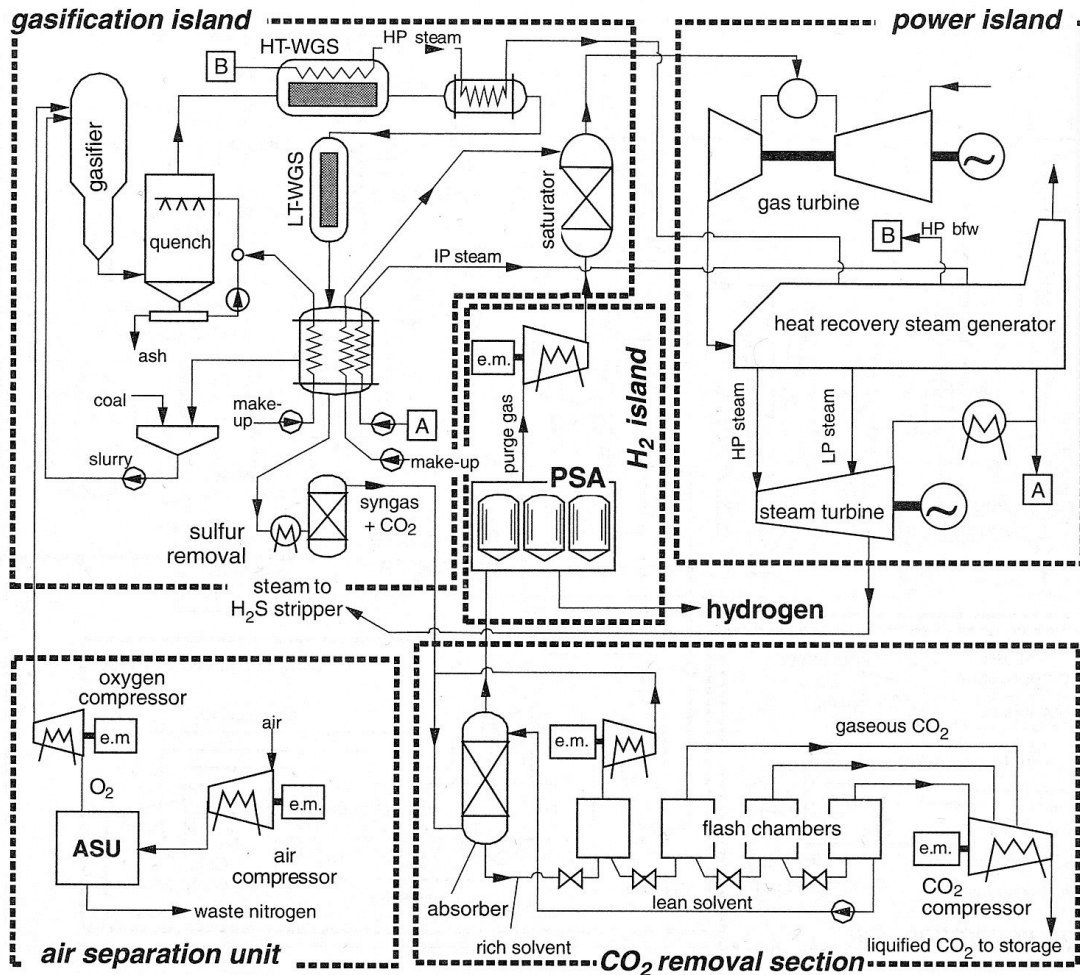
- Höhere Energie-Effizienzen reduzieren den Primärenergiebedarf und mindern umwelt- und klimaökologische Belastungen. Keine der Energieumwandlungen im Durchlauf durch die Energiewandlungsketten ist ausgeschlossen, vom Primärenergierohstoff zur Primärenergie, von ihr zu den Sekundärenergien, weiter zu den Endenergien, Nutzenergien und schließlich zu den Energiedienstleistungen, um derentwillen allein der Durchlauf durch die Energiewandlungsketten geschieht; alle vorgelagerten Umwandlungen haben für sich keine Rechtfertigung, umso höher sollten ihre jeweiligen Effizienzen sein.
- Zur Illustration: Deutschlands nationale Energie-Effizienz ist gut 30%, diejenige der Welt ca. 10%; das Potential für höhere Energie-Effizienz also ist sehr hoch, der Faktor 2 für Deutschland (Bundestags-Enquête „Schutz der Erdatmosphäre“), der Faktor 3 bis 4 für die Welt sind technologisch außer Zweifel; sie bedürfen zu ihrer Umsetzung des politischen Willens und in Marktwirtschaften der Wirtschaftlichkeit.
- Welchen Beitrag liefert die bevorstehende Wasserstoffenergiewirtschaft? – Auch hier: Keines der Glieder der Umwandlungskette ist ausgeschlossen, von der Produktion von Wasserstoff über Speicherung und Transport, schließlich zur Nutzung. Immer wird Energie aufgespalten in Exergie und Anergie: Energie = Exergie + Anergie. Dabei ist Exergie in jede beliebige Energieform umwandelbar, Anergie nicht. Deutschlands Exergie-Effizienz liegt bei ca. 15%, die der Welt ist mit wenigen Prozent kaum angebbbar. Wie zu sehen sein wird, exergetisieren Wasserstoff und seine Technologien das Energiesystem. Die derzeitige Produktion von viel zu viel Wärme zur Nutzung ungeeigneter Temperatur oder an ungeeignetem Ort (etwa Abwärmen thermischer Kraftwerke oder Feuerungswärme in Zentralheizungssystemen) (Anergie) wird reduziert zugunsten von Strom und Wärme geeigneter Temperatur am richtigen Ort (Exergie). – Gehen wir die einzelnen Stationen der Wasserstoffenergieumwandlungskette durch:

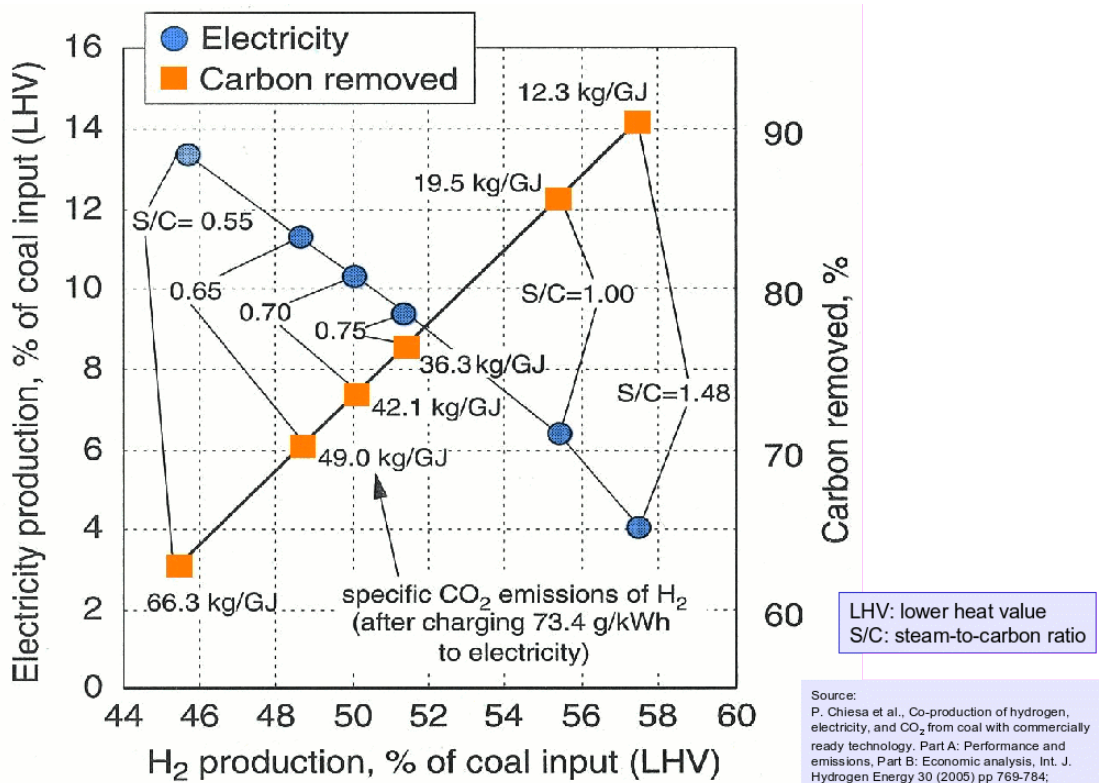
---

<sup>1</sup> Ein Nachtrag zum „Centennial Memorandum on Hydrogen Energy as the Permanent Solution to the Forthcoming Energy/Climate Catastrophy“

<sup>2</sup> Professor Dr.-Ing. C.-J. Winter, Vice President - The International Association for Hydrogen Energy (IAHE), c/o ENERGON Carl-Jochen Winter e.K., Obere St.-Leonhardstr. 9, D-88662 Überlingen, T/F +49 7551 944 5940/1, [cjwinter.ENERGON@t-online.de](mailto:cjwinter.ENERGON@t-online.de), [www.itsHYtime.de](http://www.itsHYtime.de)

- Wasserstoffproduktion:** Derzeit wird Wasserstoff weitaus überwiegend durch die Reformierung von Erdgas sowie in Raffinerien durch die Partielle Oxidation von Ölfraktionen hergestellt; Wasserstoff aus der Wasserelektrolyse tritt sehr zurück, Wasserstoff aus erneuerbarem Strom („solare Wasserstoff“) oder Wasserstoff aus nuklearer Hochtemperaturwärme spielen – noch – keine Rolle. - Wasserstoff aus Kohle hat Geschichte (auch und im besonderen in Deutschland), baut auf die nach wie vor jahrhundertlange Verfügbarkeit von Kohle auf allen Kontinenten der Erde und ist hocheffizient herstellbar.





Die Bilder beschreiben ein typisches Verfahren bestehend aus Luftzerlegung, Kohlevergasung, Kohlenstoffabstreifung und simultaner Strom- und Wasserstoffproduktion; alle zugehörigen Technologien sind auf dem Markt verfügbar. Das Ergebnis (beispielhaft): Bei 90% Kohlenstoffabstreifung werden 58% des Energieinhalts der Kohle (LHV unterer Heizwert) in Wasserstoff und 4% in Strom umgewandelt, zusammen als liegen 62% des Energieinhalts der Kohle in Wasserstoff und Strom vor - ein überzeugendes Ergebnis! Selbstverständlich schließt sich die klimaunschädliche Endlagerung des abgestreiften Kohlenstoffs an.

- Speicherung und Transport von Wasserstoff vollzieht sich zeitlich gestaffelt: In der ersten Staffel werden große Mengen Wasserstoff der Nutzung zugeführt, die heute abgefackelt werden (etwa in der Chloralkalielektrolyse, der Großchemie u. a., allein in Deutschland ca. 950 Mm<sup>3</sup>/a (Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband 2003)). Die zweite Staffel adaptiert Wasserstoff an die erprobte Erdgasinfrastruktur, etwa 10 bis 15% Wasserstoff werden huckepack in Erdgasleitungen mittransportiert und gespeichert, ohne dass wesentliche technische Änderungen nötig werden. Die dritte Staffel schließlich baut die Speicherung und den Transport von gasförmigem und verflüssigtem Wasserstoff aus, die über die Zeit gewachsen sind und heute weltweit etwa 50 Millionen Tonnen Wasserstoff p.a. speichern und transportieren: Als Hochdruckwasserstoffgas in Stahlflaschen oder Rohrleitungen, als Flüssigwasserstoff in Cryokontainern an Land und auf See. Die Verflüssigung von Wasserstoff nach dem gängigen Claudeprozess ist zu ergänzen durch das potentiell mit höherer Effizienz ablaufende magnetokalorische Verflüssigungsverfahren.
- Die höchsten Exergieeffizienzgewinne bietet die Wasserstoffnutzung in den beiden Endenergiebereichen Hausenergie sowie Transport und Verkehr, die allein in Deutschland zwei Drittel der Endenergienachfrage auf sich ziehen: Die gängigen Erdgas oder Leichtöl versorgten Boiler in den 15 Millionen Zentralheizungen des Landes haben exzellente Energie-Effizienzen, weil sie nahezu 100% des Energieinhalts des Brennstoffs in Wärme umwandeln. Ihre Exergie-Effizienz aber ist

miserable, es ist exergithermodynamisch schlicht absurd, 1.000 Grad Feuerungstemperatur zu erzeugen, um 70 Grad Vorlauf­temperatur für die Radiatoren der Räume bereitzustellen. Ersetzt durch eine Wasserstoff versorgte (aus Erdgasreformierung oder reiner Wasserstoff) Niedertemperaturbrennstoffzelle wird mit ca. 35% des Energieinhalts des Wasserstoffs zunächst Strom erzeugt (= reine Exergie), und die Restwärme reicht über große Teile des Jahres bei weitem, um das Haus zu heizen. Ein Gedankenexperiment zeigt, dass 15 Millionen Brennstoffzellen in den deutschen Hausheizungen à, sagen wir, 5 Kilowatt elektrischer Leistung sich aufsummieren auf eine Anschlussleistung von 75.000 MW<sub>e</sub>, die der bestehenden Über­landleistung von derzeit ca. 100.000 MW<sub>e</sub> nahe kommen; es entsteht begrüßenswerter Wettbewerb zwischen dem Anfang der Energiewandlungskette, wo die Großkraftwerke arbeiten, und ihrem Ende mit Millionen kleinteiligen höchst effizienten Wasserstoff versorgten Brennstoffzellen als Energiewandler. - Der andere Endenergiebereich, Transport und Verkehr, zeigt eine ähnliches Bild: Nur etwa 25% (in äußerst effizienten Fällen 30%) des Energieinhalts des Kraftstoffs werden in Vortrieb (Exergie) umgewandelt, der große Rest ist ungenutzte Wärme, die über den Abgasstrom oder das Kühlwasser den Energiewandler Automobil verlässt; eigentlich sind Automobile rollende Heizöfen, die auch Transport von A nach B gewährleisten. Das würde sich ändern, wenn die Automobile zu Wasserstoffautomobilen würden, die mit höchst­effizienten Wasserstoffmotoren oder mit Brennstoffzellen betrieben würden; unter Einbezug der zahlreichen Hilfsantriebe einschließlich des äußerst ineffizienten elektrischen Generators sind Exergiewirkungsgrade von 50% nicht illusionär.

- Das Fazit: Energie-Effizienz­kampagnen in allen nur möglichen Stationen der Energiewandlungskette einer Volkswirtschaft sind nötig, wichtig und unerlässlich; außer Zweifel gibt es riesige abzu­arbeitende Potentiale, wie die nach 200 Jahren Energiegeschichte erreichten nationalen Exergiewirkungsgrade (Deutschland 30%) und die der Welt (10%) zeigen.

Aber: Eigentlich geht es um die Anhebung der bisherigen bescheidenen Exergiewirkungsgrade einer jeden Nation/der Welt. Denn (beispielhaft), die überzeugenden Verbesserungen von Kraftwerkswirkungsgraden oder Industrie­feuerungen sind eine Sache, die Einführung von Exergetisierungsschritten, wie an den Hausheizungen und den Automobilen gezeigt, eine andere - und wichtigere. Und die geht eben nur über die bevorstehende Wasserstoffenergie­wirtschaft samt ihrer inhärenten Technologien wie der Brennstoffzelle oder des Wasserstoff-optimierten Verbrennungsmotors. Die aufkommende Energie/Klimakatastrophe verlangt die Einführung der Wasserstoffenergie­wirtschaft, es führt kein Weg an ihr vorbei.