Herstellung von Wasserstoff – Elektrolyse

Ausgangssituation

Wasserstoff gilt derzeit als Hoffnungsträger für die Zeit ausgehender fossiler Primärenergien. Wasserstoff ist keine Primärenergie; er muss unter Nutzung von Primärenergie hergestellt werden. Über 90% des Wasserstoffs wird heute über Steamreforming erzeugt, der eingesetzte Primärenergieträger ist meist Erdgas. Die Wasserelektrolyse ist eine zweite ausgereifte Herstellungstechnologie, hat aber nur untergeordnete Bedeutung für die Wasserstofferzeugung. Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse sind noch im Entwicklungsstadium; sie beruhen auf der (hydrothermalen) Vergasung.

Photo(bio)katalyse könnte in fernerer Zukunft Wasserstoff direkt aus Wasser erzeugen. Allerdings steckt das Thema noch im Stadium der Grundlagenforschung. Die Ansätze gelten als aussichtsreich, haben für die vorliegende Betrachtung aber keine Bedeutung. Auch „klassische“ (solar-)thermische Verfahren zur mehrstufigen Wasserspaltung (z.B. thermochemical Cycling über eine Prozesssequenz mit I_2 und SO_2) sind nach wie vor in der Diskussion, haben aber immer noch keine technische Reife erreicht.

Das Potenzial für Wasserstoff hängt aus Sicht der gängigen Szenarien nicht nur von der Entwicklung regenerativer Erzeugungstechnologien sondern auch von der erfolgreichen Einführung der Brennstoffzellentechnologie ab - insbesondere im Auto. Dieses Konzept wird allgemein unter dem Begriff Wasserstoffwirtschaft (Hydrogen Economy) diskutiert. Auch in Zusammenhang mit der Bereitstellung von Biokraftstoffen ist über die Rolle des Wasserstoffs zu diskutieren (siehe hierzu Kapitel Biokraftstoffe der 2. Generation).

Für eine Bewertung der Wasserelektrolyse ist essentiell:

- Die Entwicklung des Stromverbrauchs
- Die Entwicklung des Kraftstoffverbrauchs
- Die effiziente Verknüpfung beider Bereiche über Wasserstoff

Randbedingungen gemäß verschiedener Energieszenarien

Einige Kernaussagen wichtiger Szenarien (IEA, OECD, EREC/Greenpeace, WBCSD, WBGU) sind wie folgt zusammengefasst:

- Stetiger Anstieg des globalen Energieverbrauchs mit überproportionalem Anteil der Entwicklungs- und Schwellenländer (bis 2030 fast eine Verdopplung ohne Effizienzmaßnahmen)
- Überproportionale Zunahme des Energiebedarfs des Verkehrs bis 2030 und darüber hinaus
- Überproportionale Zunahme des Stromverbrauchs bis 2030 und darüber hinaus
- In den kommenden 2 bis 3 Dekaden muss die Effizienzverbesserung vorhandener Technologien im Vordergrund stehen

- Erdgas bleibt ein wichtiger Energieträger (Bedeutung zunehmend)
- Die Nutzung regenerativer Energien muss rasch ausgebaut werden.

Verkehr und Stromerzeugung als dynamische Primärenergieverbraucher sind die wesentlichen Treiber des Energiesektors. Sie konkurrieren verstärkt um Ressourcen (Gas, Biomasse), sie haben aber auch enorm hohe, bis heute ungenutzte Effizienzpotenziale. Der hohe Anstieg des „konventionellen“ Strombedarfs erschwert die Auskopplung von Strom für den Verkehrsbereich, niedrige Wirkungsgrade bei dieser Auskopplung sind untragbar. Die Konversion von elektrischer Energie zu Wasserstoff durch Einsatz der Wasserelektrolyse und dessen Nutzung in Brennstoffzellen könnte helfen, Effizienzverluste zu vermeiden.

Quantitative Potenzialabschätzung: Wasserelektrolyse in einer Wasserstoffwirtschaft

Die Abschätzung vergleicht die Energieausbeuten verschiedener Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff und verschiedener Verfahren zur Nutzung von Wasserstoff, außerdem ist die stationäre Speicherung von Strom (Batterien, Pumpspeicherkraftwerke) aufgeführt.

Annahmen:

Wirkungsgrad Erdgaskraftwerk	0,57
Effizienz Transport (0,95) und Speicherung (0,85) für Strom (Erzeuger zu Verbraucher)	0,80
Wirkungsgrad Elektrolyse mit konstantem Stromangebot *	0,65
Wirkungsgrad Elektrolyse mit fluktuierendem Stromangebot *	0,50
Wirkungsgrad für die H_2-Erzeugung aus Erdgas über Steamreforming	0,70
Wirkungsgrad für die PEM-Brennstoffzelle	0,50
Wirkungsgrad für die Speicherung von H_2 in Hydridspeichern	0,80

* Aufgrund der unstetigen Erzeugung von Strom aus Windkraft bzw. über Photovoltaik können die Elektrolysezellen nicht kontinuierlich am optimalen Betriebspunkt gefahren werden

Gesamtwirkungsgrade verschiedener Nutzungsketten:

Erzeugung/Speicherung/Transport/Nutzung: Strom regenerativ - Wasserstoff - Strom beim Verbraucher	0,2
Erzeugung/Speicherung/Transport/Nutzung: Erdgas - Strom beim Verbraucher	0,5
Ergas (Primärenergieträger) - Strom - Elektrolyse - Wasserstoff	0,4
Strom regenerativ (Primärenergieträger) - Elektrolyse - Wasserstoff	0,5

Literatur:

- Wirkungsgrade für die Wasserstofferzeugung und Wirkungsgrad der (PEM)-Brennstoffzelle: M. Baerns et al. Technische Chemie, Wiley VCH, Weinheim 2006, S. 422, 423

Fazit:

- Die Wasserelektrolyse ist deutlich weniger energieeffizient als das Steamreforming.
- Wasserstoff für die Brennstoffzelle sollte aus Effizienzgründen regenerativ erzeugt werden.
- Die Kette: Strom → Wasserstoff → Strom ist besonders ineffizient (1 MJ Strom → 0,5 MJ Wasserstoff → 0,2 MJ Strom beim Verbraucher). Damit sind Konzepte mit Wasserelektrolysen als Komponenten eines Stromspeichersystems nicht sinnvoll. Sie stellen nur eine ultima ratio dar, wenn sich die Speicherung für fluktuierende Stromproduktion über Batterietechnologien nicht in den benötigten Dimensionen realisieren lässt. Dann besteht FuE-Bedarf bei:
  - Elektrodenmaterialien
  - Druckelektrolyse
  - Hochdruckelektrolyse
  - Hohe Effizienz bei nicht stationären Betriebsbedingungen