

Wasserstoff als Energieträger

Wasserstoffherstellung

Wasserstoff wird heutzutage meist aus Erdgas durch Dampfreformierung, $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 4\text{H}_2$, oder mittels Koks (Kohle) $\text{C} + 2\text{H}_2\text{O} + 170 \text{ KJ/mol} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2$ gewonnen. Solcher Wasserstoff kostet aufgrund der Anlagekosten und der Prozessverluste etwa ein 3-faches der Ausgangsenergie.

Aktuell ist das Ziel aus (öko)religiösen Gründen den Strom umweltschädlicher Windmühlen und Solaranlagen zur Wasserstoffherstellung zu nutzen. Die Subventions-/Vergütungssätze von Wind- und Solarstrom liegen bei einem Vielfachen der Kosten von Erdgas, oder Koks. Wind und Sonne liefern Energie entsprechend der Launen des Wetters, der Tages- und Jahreszeit. Dadurch werden Elektrolyseanlagen schlecht und ungleichmässig ausgelastet, müssen jedoch dauerhaft beheizt und betrieben werden. Wasserstoff aus Windmühlen und Solaranlagen ist ein Vielfaches teurer als Wasserstoff aus Erdgas, oder die Energieträger Benzin, Diesel, oder Erdgas, s. unten. Ausführlicher wird dies im Artikel

https://holgernarrog.hpage.com/get_file.php?id=33573427&vnr=654007

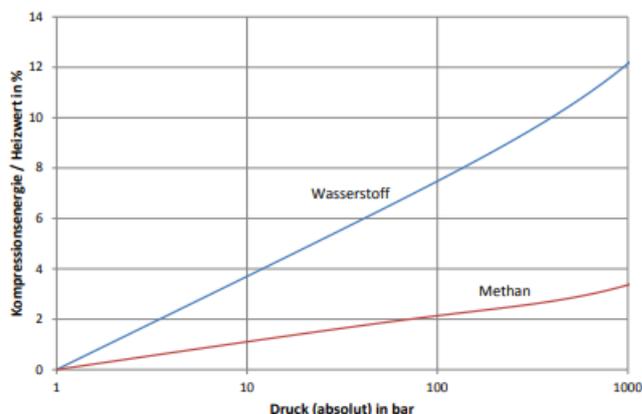
Artikel **Vision und Realität „Erneuerbarer Energien“**.

diskutiert.

Handhabung von Wasserstoff

Wasserstoff hat eine 8-fach niedrigere Dichte als Erdgas und bedarf grösserer Leitungen, Ventile, Verdichter und Speicher als bei Erdgas. Alternativ kann auch der Leitungs-, bzw. Speicherdruck höher gewählt werden was wiederum, s.u., höhere Energieverluste bedeutet.

Der Energieverlust beim Pumpen und Verdichten ist etwa 3 x höher als bei Erdgas. Aufgrund des höheren Volumens bauen Pumpen und Verdichter grösser und sind teurer.



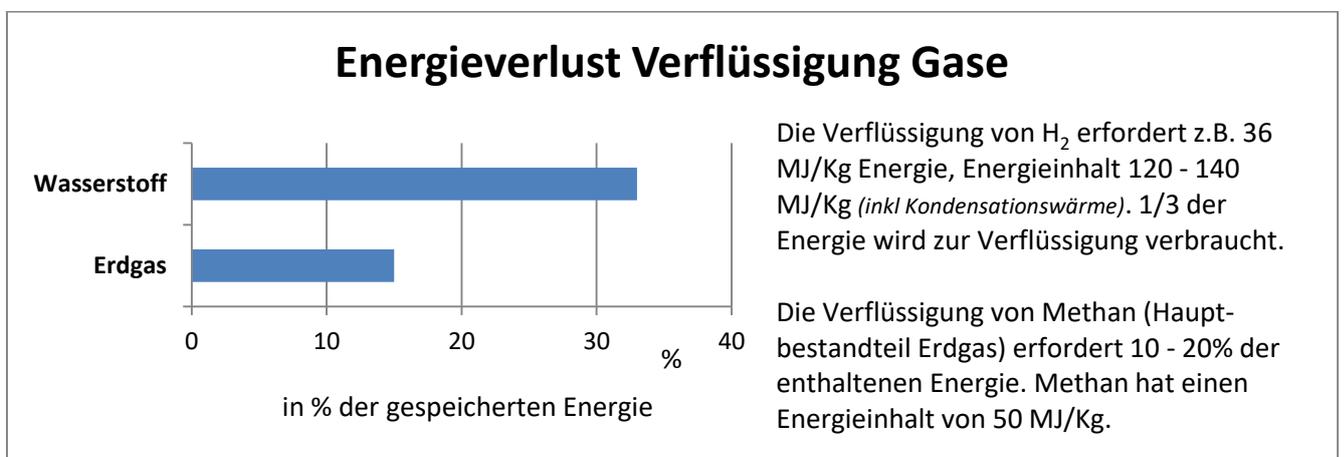
Die **Verdichtung von Wasserstoff** auf 70 bar zum Transport in Pipelines erfordert z.B. 6% des Energiegehalts, die Verdichtung von Erdgas auf 70 bar 2%.

Abbildung 2: Relative Arbeit für Gaskompression mit einem isothermen Wirkungsgrad von 60 % (Reale Gase, 20 °C).



Wasserstoff H_2 ist ein sehr kleines Molekül. Dadurch kann es leicht durch andere Materialien diffundieren. Es diffundiert durch Kunststoffe und Gummi und auch durch dünne Metallwände, z.B. Dichtungen. Für Wasserstoff beträgt die untere Explosionsgrenze 4,0 Vol. -%, die obere Explosionsgrenze 75,6 Vol. -%. In geschlossenen Räumen sammelt sich Wasserstoff unter der Decke. Daher erfordert die Handhabung in geschlossenen Räumen teure Ex-Schutz Vorrichtungen.

Aufgrund der niedrigen Dichte ist ein Verflüssigung zur Speicherung und z.B. Transport mit Schiffen oder Fahrzeugen notwendig.



Für die Umwandlung von Wasserstoff in Strom werden meist Brennstoffzellen angedacht. Brennstoffzellen dürfen nicht einfrieren, bzw. müssen im Winter regelmässig beheizt werden. Die Membranen enthalten Platin und Iridium. Bei einer allgemeinen Nutzung muss der Bergbau dieser Elemente massiv ausgeweitet werden.

Wasserstoff migriert in Stahl mit der Ausnahme von Edelstahl und macht diesen spröde. Gem. Gem. (9) kann dem Erdgas bis zu 10% Wasserstoff im Fernleitungsnetz beigemischt werden.

Insgesamt ist Wasserstoff ein wesentlich schlechterer Energieträger als Erdgas, Strom, Benzin, oder Diesel.

Erzeugung von Gas aus den Überschüssen der Wind- und Solarenergie

Seitens der Ökologen wird die Konvertierung des überschüssigen Wind- und Solarstroms in einen gasförmigen Energieträger, meist Wasserstoffgas H_2 als Lösung zur Nutzung des entsprechend der Zufälle des Wetters anfallenden überschüssigen umweltschädlichen Wind-/Solarstroms propagiert.

Manchmal liest man in den „Qualitätsmedien“ auch über eine Konvertierung in Methan. Offensichtlich geht es den Initiativen um weitere Forschungsgelder und Subventionen.

Mittlerweile werden Anlagen zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff kommerziell angeboten. Die Analyse geht von der H-TEC ME 450/1400 (6) Anlage aus. Idealerweise wird man solche Anlagen mit mehreren Modulen an einer Stelle mit Zugang zum Mittelspannungs-, oder Hochspannungsnetz und nahe eines grossen Wasserstoffverbrauchers, oder einer Ferngasleitung aufstellen. Das Grundstück muss verkehrsmässig erschlossen sein.

Anlage: Die H-TEC ME 450/1400 Anlage ist eine kompakte Anlage mit einer Kapazität von 1 MW Strom die im 40`Container angeboten wird. Die Anlage

- Hat einen Stromanschluss 400V Drehstrom. Es bedarf eines Transformators um Strom aus dem Mittelspannungsnetz einzuspeisen.
- Kann das erzeugte H₂ Gas auf 30 bar verdichten. Zur Einspeisung in das Ferngasnetz wird ein weiterer Verdichter benötigt. Inwieweit die Verdichtung auf 30 bar im Wirkungsgrad berücksichtigt ist, ist nicht angegeben.
- Die Anlage benötigt 30s aus dem Teillast ? in den Volllastmodus.

Die Kosten der Anlage inklusive Grundstück, Anschluss an Mittelspannungsnetz zzgl. Transformator, zusätzlicher Verdichter und Anschluss an das Gasnetz können auf 1400 €/KW Strom geschätzt werden.

Wirkungsgrad: Der Nominalwirkungsgrad wird mit 74% angegeben, Sofern man einen Transformatorenwirkungsgrad von 98%, einen Verdichtungswirkungsgrad von 30 bar auf 200 bar mit 95% annimmt, Wirkungsgradverluste Lastwechsel und Teillastbetrieb mit 5% annimmt ergibt sich in der Summe ein realer Wirkungsgrad von 63%

Grundlagen:

Grenzübergangspreis Erdgas: 2,58 c/kWh (OMV Q3/23), Preis Wasserstoff erzeugt durch Dampfreformierung aus Erdgas ca. 7,5 c/kWh

Subventionssatz (*Vergütung*) Wind: 8,4c/kWh 2022 (43)

Kosten Konversionsanlage 1400 €/KW Kapazität(b).

Abschreibungsdauer/Zinskosten: 20 Jahre, Zins 4%, entsprechend einer Annuität von 8% (8)

Betriebskosten (*Personal, R&E, Prüfungen, Steuern, Pacht..*) der Anlage analog anderer Industrieanlagen: 10% der Anlagekosten entsprechend 140 €/kW Jahr

Windstromüberschuss: 900h/Jahr (*Windstromerzeugung über dem 2-fachen des Mittelwertes*) (4)

Wirkungsgrad: 63% inklusive Verdichtung auf 200 bar (b), (Ferngasleitung).

Rechenweg:

Stromeinsatz: $8.4c/kWh$ (Subventionssatz Wind)/0.63 (Wirkungsgrad) = 13,3 c/kWh

Kapitaldienst: Annuität 8% /900 Betriebsstunden = 12 c/kWh

Betriebskosten: 140 €/kW /900 Betriebsstunden = 15 c/kWh

Damit kostet dann 1 kWh Wasserstoff aus Windmühlenüberschussstrom 40c. Dies entspricht dem 15-fachen dessen von importiertem Erdgas.

Wenn man den Windstrom als wertlos betrachtet, dann bleiben noch 27c/kWh Konvertierungskosten.

Wenn man den Ökowasserstoff nahe chemischer Großanlagen erzeugt und damit Wasserstoff aus Erdgas substituiert, ist dieser ein 5 – Faches teurer als aus Erdgas hergestellter Wasserstoff.

Andere ernsthafte Betrachtungen sind etwas optimistischer. In einem Artikel von NS Energy (22) werden mehrere Studien erwähnt. Dort ist von Kosten von 3 – 6.7\$/Kg entsprechend 9 – 20c/kWh vor der Corona Panik die Rede.

Der Voest-Alpine CEO sprach von 4 €/Kg (8).

Stahlerzeugung mit Wasserstoff statt Koks

Die Stahlerzeugung ist Grundlage unserer modernen Wirtschaft und demzufolge ein Dorn im Auge der Ökoreligion. Im Zuge des Dogmas vom „Klimawandel“ wird die Stahlerzeugung mittels Koks, Kohle und Erdgas thematisiert. Die Stahlerzeugung ist sehr energieintensiv und wird für etwa 10% der weltweiten CO₂ Emissionen verantwortlich gemacht.

Deshalb wird im Zuge dieser Religion eine „CO₂-freie Stahlerzeugung“ propagiert und seitens der Industrie – die auf Subventionen hofft – untersucht.

Roheisenerzeugung Traditionell

Traditionell wird aus Eisenerz und Koks mit einigen Zuschlägen im Hochofen zunächst Roheisen erzeugt. Chemisch wird dabei Fe₃O₄ und C in ein kohlenstoffreiches Gusseisen verwandelt. Bei diesem Prozess wird mindestens 1100 Kg Mengen CO₂ je Tonne Roheisen zzgl. CO erzeugt. Letzteres wird meist energetisch genutzt. Das ist im Sinne des ökoreligiösen Dogmas vom Klimawandel eine Sünde.

Alternativ wird Eisenerz in einem Drehrohrföfen mit Erdgas zu Eisenschwamm reduziert Fe₃O₄ + CH₄ -> Fe +H₂O und CO₂ und der Eisenschwamm zusammen mit Schrott als Einsatzmaterial im Elektrostahlverfahren genutzt.

Roheisenerzeugung mit Wasserstoff

Für den ökoreligiösen CO₂ freien Stahl verwendet man in Drehrohrföfen anstelle des Erdgases H₂ Gas um das Eisenerz zu Eisenschwamm zu reduzieren. Fe₃O₄ +4H₂ -> 3Fe +4H₂O. Für den weiteren Prozess kommt das Elektrostahlverfahren zum Einsatz.

Stahlerzeugung aus Roheisen

In einem weiteren Prozess wird das Roheisen zusammen mit Schrott in einem Converter mit Sauerstoff gefrischt, sprich der im Eisen enthaltene Kohlenstoff verbrennt zu CO₂ und das Eisen wird mit zugesetzten Legierungsbestandteilen zu Stahl umgesetzt. Alternativ werden Schrott und Roheisen und Zuschläge mit einem Lichtbogen (Elektrostahl) erhitzt, aufgeschmolzen und zu Stahl konvertiert. Aufgrund des geringen Kohlenstoffgehalts kommt bei mit Wasserstoff erzeugten Roheisen in erster Linie das Elektrostahlverfahren zum Einsatz.

Der österreichische Hersteller von Maschinen und Anlagen, Andritz, hat einen Auftrag vom deutschen Stahlunternehmen Salzgitter erhalten, um eine der größten Wasserstoffanlagen in Europa zu bauen. Die 100-Megawatt-Elektrolyseanlage wird auf dem Gelände der Tochtergesellschaft Flachstahl von Salzgitter errichtet und ab 2026 soll sie jährlich etwa 9.000 Tonnen Wasserstoff produzieren. Beide Unternehmen gaben am Mittwoch bekannt, dass keine Angaben zum Auftragswert gemacht wurden.

Das Projekt wird in drei Stufen umgesetzt. Die erste Stufe, bestehend aus einer Direktreduktionsanlage, einem Elektrolichtbogenofen (beide bereits bestellt) und einer 100-MW-Elektrolyseanlage zur Wasserstoffherzeugung, wird bereits 2026 in Betrieb gehen. Die Umstellung auf eine nahezu CO₂-freie Stahlproduktion am Standort Salzgitter soll bis Ende 2033 abgeschlossen sein - deutlich vor den gesetzlichen Vorgaben. Die Finanzierung der ersten Phase ist gesichert durch Fördermittel der Bundesrepublik Deutschland und des Landes Niedersachsen sowie durch erhebliche Eigenmittel der Salzgitter AG. (11)

Preis ökoreligiöser Stahl Einfache Abschätzung

Annahmen (04/2021):

Betonstahl aktuell 650\$/t (12), Koks 300\$/t, Erdgas 2.58c/Kwh (OMV Q3/23), Wasserstoff aus "Erneuerbaren Energien" 25c/Kwh entsprechend 8,5 €/Kg, Eisenerz (63%) 120\$/t. Invest je Millionen to Eisenerzeugungskapazität 1 Mrd. \$ (1) Die Reduzierung von reinem Eisenerz zu 1 to Roheisen erfordert theoretisch 35 Kg Wasserstoff, Bei einem Wirkungsgrad von 80% des realen Prozesses mit realem Erz erfordert dies 44 Kg Wasserstoff.

Rechnung :

Die Reduzierung von Eisenerz zu 1 to Eisen erfordert 300 Kg Koks entsprechend 90\$

Die Reduzierung von Eisenerz zu 1 to Eisenschwamm erfordert bei einem Wirkungsgrad von 80% 44 Kg Wasserstoff entsprechend 374\$

Ergebnisse:

Das bedeutet, dass der Preis einer Tonne einfachen Baustahls sich zunächst um 284\$, oder **70% verteuert**. Ein Auto dürfte bei einem Bruttostahleinsatz (Verschnitt etc.) von z.B. 1.4 Tonnen um 550 \$ inkl. Gemeinkosten teurer werden.

Nicht berücksichtigt ist, der Ersatz der Anlagen, entsprechend 1000\$/to Kapazität, die Nutzung umweltschädlichen Ökostroms für den Prozess, die Verwendung von Ökostahl entlang der Wertschöpfungskette für das Eisenerz Bergwerk, Schiff, das Stahlwerk, die Eisenbahn, usw. Eine komplette Umstellung auf Ökostahl dürfte diesen um mehr als ein 4 - faches verteuern.

Fazit: Ohne stabiles Stromnetz und massiver, dauerhafter Subventionen gibt es keinen CO₂ freien Stahl.

Brennstoffzellenautos vs. Elektroautos

Ein Elektroauto lässt sich mit Strom aus dem Netz betreiben. Das bestehende Stromnetz müsste dazu in Teilen ausgebaut werden. Mit Kohle und Kernenergie lässt sich preiswerter, zuverlässiger Strom herstellen. Der Gedanke diesen Strom mit Windmühlen, oder Solarenergie herzustellen ist sachlich so abwegig wie eine Stromversorgung basierend auf Wind und Sonne allgemein ist. Für Wasserstoffautos müsste eine völlig neue Infrastruktur auf Erzeugerebene wie auf Verteilerebene geschaffen werden.

Holger Narrog

(1) <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=60749>

(2) https://holgernarrog.hpage.com/get_file.php?id=33573427&vnr=654007

(3) <http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/speicherung.shtml>

(4) Energieaufwand für Gaskomprimierung, Hochschule für Technik Rapperswil Boris Meier, Dok. 06, 11.11.2014

(5) <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173266/umfrage/durchschnittliche-eeg-verguetung-von-wind-onshore>

(6) 26. <https://www.h-tec.com/produkte/elektrolyseur-me-4501400/#dataSheetCollapse> Zugriff 11.05.2021

(7) https://www.nsenergybusiness.com/news/industry-news/hydrogen-green-energy-catapult/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=nsenergy_power&utm_content=&utm_content=20201208

(8) <https://industriemagazin.at/a/voestalpine-ceo-autobranche-wird-2022-wieder-florieren>

(9) [DVGW Forschung Abschlussbericht Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen. Februar 2014](#)

(10) <https://www.australianmining.com.au/rio-goes-green-for-steel/> Rio Tinto has partnered with H2 Green Steel to supply iron ore pellets from its Iron Ore Company of Canada (IOC) operations to establish the large scale production of green steel.

(11) https://industriemagazin.at/news/andritz-baut-wasserstoff-anlage-fuer-stahl-produzenten-salzgitter/?utm_campaign=IM%20Daily%20Briefing&utm_medium=email&_hsmi=275050175&_hsenc=p2ANqtz-9ymWbdxglhrvCTpXSCCWmpoCjZiMF2vEZvqNVAoLIOMFsOR-NWucg-mSZI5VoN1UOy6RCvA-3nnyt80kHg4wBHVGGg&utm_content=275050175&utm_source=hs_email

(12) <https://www.stahlpreise.eu/> Zugriff 11.10.2023 Preis Betonstahl > 600 €/to

43. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/173266/umfrage/durchschnittliche-eeg-verguetung-von-wind-onshore-bis-2015/> 2022 Durchschnitt 8,4c/KWh