Grüne Wasserstoffwirtschaft als Dritter Weg

Ein Ausweg aus dem Fukushima-Dilemma

HTWK Leipzig, den 25. Januar 2012 Karl-Heinz Tetzlaff tetzlaff@h2-patent.eu



Wege und Auswege

- (1) Die historisch gewachsene Energiewirtschaft auf der Grundlage von Kohle, Öl und Gas ist an ihre Grenze gekommen.
 - (1) Nachhaltig steigende Energiepreise kann unser Wirtschaftssystem nicht verkraften.*
- (2) Die Umstellung auf erneuerbare Energien und deren Integration in die real existierende Energiewirtschaft kann nicht in dem eigentlich notwendigen Tempo vorangetrieben werden.
 - (1) Die Umstellung auf erneuerbare Energien würde zwar billiger sein als abzuwarten, aber dennoch unser Wirtschaftssystem überfordern (s. o.)*
 - (2) Ein deutscher Alleingang würde den Industriestandort Deutschland gefährden sagt man.
- (3) Der Ausweg besteht <u>nicht</u> darin mit noch mehr Geld die Geschwindigkeit der Umstellung zu erhöhen, sondern einem ganz **neuen Denkansatz** zu folgen dann kann es auch sehr schnell gehen.
 - (1) Eine Einschränkung im Energiekomfort ist nicht erforderlich.



^{*} Nachhaltig steigende Energiekosten führen zu einer Systemkriese – ein Dilemma. Eine langsame Umstellung auf erneuerbare Energien macht alles nur noch schlimmer (peak oil, Stern-Report)

Die Herausforderung

Die Herausforderungen können wir nicht mit einem simplen **Reparatur-Kit** lösen, das die Unzulänglichkeiten unserer heutigen Energiewirtschaft abzumildern versucht. Die gängige Nutzung erneuerbaren Energien schließt ein solches Reparatur-Kit ein.

- (1) Nötig ist ein Konzept, das dauerhaft eine sichere, zuverlässige, und nachhaltige **Energieversorgung zu wettbewerbsfähigen Preisen** sichert.
- (2) Das Energiekonzept muss **fluktuierende** regenerative **Energien** problemlos **integrieren** können.
- (3) Die Installation dieses Konzeptes darf die Volkswirtschaft nicht überfordern.
- (4) Der **Umwelt- und Klimaschutz** sollte keine Extrakosten verursachen und mit dem **Naturschutz** in Einklang stehen.

Eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft kann dies alles leisten.



Was ist eine Wasserstoffwirtschaft?

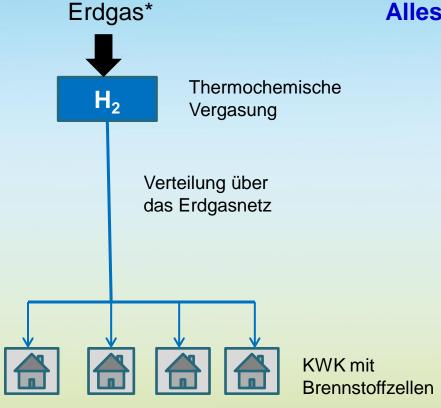
Definition: In einer Wasserstoffwirtschaft wird auf allen Ebenen mit Wasserstoff gehandelt und gewirtschaftet.

Daraus folgt, dass der Wasserstoff zum Endverbraucher gebracht werden muss.

Sprachverwirrung:

Zu diesem Begriff gibt es in der Fachpresse eine geradezu babylonische Sprachverwirrung: Wasserstoffwirtschaft = Versorgung von Tankstellen mit Wasserstoff durch eine zusätzliche Infrastrktur. Wasserstoffwirtschaft = Speicherung von Überschussstrom in Form von Wasserstoff mit zentraler Rückverstromung

100% schwarze Wasserstoffwirtschaft



Alles was man dazu braucht ist am Markt

In Deutschland werden ca. 60 TWh/a so hergestellt. Das entspricht ca. 10% des Stromverbrauchs.

Das Erdgasnetz ist ohne Einschränkung (wieder) auf Wasserstoff umstellbar.

Brennstoffzellen kosten 20-200 € je installiertes KW_{el}

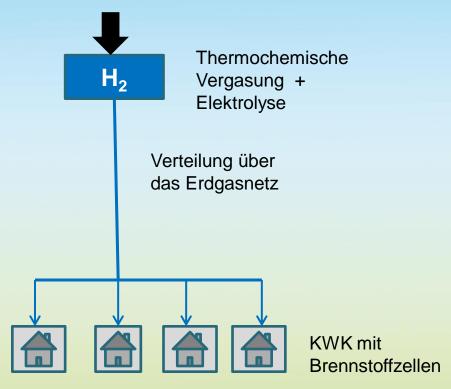
Reduzierung von CO2 um 70% Reduzierung der Energiekosten um die Hälfte

Aber Deutschland ist dann von einem einzigen Energieträger, und damit von Russland abhängig. Das will weder die Gaswirtschaft noch die Regierung.

^{*} Die derzeitig verbrauchte Erdgasmenge reicht für alle Marktsegmente aus.

Grüne Wasserstoffwirtschaft

70% Biomasse + 30% EE-Strom



Reduzierung von CO2 um 100% Reduzierung der Energiekosten um ca. 70% Die thermochemische Vergasung sollte noch optimiert werden

Synthesegas aus industriellen Vergasungsanlagen wird z. Z. nach EEG verstromt. Der CO-Anteil im Synthesegas müsste jedoch, wie beim Erdgas, katalytisch konvertiert werden: CO+H₂O→CO₂+H₂. Dann stände einer Nutzung des Wasserstoffs nichts mehr im Wege.

Das Erdgasnetz ist ohne Einschränkung (wieder) auf Wasserstoff umstellbar.

Brennstoffzellen kosten 20-200 € je installiertes KW_{el} Zum Vergleich: 2.000 €/kW = Großkraftwerk;

20.000 €/kW = Mikro-KWK

20.000 €/kW = Reformer- Brennstoffzellenheizung

Aber: Es gibt ein Kommunikations- und Machtproblem



Herstellverfahren von Wasserstoff im Detail



Herstellung von Wasserstoff

- Elektrolyse
- 2. Thermochemische Vergasung (850°C) kohlenstoffhaltiger Energieträger (Biomasse)
- 3. Einkopplung von Hochtemperatur-Wärme
 - 1. Metalloxid-Zyklus, Solarturm, 800-1200°C
 - 2. Jod-Schwefel-Zyklus, Kernreaktor der 4. Generation, 900°C
- 4. Dunkelfermentation (Teilprozess Biogas)
- 5. Aus Licht mit Mikroorganismen (Blaualgen)
- 6. ...

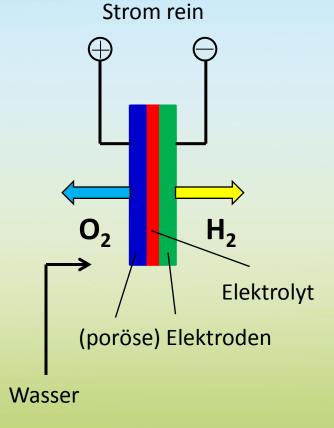
Wir sollten das machen, was wir jetzt schon können, denn die Zeit drängt.

Grundlagen-Forschung

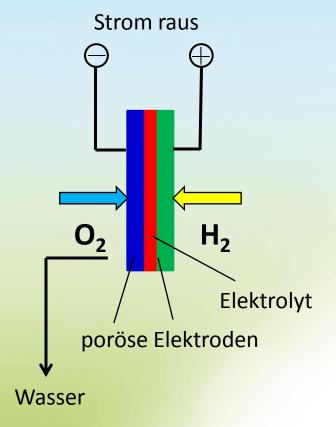


Elektrochemische Zellen

Elektrolysezelle



Brennstoffzellezelle





Industrielle Elektrochemie

Elektrolyseur



Lurgi

Große Einheiten

Brennstoffzelle



Kleine dezentrale Einheiten



Historie der Holz-Vergasung



Vor 10 Jahren:

Vergasung von Holz

Nutzung: Synthesegas zur Stromerzeugung (Güssing)

Konvertierung des Synthesegases zu Wasserstoff wäre einfach und verlustfrei möglich:

Man braucht das feuchte Synthesegas ($H_2 + CO + CO_2$) nur über einen Eisenkatalysator zu leiten:

 $\mathbf{CO} + \mathbf{H}_2\mathbf{O} \rightarrow \mathbf{CO}_2 + \mathbf{H}_2$



Vor 200 Jahren: Vergasung vor Kohle Nutzung von Koks und Synthesegas (Stadtgas)

Der größte Teil des heute hergestellten Wasserstoffs (500 Mrd. m³/a) wird aus Ölprodukten und Erdgas hergestellt



Vor >6000 Jahren: Vergasung von Holz

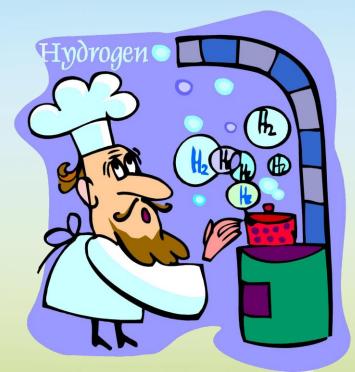
Nutzung: Holzkohle (nur)

80% der Energie geht mit dem Gas verloren



Rezept

Biomasse + $H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$



Holz:

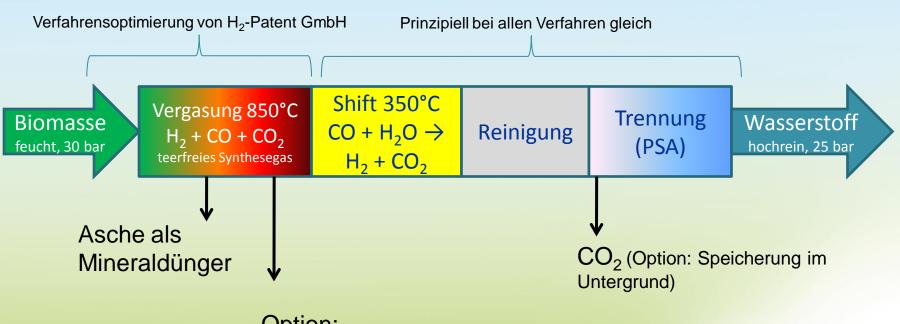
 $C_6H_9O_4 + 8 H_2O \rightarrow 6 CO_2 + 12,5 H_2$ (allotherm) $C_6H_9O_4 + 1,1 O_2 + 5,8 H_2O \rightarrow 6 CO_2 + 10,3 H_2$ (autotherm)

ca. 850°C

Es handelt sich um eine **endotherme** Energiewandlung, bei der **prinzipiell keine Energieverluste** entstehen.



Verfahren zur Herstellung von reinem Wasserstoff



Option:

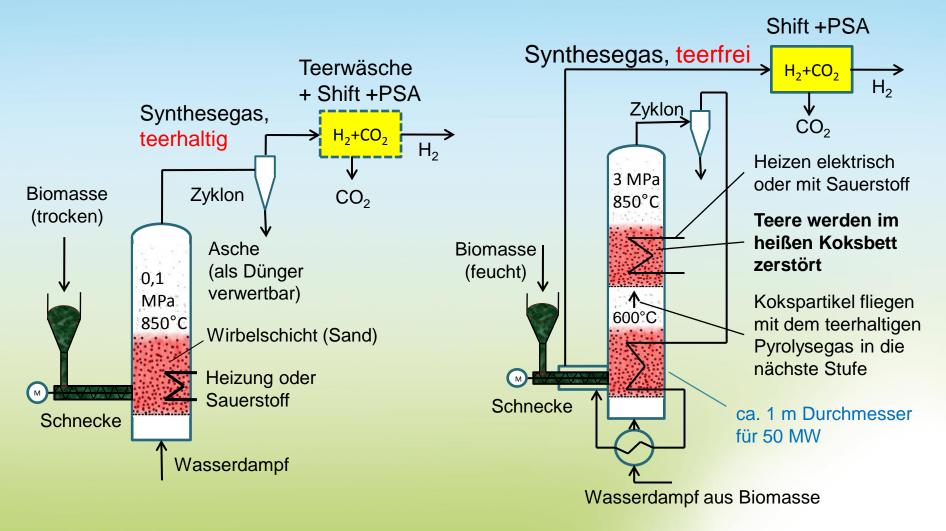
Holzkohle als Bodenverbesserer (Terra Preta)

- macht Wüsten grün
- macht den Treibhauseffekt rückgängig



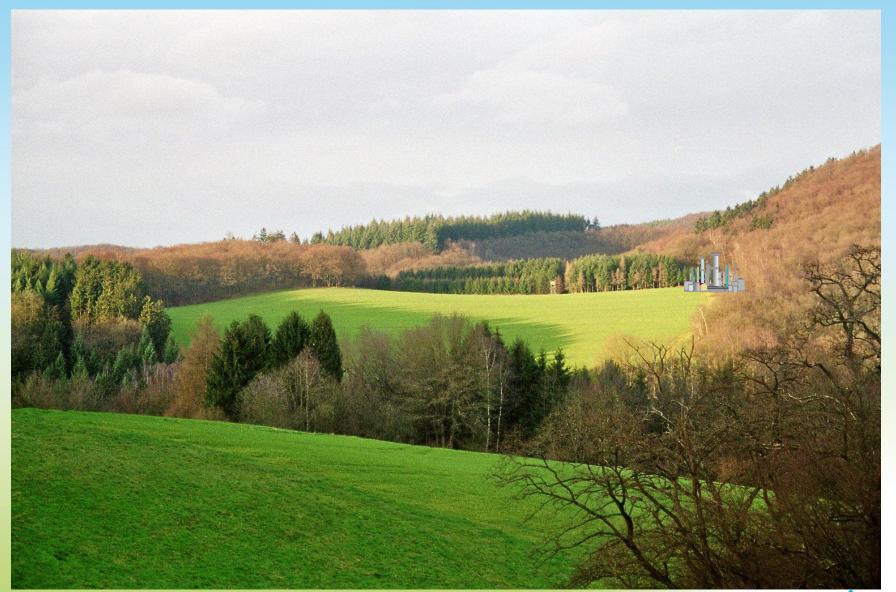
Vergasung in einer Wirbelschicht

Stand der Technik und innovativ



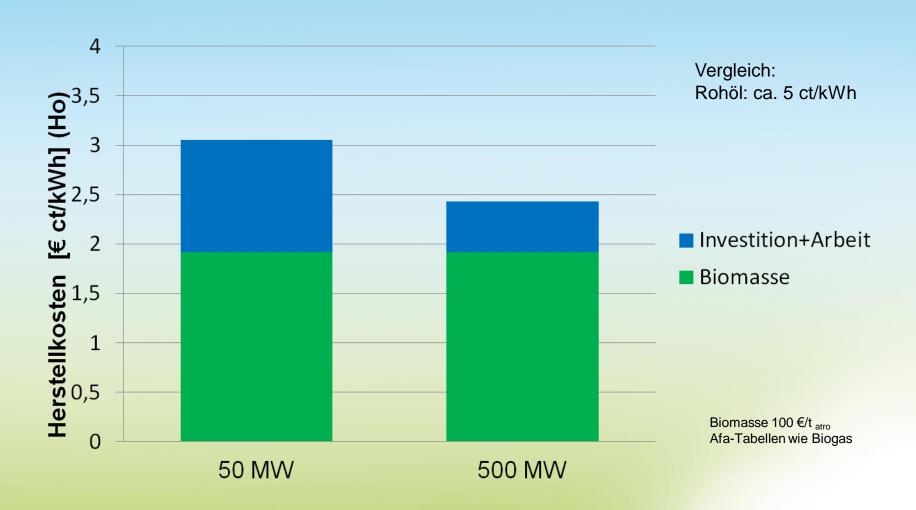


Hier sieht man wo der Wasserstoff herkommt





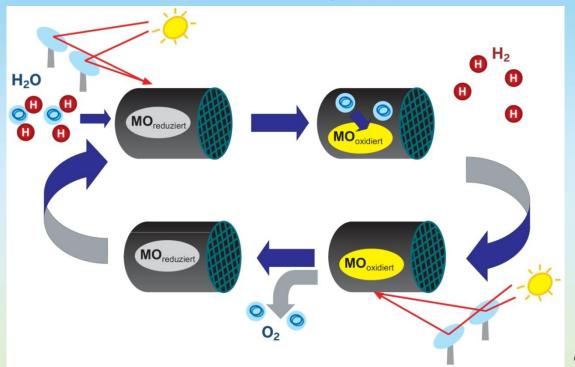
Herstellkosten für Bio-Wasserstoff



Mit Brennstoffzellen könnte man also Strom für ca. 4 ct/kWh selbst herstellen



Metalloxid-Zyklus mit Solarturm



(1) M + H₂O \rightarrow MO + H₂ 800°C (2) MO \rightarrow M + 0,5 O₂ 1200°C

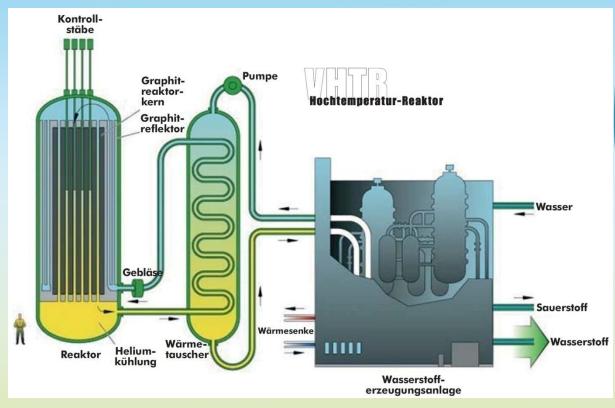
vereinfacht:

Quelle: DLR





Schwefel-Jod-Zyklus mit Kernreaktor



(1)
$$SO_2 + J_2 + H_2O \rightarrow 2 HJ + H_2SO_4 70-100^{\circ}C$$

(1)
$$SO_2 + J_2 + H_2O \rightarrow 2 \text{ HJ} + H_2SO_4 \quad 70\text{-}100^{\circ}\text{C}$$

(2) $2HJ \rightarrow H_2 + J_2 \quad 400\text{-}500^{\circ}\text{C}$

(3)
$$H_2SO_4 \rightarrow H_2O + SO_2 + 0.5 O_2$$
 850-950°C

Aggressive Säuren erfordern bei hohen Temperaturen "Werkstoffe teuer wie Gold"

Quelle FZJ

Inhärente Sicherheit versagt bei:

- (1) Lufteinbruch: C + O₂ → CO₂ → gesamtes Reaktorinventar wird mit den Rauchgasen ausgetragen
- (2) Wasser(dampf)einbruch: C + H₂O → CO + H₂ → knallt wie in Fukushima *
- (3) Säureeinbruch → Folgen kaum auszudenken

nur "German angst"? 1)

* Ein zwischengeschalteter Natrium-Kreislauf wäre nicht minder gefährlich. Der schnelle Brüter ist an diesem Wasserstoffproblem gescheitert (2 Na + 2 H₂O → 2 NaOH + H₂)

Fukushima hat die Grenzen der technischen Machbarkeit aufgezeigt!



Bewertung der Herstellverfahren

"Unter den erneuerbaren Erzeugungsverfahren ist die Biomassevergasung der ökonomischste Prozess"

Quelle:

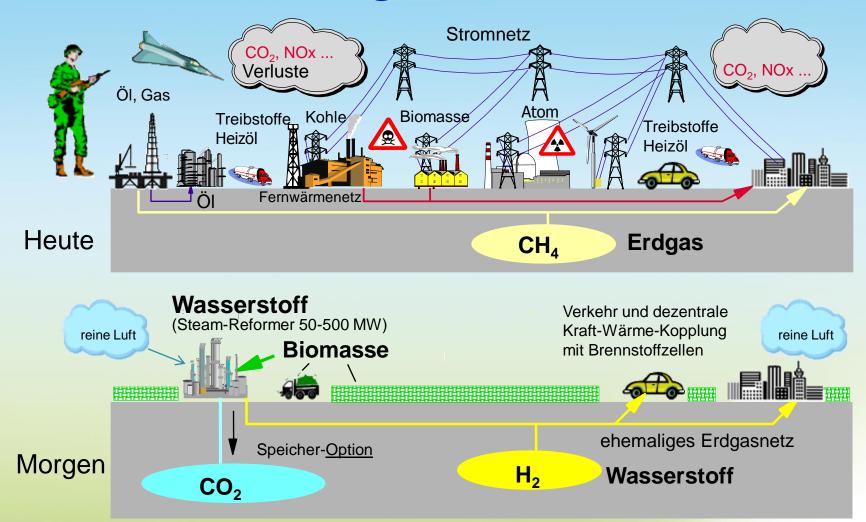
Wasserstoff – Schlüssel zur weltweit nachhaltiger Energieversorgung; Exzellenz NRW (2009)



Infrastruktur



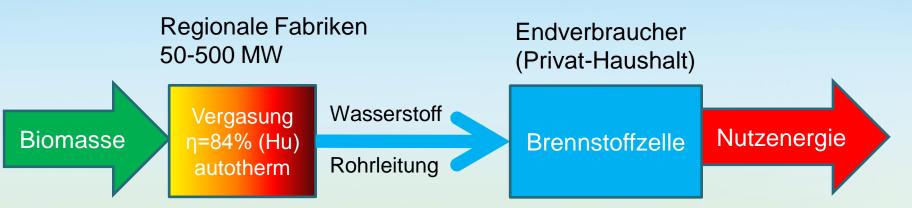
Paradigmenwechsel



Eine grüne Wasserstoffwirtschaft ist mehr als eine Technologie



Effizienz der Energiekette

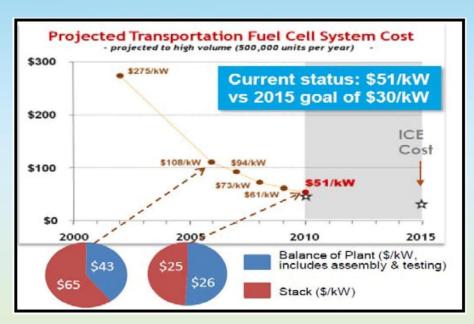


Wasserstoff wird bei 25 bar erzeugt und strömt verlustfrei zum Endverbraucher

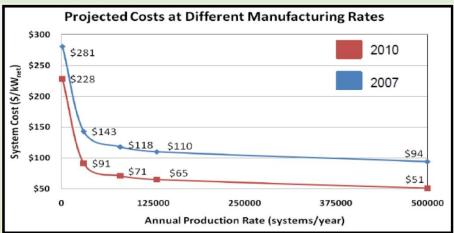
bis 99% des Heizwertes der Biomasse, davon ca. 50% als Strom (Brennwerttechnik)



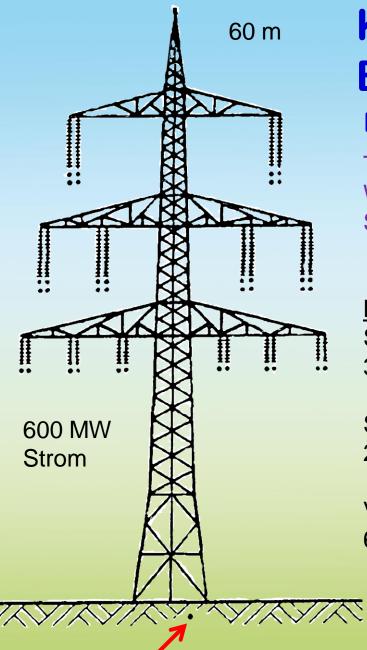
Kosten von Brennstoffzellen



Brennstoffzellensysteme kosten bei Massenfabrikation < 40 €/kW_{el}. Es wird eine Standzeit von 100.000 Stunden (>10 Jahre) erwartet.



Eine Brennstoffzellenheizung (im Wasserstoffnetz) kostet weniger als ein konventioneller Heizkessel



Kosten der Energieverteilung

Kosten vom Erzeuger zum Haushalt

Transportkosten für Haushaltskunden:

Wasserstoff = 0,7 ct/kWh

Strom = 9,3 ct/kWh (für 2009 genehmigt)

Beispiele für Stromkosten, Haushaltstarif*:

Strom aus eigenen Brennstoffzellen =

3,3 + 0,7 = 4 ct/kWh

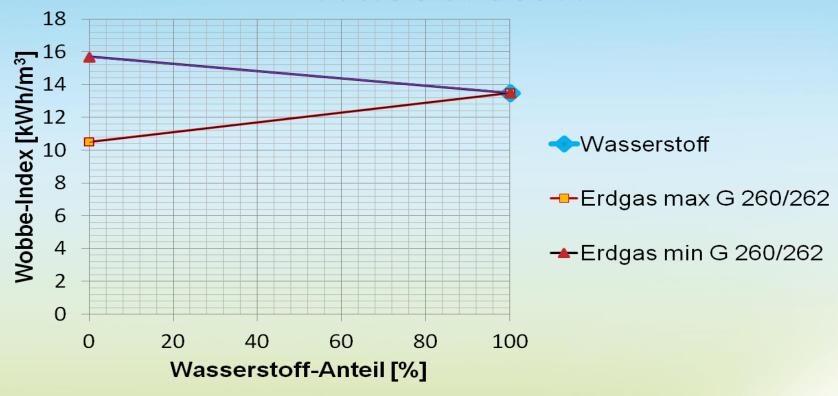
Strom aus *abgeschriebenen Atomreaktoren* = 2 + 9,3 = 11,3 ct/kWh

Vision Wüstenstrom (DESERTEC) 6 + 3 + 9,3 = 18,3 ct/kWh

* ohne Steuern



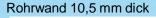
Umstellung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff

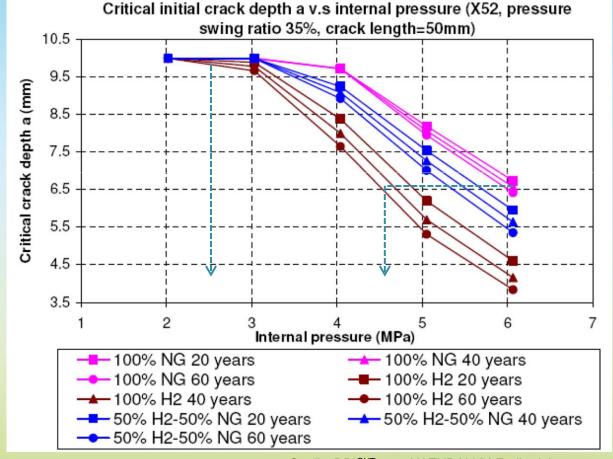


Bei gleichem **Wobbe-Index** muss die Brennerdüse nicht ausgewechselt werden. (Bei der Umstellung von Stadtgas auf Erdgas war das anders.)

Die **Transportleistung** eines gegebenen Netzes ist für Erdgas und Wasserstoff ungefähr gleichgroß. Die Transportleistung des Erdgasnetzes ist auch groß genug für die Sicherstellung der gesamten Energieversorgung. Das Netz muss nur an den Rändern erweitert werden.

Wasserstoff in Erdgasleitungen





Konsequenzen für X52:

- Druck konstant halten
- Absenkung des Drucks um 25%,
- Zugabe von 500 ppm O₂,
- Verkürzung der Inspektionsintervalle

Eine Wasserstoffwirtschaft ist andererseits eine regionale Gaswirtschaft bei der Drücke über 2,5 MPa (25 bar) nicht benötigt werden. Eine Versprödung von Stählen durch Wasserstoff ist selbst bei diesem sehr spröden Stahl nicht zu erwarten.

Quelle: DBI^{GUT}; aus NATURALHY-Endbericht 2009; DWV; Wasserstoff-Sicherheits-Kompendium 2012

Bei der Umstellung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff sinken die Leckverluste von 0,1% auf 0,04% der transportierten Energiemenge

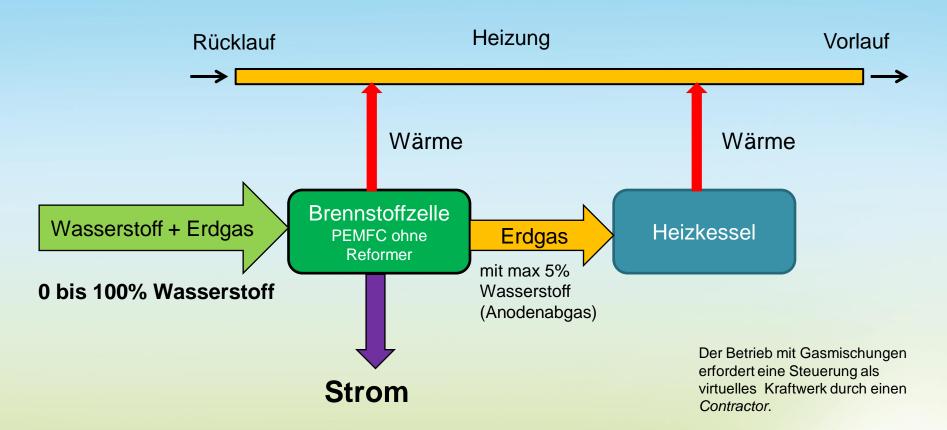


Sicherheit im Umgang mit Wasserstoff

Die Gefährdung von Personen und Sachen ist in einer Wasserstoffwirtschaft in allen Marktsegmenten geringer als heute.



Brennstoffzellen-Vorsatz für die alte Heizung

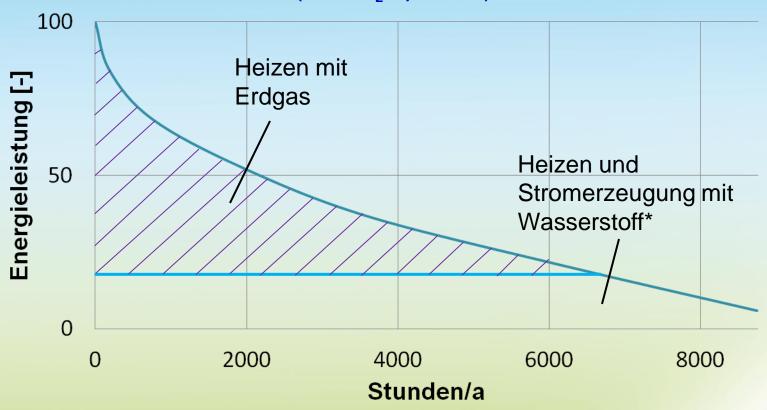


Die Brennstoffzelle wird einfach vor den alten Heizkessel gesetzt. Die Spitzenlast im Winter übernimmt das Erdgas. Bei Revision der H₂-Fabrik wird kurzzeitig der alte Zustand automatisch wieder hergestellt.



Stromerzeugende Heizung

mit Brennstoffzelle und Heizkessel ohne Reformer (ohne H₂-Speicher)





^{*} Export von Überschuss-Strom nach EEG möglich

Netzstabilisierung als Synergie-Effekt



Netzstabilität durch Parallelbetrieb mit einem Wasserstoffnetz

Instabilität durch Nutzerverhalten und fluktuierende Einspeisungen Stromnetz stabilisiert Leistungsschwankungen Endverbraucher mit Brennstoffzellen speisen Strom in das Netz ein oder ziehen Strom aus dem Netz für den sofortigen Verbrauch (verlustlos). H₂-Fabrik Wasserstoffnetz Biomasse als Leichte Druckschwankungen Stromspeicher H_2 **Erdgas-Kavernen** auch Mischungen von Wasserstoff als Stromspeicher und Erdgas sind möglich

Netzstabilität durch Parallelbetrieb mit einem Wasserstoffnetz

Instabilität durch Nutzerverhalten und fluktuierende Einspeisungen Stromnetz stabilisiert Leistungsschwankungen Endverbraucher mit Elektrolyse **Optional** Brennstoffzellen speisen Strom in (Küstenregion) Verluste: das Netz ein oder ziehen Strom lokal=1 - 2% zentral=5 -15% aus dem Netz für den sofortigen Verbrauch (verlustlos). H₂-Fabrik Wasserstoffnetz Biomasse als Leichte Druckschwankungen Stromspeicher H_2 **Erdgas-Kavernen** auch Mischungen von Wasserstoff als Stromspeicher und Erdgas sind möglich

Solarstrom just in time – durch Bio-Wasserstoff

- Es sind keine zusätzlichen Investitionen erforderlich
 - Eine Wasserstoffwirtschaft sollte aus ökonomischen Gründen kommen.
- Es entstehen keine Verluste
 - Strom wird nicht konvertiert, sondern anstelle von Brennstoffzellenstrom genutzt.
- Die Stabilisierung ist zeitlich unbegrenzt
 - ehemalige Erdgaskavernen: 2 Monate, Biomasse: zeitlich unbegrenzt
- Die Stabilisierung geschieht verbrauchsnah
 - keine neue Speicher-Infrastruktur erforderlich



"Wenn das Speicherproblem gelöst ist, werden die Erneuerbaren Energien fliegen!"

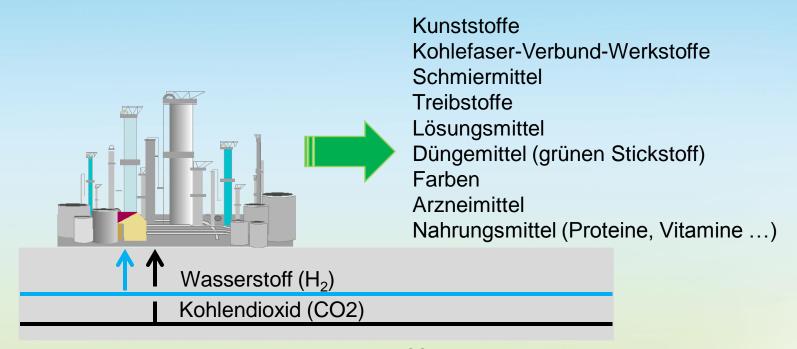
A. Brabeck, Pressesprecher RWE, 2010



Nichtenergetische Nutzung von Wasserstoff



Grüne Chemie durch grünen Wasserstoff



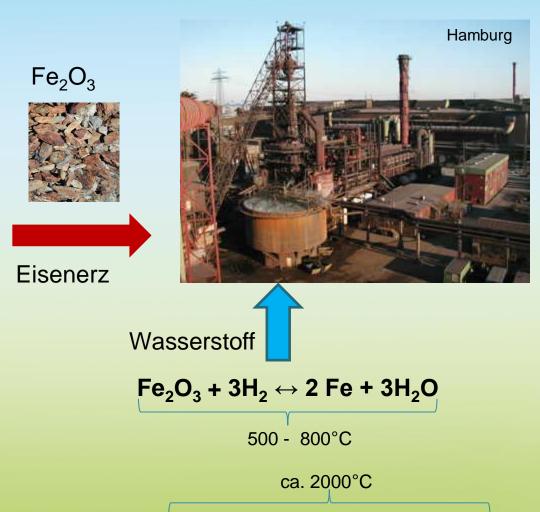
CO₂ ist ein Kuppelprodukt der thermochemischen Vergasung

Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2) sind die Bausteine der Chemie. Kohlenmonoxid kann aus CO_2 und H_2 hergestellt werden ($CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$). Man muss also nur die Steam-Reformer auf dem Werksgelände stilllegen, die aus Erdgas oder Rohbenzin Synthesegas herstellen. Die Herstellprozesse für die Produkte können so bleiben wie sie heute sind.



CO2-freie Eisengewinnung durch Direktreduktion

Nutzung von Bio-Wasserstoff führt zu geringeren Herstellkosten



Erfolgsfaktoren:
Bio-H₂ ist billiger als Koks,
Bio-H₂ führt zu mehr Effizienz,
Bio-H₂ benötigt weniger Investitionen,
Billiger Strom für Elektro-Ofen,
Keine CO2-Zertifikate nötig.



Fe

Eisenschwamm zum SM-Ofen mit halbierten Stromkosten durch Biowasserstoff und Brennstoffzellen. Der Zwischenschritt: Entfernung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff (LD-Konverter), kann entfallen.

Zum Vergleich:

Hochofenprozess: $Fe_2O_3 + 2C \rightarrow 2Fe + CO + CO_2 \rightarrow LD$ -Konverter \rightarrow SM-Ofen

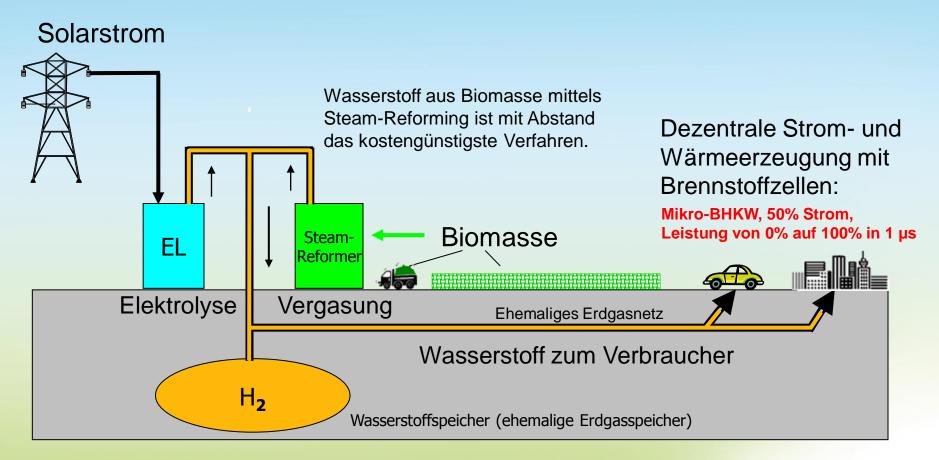


Energetische Nutzung von Wasserstoff



Echte grüne Wasserstoffwirtschaft

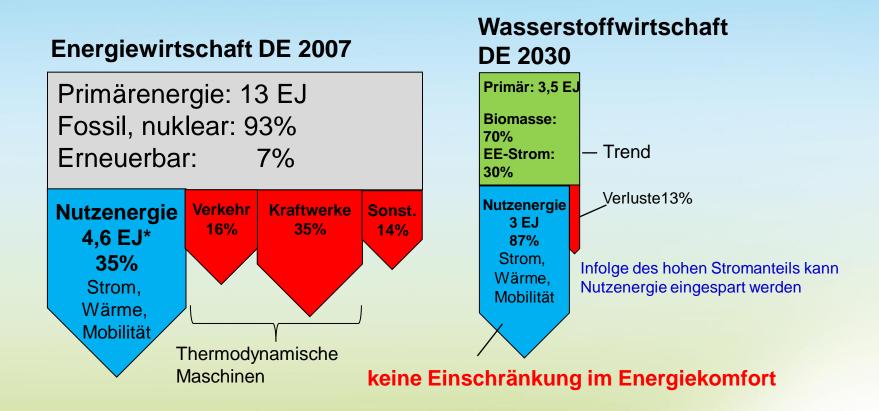
Wasserstoff zum Endverbraucher



Durch den systembedingten Stromüberschuss entsteht eine wärmegeführte Energiewirtschaft, die prinzipiell **verlustfrei** ist.



Energiewirtschaft heute und morgen



In einer künftigen Wasserstoffwirtschaft sinkt der Primärenergieverbrauch auf ein Viertel – bei gleichem Komfort.



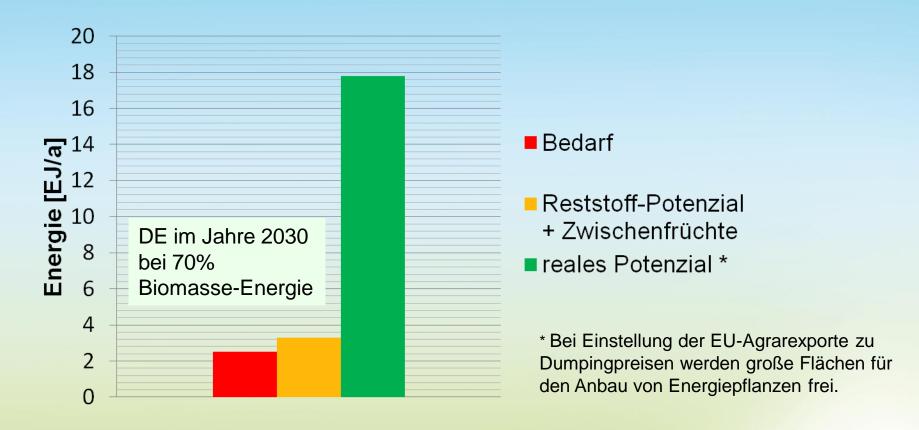
Faktor Vier

Eine Effizienzsteigerung um den Faktor 4 bedeutet:

- Energiekosten sinken mindestens auf ein Viertel
 - Darüberhinaus sinken die Kosten weil:
 - Biomasse kostengünstiger ist als atomare und fossile Energien,
 - die Technologien zur Energiewandlung kostengünstiger sind,
 - · das Stromnetz nicht mehr benötigt wird,
 - keine sozialen Kosten der Energieerzeugung anfallen.
- Das Potenzial der Biomasse steigt um eine Größenordnung
 - Durch einen vorgelagerten Prozess wird heute Biomasse in einen Energieträger umgewandelt, der sich nahtlos in die bestehende Energieversorgung einfügt, allerdings mit der gleichen desaströsen Effizienz wie fossile Energieträger!



Bio-Potenzial im europäischen Kontext

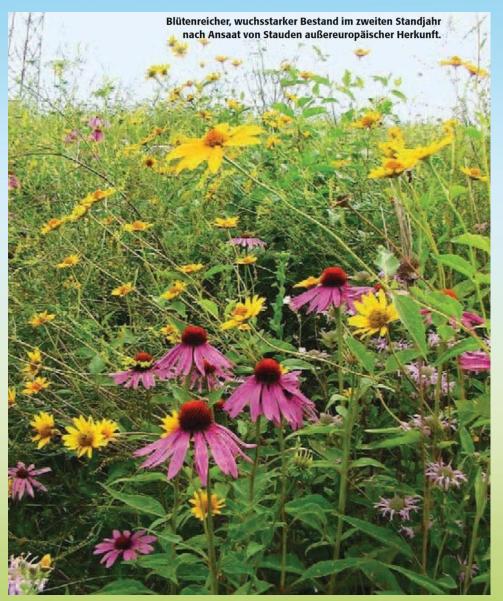


Relation von Bedarf und Potenzial gilt für jedes Land in Europa - bei einem Energiekomfort wie in Deutschland

Quelle: Trän, IE (2005); Nachhaltige Biomasse Nutzungsstrategien im europäischen Kontext; ausgewiesene überschüssige Flächen der EU-25 auf das Jahr 2030 extrapoliert und auf DE umgerechnet, Energiepflanzen 40 t/ha TM, keine künstliche Bewässerung. Vorausgesetzt ist hier die Streichung der Exportsubventionen für Lebensmittel. Keine Grünland- u. Waldnutzung



Energieblumen



Blühende Landschaften in Deutschland

Blumen haben den gleichen Trockenmasse-Ertrag /ha wie Mais.*

Bis 2030 sind in Deutschland mehr als 7 Mio. ha Land für Bio-Energie verfügbar.** Damit kann ca. 5 -mal mehr Energie als nötig gewonnen werden.

Ökonomie, Umwelt- und Naturschutz stehen mit Energieblumen nicht im Widerspruch. Jungtiere können durch späte Mahd geschützt werden.

* Quelle: Bayrische Landesanstalt für Wein- u. Gartenbau (2010)

* Quelle: Agentur für Erneuerbare Energien (2011)



Potenzial der Biomasse weltweit in 2050



Auch 8 Mrd. Menschen können mit dem gleichen Energiekomfort leben wie die Menschen in Deutschland heute – und dabei genug zu essen haben.



Investitionen für die neue Wasserstoffwelt in Deutschland

Versorgungsumfang	Wasserstoff-Fabriken [Mrd. €]	Netz [Mrd. €]	∑ [Mrd. €]
75 %	15	5	20
100%	20	20	40

Mit einer einmaligen Investition von 40 Mrd. € schaffen wir aus lokalen Ressourcen eine dauerhaft sichere und nachhaltige Energieversorgung zu Preisen, die in allen Marktsektoren niedriger sind als heute.

Zum Vergleich:

- 40 Mrd. €/a investiert der Energiesektors insgesamt
- >80 Mrd. €/a Energie-Importe (Wertschöpfung bleibt zukünftig im Lande)
- >100 Mrd. €/a Kostenentlastung von Industrie und Haushalten
- 20 bis 200 Mrd. €/a Entlastung von sozialen Kosten der Energiegewinnung

Eine zusätzliche Verfügbarkeit von Geld in Höhe des Bundeshaushaltes wird nicht ohne Wirkung bleiben!

Das EU-Parlament ist schon weiter



EUROPEAN PARLIAMENT 2004 - 2009

WRITTEN DECLARATION

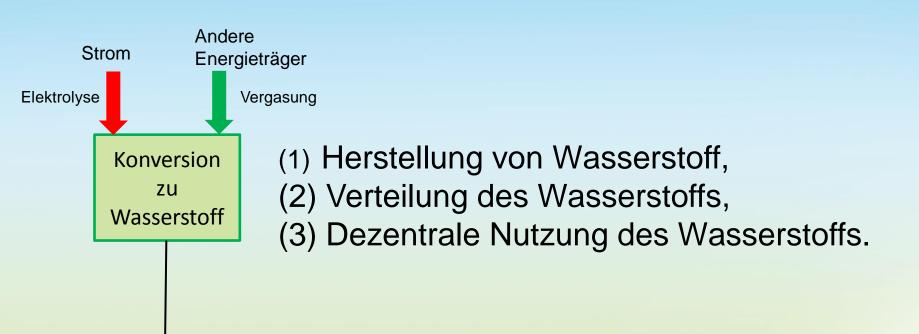
pursuant to Rule 116 of the Rules of Procedure by Zita Gurmai, Anders Wijkman, Vittorio Prodi, Umberto Guidoni and Claude Turmes

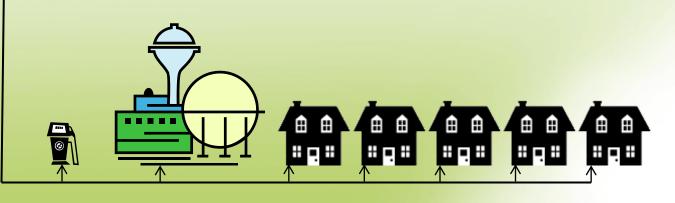
on establishing a green hydrogen economy and a third industrial revolution in Europe through a partnership with committed regions and cities, SMEs and civil society organisations

Lapse date: 14.5.2007



Technische Zusammenfassung







Ergebnisse

- Eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft kann ein Vorbild für die Welt sein. Sie ermöglicht ohne Mehrkosten
 - Frieden,
 - Wohlstand,
 - Umwelt- und Klimaschutz
 - ohne Klimaschutzverhandlungen
- Alle notwendigen Technologien sind verfügbar
 - Die Installation wird die Volkswirtschaft nicht überfordern

Worauf warten wir noch?



Nach Fukushima

Nichts auf der Welt ist so mächtig wie eine Idee, deren Zeit gekommen ist.

Victor Hugo



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

