

# BIOMASSE BASIERTE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

## Projektvorstellung für Entscheidungsträger

### ZIEL

- Energieautarkes Europa mit stabilen und niedrigen Energiepreisen
- Politische und wirtschaftliche Unabhängigkeit
- Lösung des Umwelt- und Klimaproblems ohne zusätzliche Kosten

### LÖSUNGSANSATZ

- Nutzung heimischer Ressourcen, vor allem Biomasse, zur Herstellung von Wasserstoff
- Verteilung des Wasserstoffs über das erweiterte Erdgasnetz
- Umwandlung des Wasserstoffs in Strom und Wärme beim Endverbraucher mittels Brennstoffzellen

Schon wenn Wasserstoff nur in einigen Regionen verfügbar ist, können die Fluktuationen von Windstrom und Photovoltaik mit diesem System ausgeglichen werden, ohne auf Stromspeicher angewiesen zu sein.

Durch den systembedingten Überschuss an Strom bei fast jedem Endverbraucher entsteht eine nahezu verlustfreie wärmegeführte Energiewirtschaft, die nur noch 35% unserer heutigen Primärenergie bei unveränderten Komfortansprüchen benötigt.

### SCHLÜSSELTECHNOLOGIE

Als Schlüsseltechnologie wird die thermochemische Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse betrachtet. Biomasse ist die kostengünstigste Ressource, deren Potenzial ausreicht, alle atomaren und fossilen Energien zu ersetzen – in Deutschland, Europa und weltweit.

Da Brennstoffzellen bereits Nischenmärkte erobert haben und die Infrastruktur zur Verteilung des Wasserstoffs schon teilweise vorhanden ist, konzentriert sich diese Projektmappe auf die Herstellung von Wasserstoff.

### ETAPPENZIEL

Errichtung einer Pilotanlage mit Verwertung des erzeugten Wasserstoffs.

## INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	3
TECHNOLOGIEBESCHREIBUNG	4
DEN ÜBERGANG GESTALTEN	8
ÖKONOMISCHE BEURTEILUNG	9
ETAPPENZIEL	11
HERSTELLUNG VON BRENSOFFZELLEN	13

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Energieerzeugung befindet sich weltweit in einer ökonomischen, ökologischen und politischen Krise. Das Ende des Zeitalters der fossilen Energiequellen ist absehbar, verbunden mit einem Anstieg der Energiepreise sowie einer Zunahme der (auch politischen) Abhängigkeit von Importen. Das durch fossile Brennstoffe verursachte Klimaproblem wird immer deutlicher.

Das nachfolgend beschriebene Konzept weist einen Weg aus diesem Dilemma und basiert auf der thermochemischen Vergasung von Biomasse zu Wasserstoff. Biomasse

- ist im eigenen Land verfügbar und bietet daher eine hohe Versorgungssicherheit,
- ermöglicht eine bedarfsgerechte Energieerzeugung,
- kann fluktuierende Einspeisung aus anderen nachhaltigen Energiequellen kompensieren,
- ist billiger als Erdöl oder Erdgas.

Das vorgeschlagene Gesamtverfahren stützt sich auf drei Pfeiler:

- Thermochemische Vergasung von Biomasse zur Erzeugung von Wasserstoff,
- Transport des Wasserstoffs durch das erweiterte Erdgasnetz zum Verbraucher,
- dezentrale Erzeugung von Strom und Wärme.

Auf diese Weise kann

- eine Reduzierung des Primärenergiebedarfs auf ca. 35% des derzeitigen Wertes erreicht,
- die ausreichende jederzeitige Verfügbarkeit der Biomasse aus dem eigenen Land gewährleistet,
- eine Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Energiepflanzenanbau vermieden,
- der Lebensstandard aufrecht erhalten,
- die gesamte Energiewirtschaft einschließlich Verkehr abgedeckt,
- die Integration bestehender Methoden nachhaltiger Energieerzeugung ermöglicht,
- Emission von Luftschadstoffen weitgehend verhindert,
- der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre gesenkt,
- der Boden fruchtbarer gemacht,
- der Stoffkreislauf geschlossen werden.

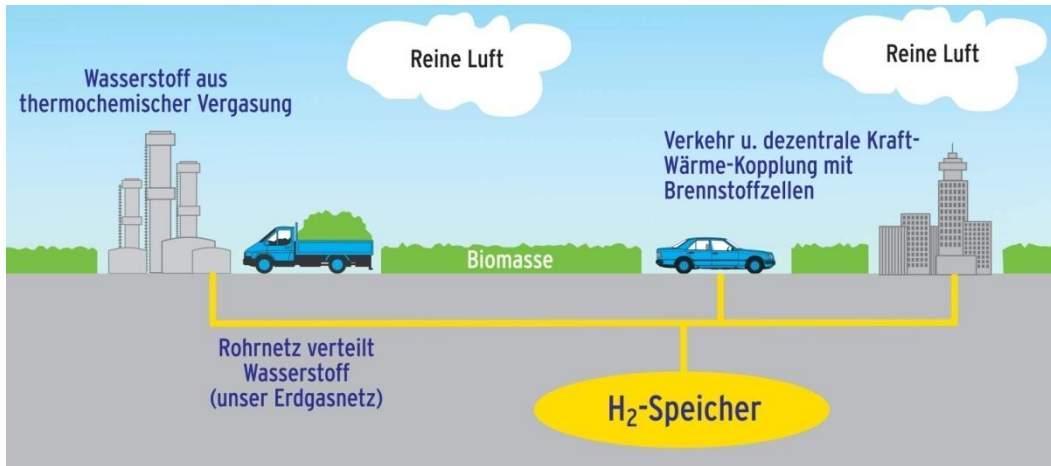
Der wichtigste Punkt ist die Reduzierung der Energiepreise für Strom, Wärme und Treibstoff. Das ist eine Folge von

- billiger Ressource (Biomasse),
- hoher Effizienz der gesamten Energiekette,
- geringe Investitionen für Vergaser und Infrastruktur,
- Vereinfachung der Infrastruktur (nur ein Netz für alles),
- Keine Extrakosten für Umwelt-, und Klima- und Ressourcenschutz.

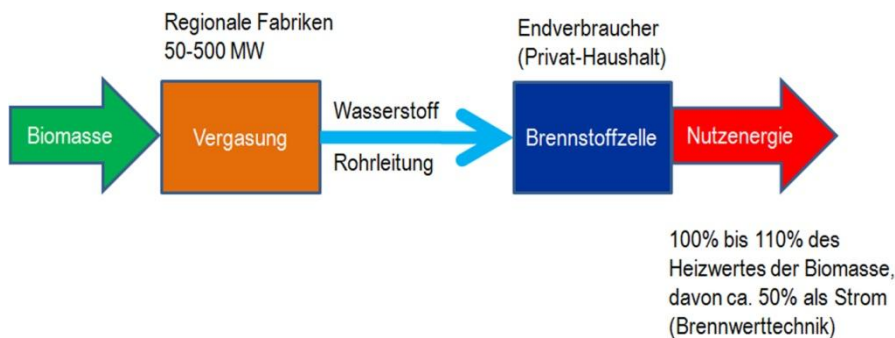
Wenngleich das Anliegen des vorliegenden Vorschlags die Entwicklung und Erprobung der thermochemischen Vergasung von Biomasse ist, so ergeben sich die wesentlichen Vorteile erst durch die Einbindung dieser Schlüsseltechnologie in ein Gesamtsystem. Das ist schon bei der Planung einer Pilotanlage zu bedenken.

## TECHNOLOGIEBESCHREIBUNG

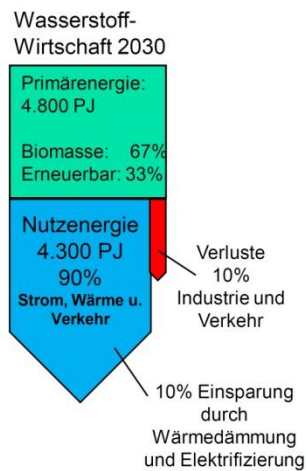
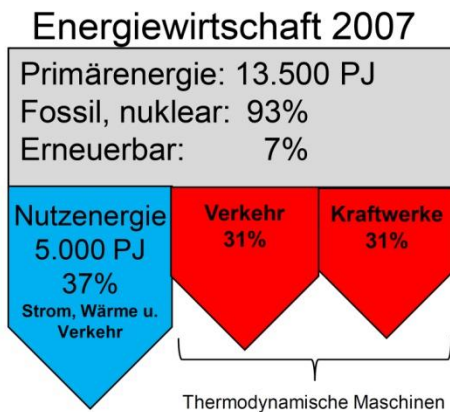
In einer *echten* Wasserstoffwirtschaft wird auf allen Ebenen mit Wasserstoff gehandelt und gewirtschaftet. Das bedeutet, dass der Wasserstoff per Rohrnetz an den Endverbraucher geliefert wird. Erst hier erfolgt die letzte Energiewandlung als KWK zu Strom und Wärme mittels Brennstoffzellen. Das ist effizient und kostengünstig. Leider wird im Sprachgebrauch ein Strommanagement mit zentralem Wasserstoffspeicher und zentraler Rückverstromung ins Netz auch als Wasserstoffwirtschaft bezeichnet und wegen hoher Kosten und hohen Verlusten zu Recht abgelehnt. Daraus folgt die pauschale Ablehnung der Wasserstoffwirtschaft in der Öffentlichkeit. Dieses „ungenauere Denken“ (C. F. Weizsäcker) ist die Hauptursache dafür, dass die Welt die Chancen der echten Wasserstoffwirtschaft zur Lösung des Klima- und Ressourcenproblems nicht erkennen kann.



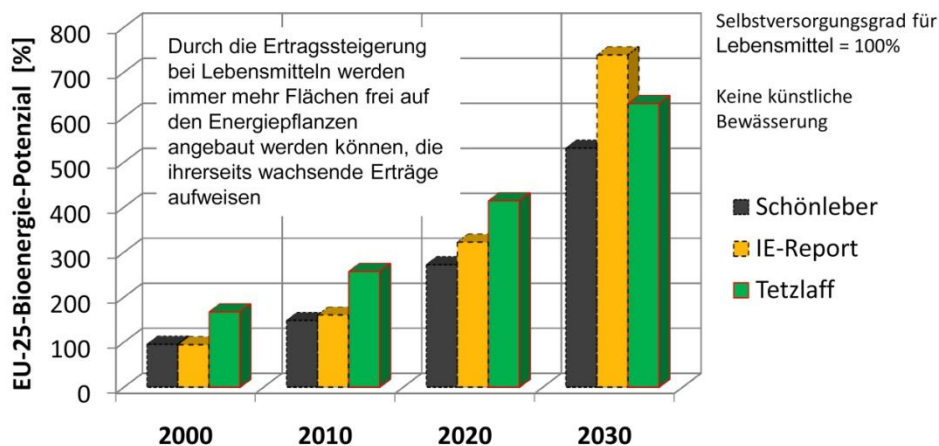
Prinzipiell lässt sich, wie beim Strom, jede Art von Energie in Wasserstoff umwandeln. Biomasse ist lediglich die mit Abstand kostengünstigste Ressource und hat das Potenzial alle atomaren und fossilen Energien zu ersetzen. Es ist eine Energiewirtschaft mit regionalen Wasserstofffabriken von 50-500 MW und dezentralen Brennstoffzellenheizungen im kW-Bereich. Das vieldiskutierte Henne-und-Ei-Problem zwischen Brennstoffzellenfahrzeugen und Wasserstofftankstellen ist gar keins. Eine Tankstelle ist im Wasserstoffnetz (unser Erdgasnetz) ein ganz normaler Verbraucher. Weder bei der ersten Umwandlung in Wasserstoff, noch bei der letzten Umwandlung beim Verbraucher, entstehen Luftschadstoffe. Auch die Diskussion über die zusätzlichen Kosten für Umwelt- und Klimaschutz laufen ins Leere, es gibt sie nicht. Klimaschutzverhandlungen sind eigentlich überflüssig.



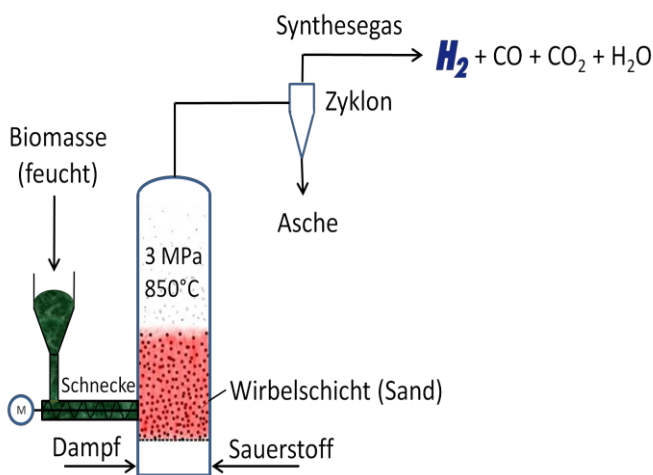
Der Wasserstoff transportiert die gespeicherte Sonnenenergie der Biomasse verlustfrei zum Verbraucher.



Die für Deutschland benötigte Primärenergie sinkt auf ca. 35%. 67% davon = 3.200 PJ entfallen auf Biomasse. Davon müssen nur 1.200 PJ aus Energiepflanzen erzeugt werden. Der Rest kommt aus Abfällen und Reststoffen der Land- und Forstwirtschaft. Eine leicht lösbare Aufgabe also!

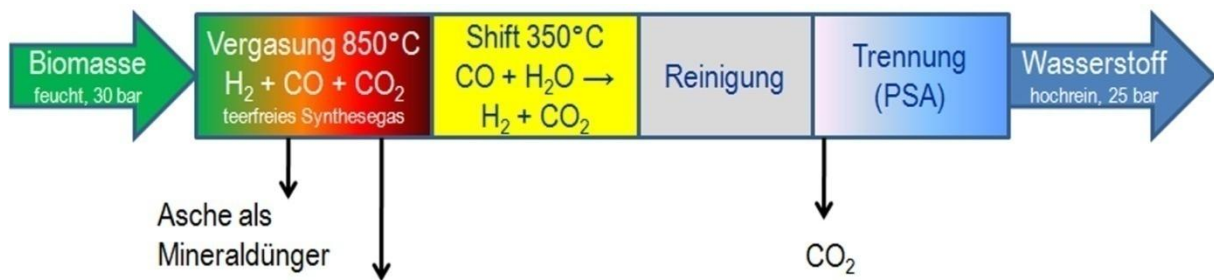


Realistisch betrachtet, wird eine Wasserstoffwirtschaft nicht vor 2030 komplett installiert sein. Dann hat Europa etwa 5-mal so viel Biomasse zur Verfügung als zum Ersatz aller atomaren und fossilen Energien benötigt würde. Das gilt wegen des gemeinsamen Agrarmarktes für jedes Land in Europa und für die meisten Länder der Welt, wenn auch mit unterschiedlichem „overkill“. Die Versorgung mit Lebensmitteln wird nicht gefährdet.



Steam Reformer

Das Grundprinzip der thermochemischen Vergasung ist ural. Jede Industrienation hat aus Kohle Synthesegas (Stadtgas) erzeugt, das ca. 60% Wasserstoff enthielt. Nach weiteren Prozessschritten entsteht aus Synthesegas reiner Wasserstoff.



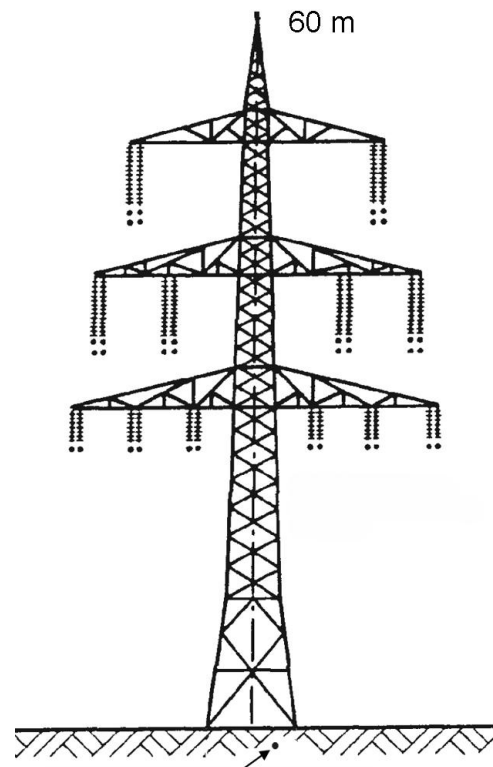
- Option:  
 Holzkohle als Bodenverbesserer (Terra Preta)
- Macht Wüsten grün
  - Macht den Treibhauseffekt rückgängig

Das obige innovative technische Verfahren liefert hochreinen Wasserstoff mit hoher Effizienz auf einen Druckniveau, das den Wasserstoff verlustfrei zum Kunden strömen lässt. Es handelt sich um ein druckaufgeladenes Verfahren mit kaskadierten Wirbelschichtreaktoren. Weil dabei fast teerfreies Synthesegas entsteht, kann die fühlbare Wärme an den Eingangsstrom (feuchte Biomasse) eingekoppelt werden. Das ermöglicht einen Kaltgaswirngungsgrad von ca. 93% (Hu). Mit dem Verfahren kann man den Treibhauseffekt sogar rückgängig machen ohne dafür zu bezahlen. Die Asche kann als Dünger dem Acker wieder zurückgegeben werden.



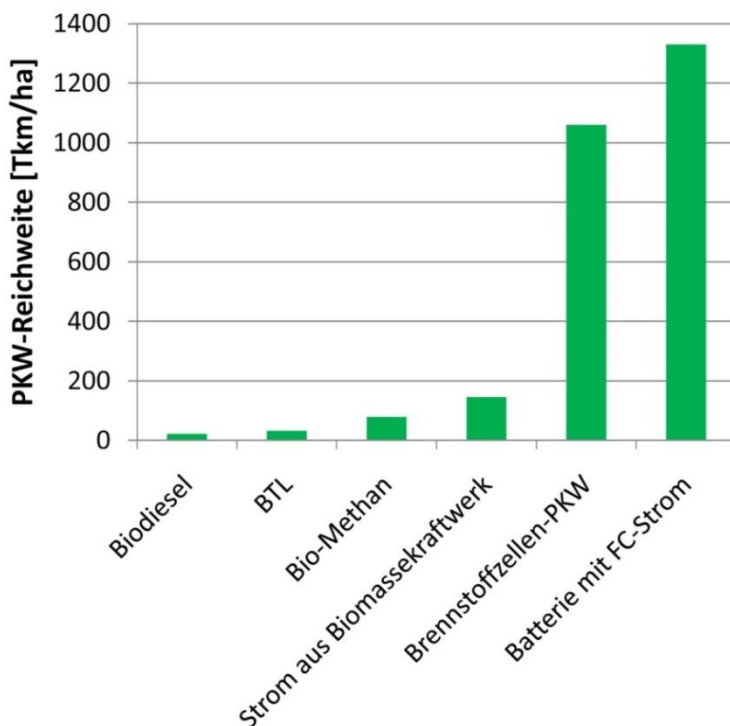
Wie die obenstehende Grafik anschaulich macht, sind die Investitionskosten für die hier dargestellte thermochemische Vergasung zu Wasserstoff kostengünstiger als bei biologischen Verfahren. Das Bild zeigt die Biogasanlage bei Penkun in die der Platzbedarf einer Wasserstofffabrik hineinprojiziert wurde.

In einer Wasserstoffwirtschaft wird die gesamte Energie über ein Rohrnetz transportiert, also Strom, Wärme und Treibstoff. Ein Rohrnetz kann Energie wesentlich kostengünstiger transportieren als ein Stromnetz. Für den Privathaushalt kostet die Rohrnetzmiere ca. 0,2 ct/kWh, die Stromnetzmiere dagegen ca. 7 ct/kWh. Die nebenstehende Grafik macht die Verhältnisse anschaulich. Die Hochspannung und das kleine maßstäbliche gezeichnete Rohr transportieren jeweils 600 MW Energie.



Ein Stromnetz wird es, bis auf lokale Besonderheiten, in einer Wasserstoffwirtschaft nicht mehr geben, weil fast jeder Strom im Überfluss haben wird. Damit wird das Rückgrat unserer Energieversorgung nicht mehr benötigt. Das bedeutet eine enorme Kostenentlastung für unsere Volkswirtschaft. Genau das braucht eine Exportnation wie Deutschland.

Noch deutlicher werden die Unterschiede zwischen alter und neuer Energiewirtschaft an den Fahrzeugantrieben. Die beiden letzten Balken zeigen Elektroantriebe in einer Biomasse basierten Wasserstoffwirtschaft. In gemäßigten Breiten sind reine Batteriefahrzeuge allerdings nicht so überlegen wie hier dargestellt, weil im Winter auch mit Elektroenergie geheizt werden muss. Das verkürzt die Reichweite erheblich. Für Kurzstrecken in der Stadt sind Batterieautos geeignet, eine generelle Lösung sind sie nicht.



**Erträge (Trockenmasse):**

Biodiesel: 1,4 t/ha Biodiesel

BTL: 10t/ha Kurzumtrieb-Holz (Nach dem Stand der Technik muss Biomasse trocken sein)

Biomethan: 20 t/ha Silomais

Kraftwerk: 10 t/ha Kurzumtrieb-Holz; konventionelles Biomassekraftwerk mit  $\eta = 25\%$

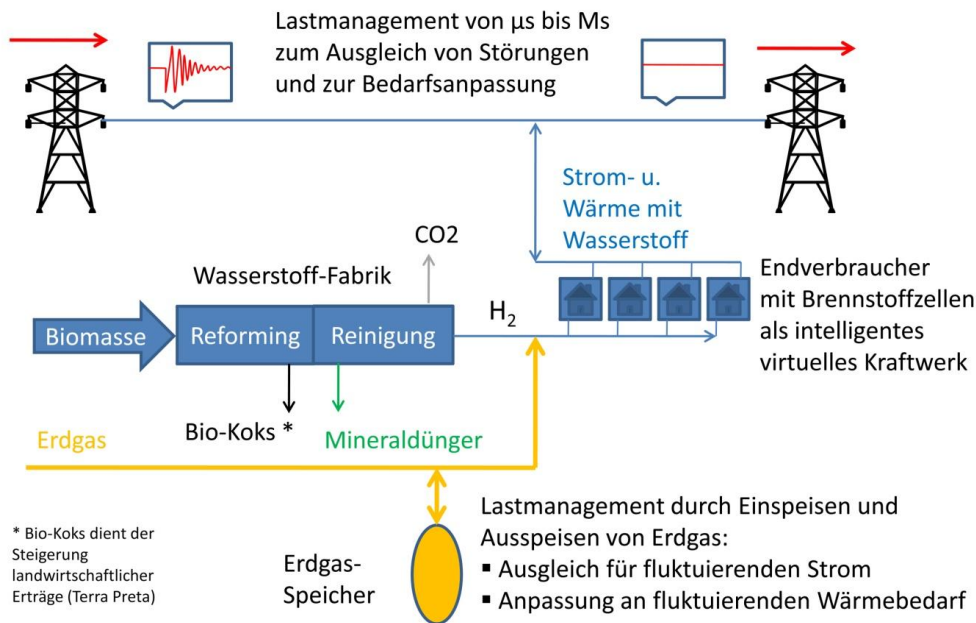
Brennstoffzellen-PKW: 25 t/ha Energiemais, PKW voll elektronisch\*

Batterie mit FC-Strom: 25 t/ha Energiemais, Strom aus Brennstoffzellenheizung, PKW voll elektronisch\*

\* bei weniger ambitionierten Zielen (DOE) und Raffinesse etwa die halbe Reichweite

## DEN ÜBERGANG GESTALTEN

Eine Wasserstoffwirtschaft ist nicht „über Nacht“ zu installieren. In der Übergangszeit sind regionale Wasserstoffcluster hervorragend geeignet, die Fluktuationen aus der Solarstromerzeugung mit dem Bedarf zu Deckung zu bringen – ohne dafür Stromspeicher einsetzen zu müssen. Bildlich gesprochen, werden die Fluktuationen im Stromnetz in Fluktuationen des Erdgasnetzes umgewandelt und von den vorhandenen Kavernenspeichern absorbiert.



Ein virtuelles Brennstoffzellenheizkraftwerk, das mit Wasserstoff oder einer Mischung von Wasserstoff und Erdgas betrieben wird, hat folgende Optionen zur Stabilisierung Stromnetzes:

1. Das virtuelle Kraftwerk kann bei Bedarf für Mikrosekunden, Minuten, Stunden oder Tage mit voller Leistung in das Netz einspeisen.
2. Das virtuelle Kraftwerk liefert keinen Strom ins Netz. Der Wasserstoff wird dann nur für Heizung und Warmwasser genutzt.
3. Das virtuelle Kraftwerk zieht bei Überangebot von Strom, den Strom aus dem Netz und nutzt ihn zum Heizen und zur Herstellung von warmem Wasser.

Wenn das virtuelle Kraftwerk beispielsweise eine nominelle Leistung von 100 MW hat, können durch Stromrichtungsumkehr also 200 MW Disparität von Angebot und Nachfrage ausgeglichen werden. Kurzzeitig (bis zu einigen Stunden) kann das virtuelle Kraftwerk sogar ein Mehrfaches seiner nominellen Leistung in das Netz abgeben oder aufnehmen. Die Länge der Hochleistungszeit hängt von der Größe des Warmwasserspeichers, dem Anteil des Erdgases im Netz und der Jahreszeit ab. Im Hochsommer kann das virtuelle Kraftwerk nur Strom abgeben, wenn Wärmeabnehmer vorhanden sind oder die Wärme über einen Kühlkreislauf abgeführt wird. Im ungünstigsten Fall sinkt der Gesamtwirkungsgrad im Hochsommer von 108 auf 60%.

Natürlich ist die Nutzung von Windstrom zum Heizen gewöhnungsbedürftig. Man wird sich aber daran gewöhnen müssen, dass in einer Wasserstoffwirtschaft Strom nicht wertvoller ist als Wärme. Auch bei einer Brennstoffzellenheizung wird im Regelfall ein Teil des hergestellten Stromes zum Heizen genutzt. Der überschüssige Windstrom lässt sich auch per Wasserelektrolyse in Wasserstoff umformen um ihn beispielsweise Tage später in einer Brennstoffzellenheizung zu verstromen. Das erfordert aber eine zusätzliche Investition.

Die Kilowattstunde aus Wasserstoff ist, wie weiter unten dargestellt wird, im Zweifelsfall billiger als Erdgas und billiger als Windstrom. Wie dann der Windstrom den Weg zu den Tauchsiedern der Brennstoffzellenheizung findet, ist gegebenenfalls politisch zu klären.

Zur Beherrschung fluktuierender Solarenergie brauchen wir also weder Zwangsabschaltungen (wie im EEG festgeschrieben), noch Stromspeicher (auch nicht in Autos), noch Wasserstoffspeicher, noch ein Supernetz von Sibirien bis Afrika (DESERTEC).

## ÖKONOMISCHE BEURTEILUNG

Für die ökonomische Beurteilung werden zwei Szenarien ausgewählt.

- Ein EEG-Szenarium mit regionalen Wasserstoffnetzen und virtuellen Kraftwerken mit einer Vielzahl von Brennstoffzellenheizungen, die Strom gemäß EEG in das noch vorhandene Stromnetz einspeisen.
- Ein Markt-Szenarium einer Wasserstoffwirtschaft ohne EEG-Vergütung

### Ausgangsdaten für eine 50MW<sub>th</sub> Wasserstoff-Fabrik:

Input: 9,3 t/h Biomasse (als Trockenmasse gerechnet) zu 100 €/t; 5,8 MW Überschuss-Strom von Kunden.

Brennstoffzelle:  $\eta = 60\%_{el}$

Output: 50 MW Wasserstoff (Hu)= 55 MW (Ho); davon können 24,2 MW Strom nach EEG verkauft werden. 29,8 MW sind als Wärme nutzbar.

EEG-Vergütung für Strom: 21 ct/kWh (Einzelfallprüfung erforderlich)

Betrieb: 8.000 h/a.

Die Investitionen für eine 50 MW-Fabrik betragen **20 Mio. €**, für eine 500 MW-Fabrik **80 Mio. €**<sup>a</sup>

### EEG-Szenarium

Anlagengröße	50 MW <sub>H2</sub> [Mio. €/a]	500 MW <sub>H2</sub> [Mio. €/a]	Bemerkungen
Abschreibung 10%	-2	-8	
Reparatur 5%	-1	-4	
Zinsen 5%	-1	-4	
Versicherung 1%	-0,2	-2	
Personalkosten	-0,8	-1,2	
Stromkosten			Strom-Recycling
Biomassekosten	-7,4	-74	
Gasverteilungskosten	-3,0	-30	0,7 ct/kWh <sup>b</sup>
Erlös für Strom	40,7	407	21 ct/kWh
Erlös für Wärme	15,3	153	6,4 ct/kWh *
<b>Unternehmergewinn</b>	<b>40,6</b>	<b>436,8</b>	

**Tabelle 1 Mögliche Pioniergewinne**

\* 6,4 ct/kWh (ohne MWSt) ist der Durchschnittspreis für Haushalte. Ob die Wärme, wie hier unterstellt, vollständig genutzt werden kann, hängt von der Infrastruktur und der Anpassung der Brennstoffzellenheizung an den Wärmebedarf ab. In einem Mischnetz mit Wasserstoff + Erdgas ist die Wärmenutzung generell höher. Auch wenn man die Wärme verschenken würde, wäre der Unternehmergewinn noch sehr hoch.

An diesem Beispiel sieht man, dass der Gewinn überwiegend durch den Stromverkauf nach EEG generiert wird.

<sup>a</sup> Vorläufige Daten aus: Karl-Heinz Tetzlaff; Wasserstoff für alle; BoD Verlag 2008; ISBN 978-3-8370-6116-1

<sup>b</sup> Entspricht § 20a der GasNEV von 2008

## Markt-Szenarium

Anlagengröße	50 MW <sub>H2</sub> [Mio. €/a]	500 MW <sub>H2</sub> [Mio. €/a]	Bemerkungen
Abschreibung 10%	-2	-8	
Reparatur 5%	-1	-4	
Zinsen 5%	-1	-4	
Versicherung 1%	-0,2	-2	
Personalkosten	-0,8	-1,2	
Stromkosten			Strom-Recycling
Biomassekosten	-7,4	-74	
Erlös für CO <sub>2</sub> -Zertifikate	4	40	30 €/t
<b>Wasserstoff-Herstellkosten</b>	<b>8,4</b>	<b>51,2</b>	

**Tabelle 2 Herstellkosten**

Bei Einrechnung einer Lizenzgebühr von 0,2 ct/kWh ergeben sich folgende Energiepreise:

	[ct/kWh] Heizwert	[ct/kWh] Brennwert
Wasserstoff-Herstellpreis	2,3	1,9
Industrie-Tarif (inklusive 0,3 ct/kWh für Verteilung)	2,6	2,2
Haushaltstarif (inklusive 0,7 ct/kWh für Verteilung)	3,0	2,5

**Tabelle 3 Wasserstoffpreise für eine 50 MW-Fabrik**

	[ct/kWh] Heizwert	[ct/kWh] Brennwert
Wasserstoff-Herstellpreis	1,5	1,3
Industrie-Tarif (inklusive 0,3 ct/kWh für Verteilung)	1,8	1,5
Haushaltstarif (inklusive 0,7 ct/kWh für Verteilung)	2,2	1,9

**Tabelle 4 Wasserstoffpreise für eine 500 MW-Fabrik**

Mit einer Brennstoffzellenheizung lässt sich also sowohl Strom als auch Wärme zum Preis von 2 bis 3 ct/kWh herstellen. Bei Massenproduktion wird eine Brennstoffzellenheizung voraussichtlich nicht mehr kosten als eine Gastherme heute. Da Wärme für Haushalte heute im Mittel mehr als 6 ct/kWh kostet, lassen sich mit Wasserstoff gute Geschäfte machen.

## Fazit

Eine grüne Wasserstoffwirtschaft kann sich also gegenüber der heutigen Energiewirtschaft gut behaupten. In einer funktionierenden Marktwirtschaft werden wir mit einer grünen Wasserstoffwirtschaft voraussichtlich niedrige stabile Energiepreise bekommen.

Die Aussicht auf einen Strom- und Wärmepreis für die Industrie von ca. 2 ct/kWh wird ein Feuerwerk der Prosperität auslösen (Kondratjew-Zyklus) und ungeahnte politische und persönliche Freiheiten ermöglichen.

Um der Öl- Klima- und Kostenfalle zu entkommen verbleibt allerdings nur ein Zeitfenster von 10 bis 20 Jahren.

## Anmerkung

vollen Umwelt- und Klimaschutz gibt es umsonst, Versorgungssicherheit auch. Diese Fakten müssten eigentlich in eine ökonomische Beurteilung einbezogen werden. Auch wenn das im Einzelfall schwierig zu quantifizieren ist, hat eine volkswirtschaftliche Betrachtung ein größeres Gewicht als die hier dargestellten Fakten aus betriebswirtschaftlicher Sicht.

## Pilotanlage

Die angestrebte Nutzung jedweder Biomasse macht eine Pilotanlage erforderlich. Anlagen mit ca. 10 MW zur Vergasung von Biomasse sind zwar bekannt, doch sind diese auf die Erzeugung eines Gases optimiert, das für Gasmotoren geeignet ist. Diese Verfahren sind daher drucklos, die Gasqualität niedrig (bis 50mg/m<sup>3</sup> Teer).

Für die Erzeugung von hochreinem Wasserstoff zur Einspeisung in das Erdgas-Mitteldrucknetz, wäre es unwirtschaftlich die bestehenden Anlagen mit Verdichtern und aufwendigen Anlagen zur Gasreinigung auszustatten. Deshalb soll ein Bündel von Erfindungen genutzt werden, hochreinen Wasserstoff auf hohem Druckniveau zu erzeugen. Es wird ein druckaufgeladenes Verfahren (30bar) mit kaskadierten Wirbelschichtreaktoren vorgeschlagen, bei dem der Druck durch eine Biomasse-Spezialschnecke aufgeprägt wird. Der Teergehalt wird im Wesentlichen durch primäre Maßnahmen reduziert, um die Brennstoffzellenspezifikation von <0,1 mg/m<sup>3</sup> Teer einzuhalten. Der niedrige Teergehalt im Synthesegas ermöglicht einen außerordentlich hohen Kaltgaswirkungsgrad von ca. 93% (Hu). Für ein sicheres Scale-up auf eine wirtschaftliche Anlagengröße von einigen 100 MW, wird für die Pilotanlage eine Größe von 50 MW vorgeschlagen. Bei einer homogenen Biomasse kann die Anlage aber auch kleiner sein. Die erforderliche Biomasse von ca. 80.000 t/a (Trockenmasse) für eine 50 MW-Anlage kann ländlichen Regionen in einem Radius von ca. 4 km erzeugt werden, wenn auf der Hälfte der Ackerflächen Energiepflanzen angebaut werden. Für die Pilotanlage sollte im Interesse des Anlagenbaus eine Optimierungsphase von ca. 2 Jahren eingeplant werden. Die Pilotanlage kann nach Abschluss der Optimierungsphase wirtschaftlich betrieben werden. Das spart Zeit und Geld. Das Versuchsprogramm betrifft folgende Problemstellungen:

- Optimierung der Biomasse-Schnecken. Das kann schon in der Projektphase beginnen.
- Optimierung des Trockners (Gaszusammensetzung, Gasgeschwindigkeit, Temperatur, Verweilzeit)
- Beherrschung des Teerproblems (Temperaturverlauf in der Kaskade, Größe der Sandkörner, Einbauten)
- Optimierung der Heizung (Aufteilung auf Reaktoren, Temperaturverlauf, Ascheerweichung)
- Nutzung von Sauerstoff anstelle von Strom
- Schleusensysteme für Sand und Asche, Abscheidung von Holzkohle (Terra Preta)
- Optimierung der Gasreinigung (trocken, nass, Fällung durch Eisen-II usw.)

Diese Optimierung kostet Zeit und Geld. Es wird damit gerechnet, dass eine 50 MW Pilotanlage mit ca. 40 Mio. € doppelt so viel kostet wie die späteren Serienanlagen. Wie man durch Einsetzen der Investitionssumme in Tabelle 1 überprüfen kann, lassen sich nach Abschluss der Optimierungsphase auch mit einer Pilotanlage gute Gewinne erzielen.

## Infrastruktur

Die Anforderungen an den Standort der Wasserstoff-Fabrik sind gering. Für die Nutzung des Wasserstoffs gibt es viele standortspezifische Varianten:

- Verstromung vor Ort im Stil der alten Energiewirtschaft. Eine Verstromung mit Brennstoffzellen hat allerdings einen höheren elektrischen Wirkungsgrad und niedrigere spezifische Investitionskosten. Möglicherweise ist auch die Lebensdauer höher als bei Motoren. Bei diesem Modell kann die Wärme in der Regel nicht genutzt werden.
- Einspeisung in eine Erdgasleitung als Erdgasersatz und falls möglich, Verträge mit fernen Motor-BHKW's. Da der Wobbe-Index von Wasserstoff und Erdgas nahezu gleich ist, müssen die Brennerdüsen bei den Verbrauchern voraussichtlich nicht ausgetauscht werden.

- Einspeisung in ein Erdgasnetz, das für Wasserstoff besonders konditioniert ist. In diesem Netz lassen sich auch Brennstoffzellen betreiben. Der Wasserstoffanteil kann zwischen 5 und 100% schwanken. Mit dieser Variante lässt sich ein großer Teil der Wärme aus den Brennstoffzellen nutzen und der Wasserstoff nahezu vollständig verstromen. Es eröffnet darüber hinaus vielfältige Möglichkeiten das Stromnetz zu stabilisieren.
- Betrieb eines reinen Wasserstoffnetzes mit einer begrenzten Zahl von Kunden, die den Wasserstoff überwiegend verstromen und in das Netz einspeisen. Je nach Kundenzahl, geht dabei mehr oder weniger Wärme verloren. Die Begrenzung der Kunden ist deshalb sinnvoll, weil bei Ausfall der Wasserstoff-Fabrik eine Vollversorgung mit Netzstrom gewährleistet werden muss.

Diese Varianten sind beliebig kombinierbar. Für die Installation einer Wasserstoffwirtschaft ist es wichtig, mit einer kleinen Zahl von Nutzern (50?) zu demonstrieren, wie eine echte Wasserstoffwirtschaft funktioniert.

Die Situation in Deutschland ist derzeit so, dass die Brennstoffzellenheizungen (<50kW) voll aus dem Mini-BHKW-Programm der Bundesregierung finanziert werden können.

## HERSTELLUNG VON BRENNSTOFFZELLEN

Die hier benötigten Brennstoffzellen werden noch nicht in großen Stückzahlen produziert (einige hundert/a). Deshalb sind Preisangaben kaum möglich. Andererseits würde die Automobilindustrie nicht auf Brennstoffzellen setzen, wenn sie nicht sicher wäre, dass der Preis nicht auf < 50 €/kW installierter Leistung sinken würde.

Eine Brennstoffzelle ist wie geschaffen für eine Massenproduktion. Im Wesentlichen besteht die Produktion aus 5 Prozessschritten:

1. Die Herstellung eines ionenleitenden Polymers
2. Der Herstellung einer speziellen Kunststoffbahn von Rolle zu Rolle, wie bei Plastiktüten.
3. Der beidseitigen Beschichtung mit platinhaltigem Kohlepulver (Membran-Elektroden-Einheit=MEA)
4. Der Herstellung der Gasverteilungsplatte (Bipolar-Platte aus Blech oder Kunststoff)
5. Montage

Die Herstellung des Polymers ist ein klassisch chemischer Prozess. Da nur hauchdünne (50 µm) Folien benötigt werden, sind die Produktionsanlagen für den Weltbedarf verhältnismäßig klein. Von den anderen Prozessschritten erfordert nur die Montage eine mit speziellen mit Robotern ausgestattete Montagehalle. Die anderen Prozessschritte kann man bei Lohnunternehmen in Auftrag geben. Der langsamste Schritt ist Nr. 3: die Herstellung von MEA's mit einer elektrischen Leistung von 1.000 MW (Biblis) erfordert auf einer gewöhnlichen Beschichtungsanlage (Cogema in NRW) ca. 2 Tage. In einem Jahr ist dann das Doppelte der heutigen maximalen Kraftwerk-Höchstleistung gefertigt – zu beinahe vernachlässigbaren Kosten. Danach bleibt genügend Zeit, die Autos mit Brennstoffzellen auszurüsten.

10.09.09 Tz/Wd

H<sub>2</sub>-Patent GmbH, Bad Iburg

Postfach 13 61

Kontakt über Karl-Heinz Tetzlaff, Kelkheim

[Tetzlaff@h2-patent.eu](mailto:Tetzlaff@h2-patent.eu)

Tel. 06195-960813

