

[Dr. Bodo Wolf](#), Energie-/Ingenieurökonom

*Dieser Standpunkt ist das Ergebnis des Autors nach über 25-jähriger Führungstätigkeit in der Produktion sowie Forschung und Entwicklung in der Roh-/Brennstoff & Energiewirtschaft, und nachfolgenden fast 30-jährigen unternehmerischen Aktivitäten im Bereich Energie und Verfahrenstechnik. Der Autor war während seiner über 55-jährigen Karriere Wissenschaftler, Forscher, Erfinder, und Unternehmer. Seine Vision ist die industrielle Nutzung der [Fotosynthese](#). Er sieht den natürlichen Kohlenstoffkreislaufprozess als Schlüssel zum Klimaschutz an. Der Autor erhielt eine Vielzahl von Ehrungen und Auszeichnungen für seine Arbeit, u.a. den Ehrentitel „Ökomanager des Jahres 2005“ verliehen vom WWF und der Zeitschrift Capital.*

## **Beitrag zur Minimierung des Risikos bei der Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesrepublik Deutschland**

### **Inhalt**

1. Einleitende Zusammenfassung .....	1
2. Was tun - molekularer Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe? .....	6
2.1. Wasserstoffhandling .....	6
2.1.1. Molekularer Wasserstoff .....	6
2.1.2. Hydride .....	7
2.1.3. Synthese von Wasserstoff mit Kohlenstoff aus Kohlendioxid .....	7
2.2. Kraft- und Brennstoffe aus organische Reststoffen .....	9

## **1. Einleitende Zusammenfassung**

Das aktuelle global finanz-kapitalistische Wirtschaftssystem ist ein spekulatives Schneeballsystem, das, wie jedes System dieser Art, nur existieren kann, wenn permanentes Wachstum gesichert ist. Die Entwicklung der Armenhäuser der Welt zu ergiebigen Absatzmärkten scheint dafür nicht ausreichend. Die Eliten der globalisierten Wirtschaft, ihre Politiker und politiknahe Wissenschaftler suchen deshalb nach neuen Wegen für die Fortsetzung der wirtschaftlichen Expansion.

Ein Weg dafür wird in Abwrackprogrammen für physisch intakte, aber für moralisch verschlissen erklärte Wirtschaftsgüter im großen Stil gesehen. Moralisch verschlissen heißt philosophisch „nicht mehr wettbewerbsfähig“, d.h. subjektiv, nicht mehr zeitgemäß. So werden derzeit Wirtschaftsgüter die mit Kohlendioxidemissionen behaftet sind, im noch nie dagewesenen Umfange für moralisch verschlissen erklärt und ohne Rücksicht auf die alternativen Ressourcen der Erde, zur Verschrottung angewiesen. Grundlage dafür sollen politische Klimaschutz- und Transformationsprogramme sein, deren Ziel eine Gesellschaft mit signifikant reduzierten Emissionen an Kohlendioxid sein soll.

Die Auswirkungen einer solchen Dekarbonisierung auf den natürlichen Reproduktionsprozess des Lebens sind nicht geprüft, obwohl bekannt ist, dass es ohne Kohlenstoff kein Leben geben kann.

Aktuell will die Bundesrepublik Deutschland mit einer nationalen Wasserstoffstrategie daran teilnehmen, neue Märkte erschließen und die deutsche Wirtschaft so zukunftsfähig machen. Diese Programme sind Ergebnis eines populistischen Glaubens an eine von Menschen gemachte Erderwärmung, dem jeder wissenschaftlich, aus dem natürlichen Reproduktionszyklus des Lebens der Biosphäre ableitbarer, Beweis fehlt.

Mit dieser Materie nicht vertraute Wissenschaftler und Politiker sehen die global steigenden Oberflächentemperaturen der Erde als Folge des gemessenen Anstiegs der Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre. Diese Auffassung ist falsch. Die Temperatur der Biosphäre ist keine Funktion des Kohlendioxids in der Atmosphäre, sondern das Kohlendioxid in der Atmosphäre ist eine Folge der mittleren Temperatur der Biosphäre. So wie die Sonne sich nicht um die Erde dreht. Dieses Nichterkennen von Ursache, Wirkung und Folge resultiert aus einer mehr als 100 Jahre alten Spekulation des Physikers Arrhenius und Temperaturmessungen, die eigentlich nur die Auswertung der Eiskernbohrung „Wostok“ bestätigen, der entsprechend sich die Erde erneut in einer Endphase einer ihrer zyklischen Warmzeiten befindet, in der mit einem weiteren Anstieg der mittleren Temperatur der Biosphäre von 1,5 bis 2,0 °C zu rechnen ist. Diese Werte wurden anmaßend zu Erkenntnissen der deutschen Klimaforschung und zu Erfolgskriterien der internationalen Klimaschutzprogramme erklärt.

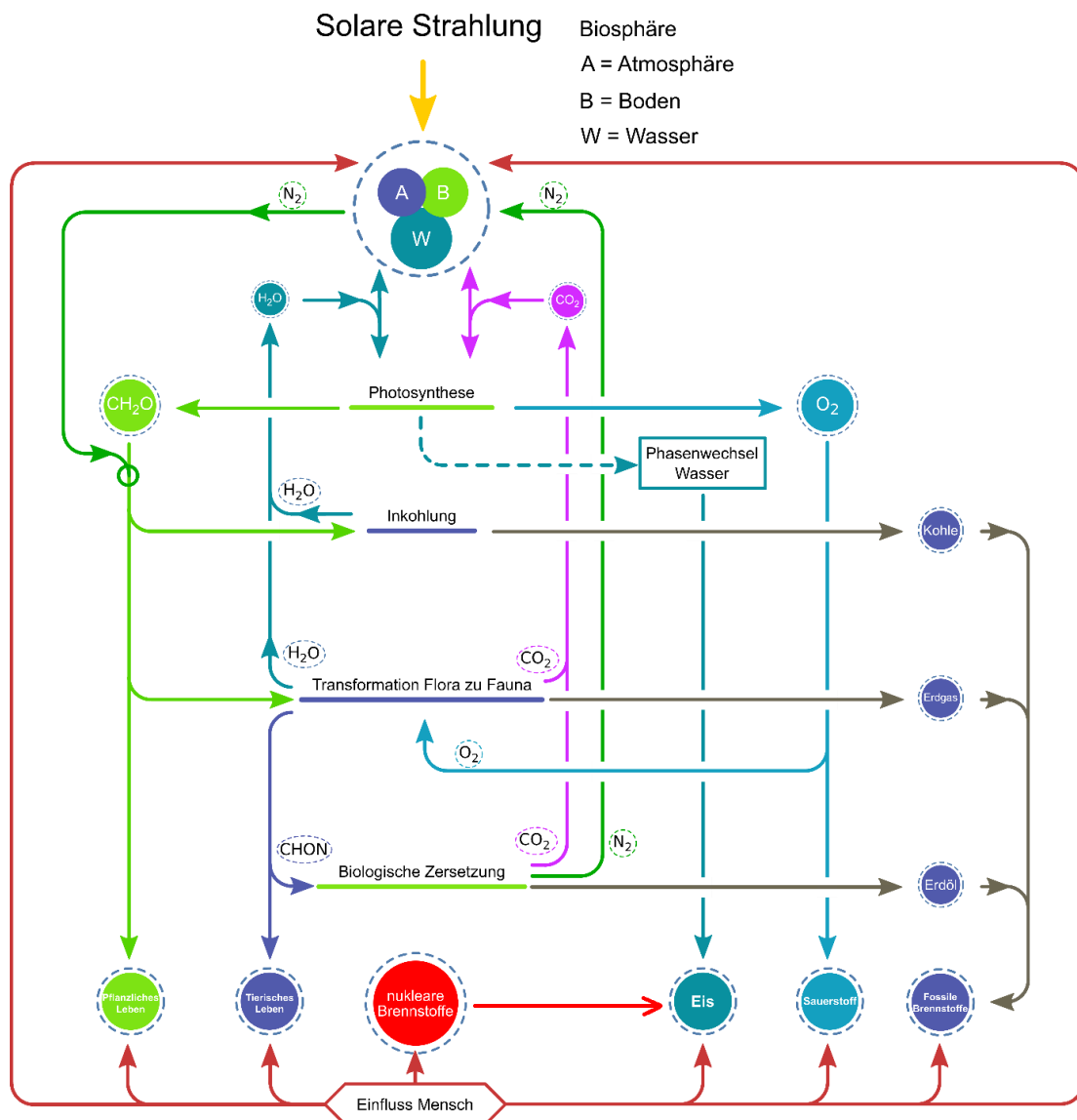
Inzwischen gibt es aber auch Expertisen, die davon ausgehen, dass eine Wasserstoffstrategie zum Schutze des Klimas, wegen der vorhandenen alternativen Ressourcen der Erde, scheitern und größere Umweltschäden verursachen wird, als die bisherige Wirtschaftsweise.

Unabhängig davon besteht, aber eben wegen der begrenzten Ressourcen an Kohle, Öl und Gas und der Unverträglichkeit von Kernenergie aller Art gegenüber dem Reproduktionsprozess des Lebens auf der Erde, die die Nutzung von Kernenergie grundsätzlich nicht zulässt, Handlungsbedarf. Entscheidend ist somit der nachfolgend beschriebene Einfluss der Menschen auf die Biosphäre.

In dieser Situation ist es für jedes der handelnden Unternehmen von existenzieller Bedeutung, Wege mit minimiertem Risiko für die Gestaltung ihrer Zukunft zu finden. Den Ansatz dafür bietet das Thermodynamische System Kohlenstoff-Wasserstoff-Sauerstoff (CHO) der Biosphäre, als Grundsystem allen Lebens auf der Erde und sein Reproduktionsprozess, der nicht mit Erde zu Erde, sondern mit Kohlendioxid und Wasser beginnt und endet.

Aus Kohlendioxid reproduzierter Kohlenstoff ist nicht nur der Träger des Lebens, sondern auch wasserstoffbindender Energieträger, auch in Form von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen. Wie die nachfolgende Abbildung 1 zeigt, ist der Feind der Menschen nicht das Kohlendioxid, sondern die Einflussnahme der Menschen auf den Boden, das Wasser und die Atmosphäre sowie auf die von der Natur geschaffenen materiellen Energiepotenziale der Flora und Fauna, des Sauerstoffs, der fossilen Brennstoffe der Erde, sowie auf die an Eis und Schnee.

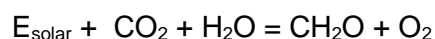
Zu lösen ist der Konflikte der Menschen mit der Natur, nur durch den Übergang zu stofflich geschlossenen, reproduktionsfähigen Kreisprozessen, auf der Basis von Kohlendioxid, Wasser und solarer Strahlungsenergie.



*Abbildung 1: Der Reproduktionsprozess des Lebens auf der Erde*

Die chemischen Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sowie Stickstoff und Schwefel der organischen Chemie sind die Hauptbausteine der Reproduktion allen Lebens im Wasser, im Boden und in der Luft auf der Erde und in Form von Kohlendioxid und Wasser (nicht die Asche) der Anfang und das Ende der Reproduktion des Lebens auf der Erde (Bild 1). Wer sich daran vergreift, vergreift sich am Leben.

Dieser Reproduktionsprozess im quasi stofflich geschlossenen System der Biosphäre der Erde, wird vom natürlichen Kohlenstoffkreisprozess dominiert, der solare Strahlung in potenzielle organische Energie umwandelt. Er ist gekennzeichnet durch die Dynamik der Energiepotenziale der Flora und Fauna, des Sauerstoffs sowie der an Eis und Schnee, aber auch der fossilen Brennstoffe aus den Kreislaufelementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff bzw. Ihrer Moleküle, entsprechend



/1/

und folgende Prozessstufen:

- die Photosynthese von Kohlendioxid und Wasser zu pflanzlichen Kohlehydraten /1/
- dem permanenten Energie- und damit Stoffaustausch zwischen der organischen und der anorganischen Materie, der sich zeigt in der
- Einbindung von Stickstoff, Schwefel und der anderen Elemente der Asche
- Inkohlung von Pflanzen zu Kohle unter Freisetzung von Wasser
- Umwandlung der Pflanzen der Flora in tierisches Leben der Fauna unter Bildung von Methan, Kohlendioxid und Wasser
- Verwesung von tierischen Kadavern zu Kohlendioxid und Wasser unter Freisetzung von Schwefelwasserstoff und Ammoniak
- mikrobiologischer Zersetzung von tierischem Leben zu Erdöl unter Freisetzung von Kohlendioxid und
- die Verbrennung von Pflanzen, Kohle, Gas und Erdöl zu Kohlendioxid und Wasser unter Freisetzung von Asche, Schwefel- und Stickoxiden.

Auf die erste und letzte Prozessstufe des Reproduktionsprozesses nimmt der Mensch, insbesondere durch Nutzung von Boden, Wasser und Luft sowie seinem Bedarf an technischer Arbeit und thermischer Energie, stark Einfluss. Zu erkennen ist, dass Kernenergie, obwohl ohne Kohlendioxidemission freigesetzt, die Kältepotenziale der Biosphäre reduziert und damit das Gleichgewicht des Reproduktionsprozesses des Lebens stört. Der Kohlenstoffkreisprozess kann dagegen erhöhte Konzentrationen an Kohlendioxid, trotz Behinderung durch die Menschen, nutzen zur Steigerung des Bestandes der Flora (Immunsystem der Erde). Allein schon daraus ergibt sich, dass eine Dekarbonisierung die Fähigkeit der Biosphäre zur Reproduktion und Kühlung, durch Umwandlung von solarer Energie in potenzielle Energie der Biosphäre, reduziert. Damit ist die Dekarbonisierung der Wirtschaft kein Beitrag zum Klimaschutz, sondern einer zur weiteren Erwärmung der Biosphäre der Erde.

Eine große Anzahl von Menschen haben sich, in Ermangelung fehlenden Wissens über das System des einheitlichen Organismus des Lebens (Alexander von Humboldt), allerdings dem Glauben angeschlossen, dass sie durch Emissionen von Kohlendioxid für eine unnatürliche, das Leben gefährdenden und das Klima extrem verändernden Erwärmung der Erde, signifikant verantwortlich sind. Sie erkennen nicht, dass das molekulare Kohlendioxid in der Atmosphäre, ausschließlich eine Funktion der Temperatur ist und dass, wegen des Satzes vom Erhalt der Energie, die Umwandlung von fossiler und atomarer potenzieller Energie in fühlbare Wärme, die Umwandlung von Reflexions- in Absorptionsflächen an den Kältepotenzialen zur Folge hat und dass das ihr nachweisbarer Beitrag zur Erwärmung der Biosphäre ist.

Die meisten nationalen, politischen Führungen auf der Erde haben sich rein emotional der Fehlinterpretation über die Wirksamkeit eines kohlendioxidbedingten Treibhauseffekts der Atmosphäre und internationalen Klimaschutzprogrammen angeschlossen. Ihnen wurde eingeredet, dass sie durch Ächtung der Nutzung fossiler Brennstoffe und der damit verbundenen Reduzierung der Kohlendioxidemissionen, das Klima schützen können.

Allein durch Besteuerung der von Menschen verursachten Emissionen an Kohlendioxid soll eine Senkung des Brennstoffverbrauchs, ein Ausbau der solar-regenerativen Energie und eine Steigerung der Energieeffizienz, auch in der Mobilität und im Wärmesektor, erreicht werden.

Aus dem Irrglauben an einen menschengemachten, kohlendioxidbedingten Treibhauseffekt der Atmosphäre resultieren aber auch erneute Forderungen, neben dem Anteil an Strom aus solar-regenerativer Energie, auch den aus weiterentwickelten Kernenergieanlagen und aus Tiefengeothermie beschleunigt auszubauen und zur Basis einer kohlenstofffreien Wasserstoffwirtschaft zu machen.

Das kann ein für das Leben auf der Erde letztlich tödlicher Irrtum sein, denn die Verträglichkeit einer, in den natürlichen Reproduktionsprozess des Lebens integrierte molekulare Wasserstoffwirtschaft, kann mit der derzeitigen Energielehre leider nicht geprüft werden. Sie erfasst den Reproduktionsprozess des Lebens nicht. Eine Fortschreibung der Energielehre ist deshalb für fundierte Entscheidungen für die Zukunft der Menschen und zur Vermeidung von politisch populistischem Aktionismus zwingend erforderlich.

Eine große Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen postulieren inzwischen auch, dass die geplante Wasserstoffwirtschaft mit den Rohstoffreserven der Erde noch weniger gestaltet werden kann, als die konventionelle Brennstoffwirtschaft, so dass eine Wasserstoffwirtschaft den Reproduktionsprozess des Lebens auf der Erde mehr schädigt, als ein mit Solarenergie angetriebener regenerativer Kohlenstoffkreisprozess (Abbildung 2).

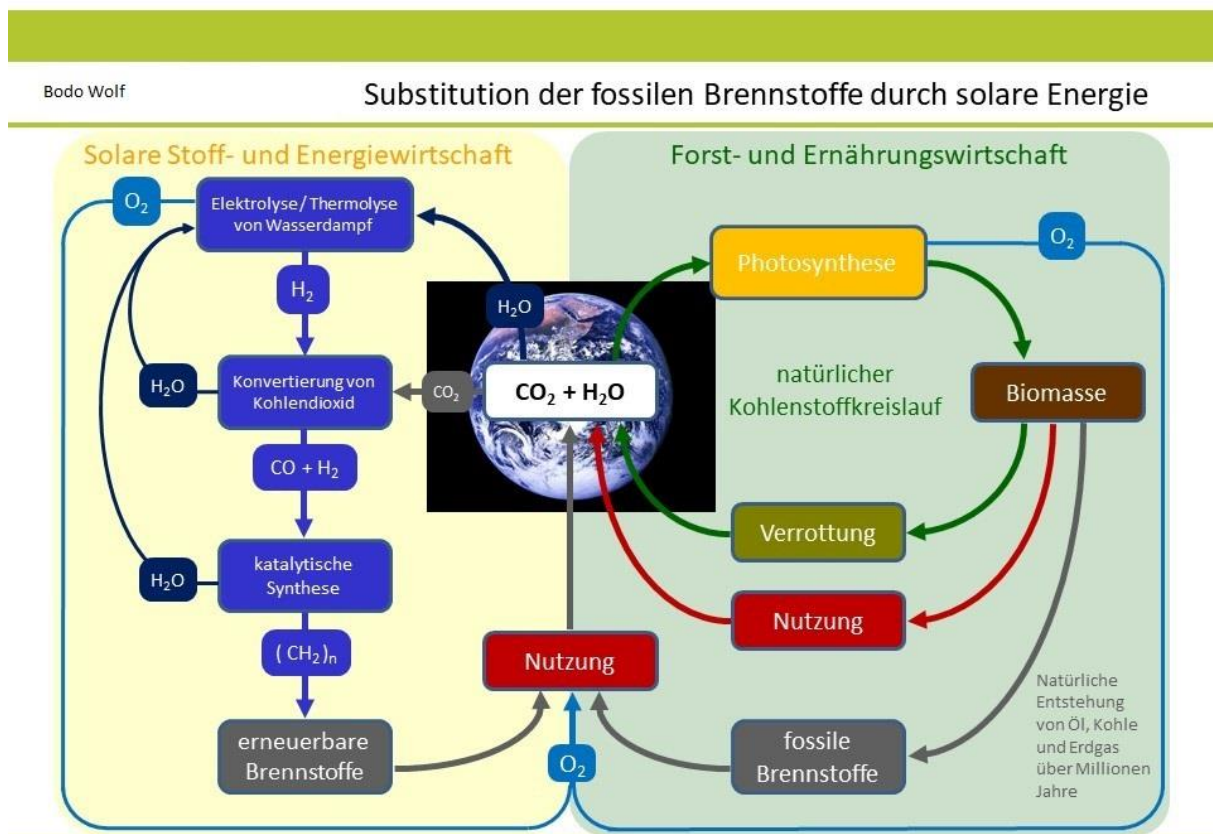


Abbildung 2: Energetische Entlastung des natürlichen Kohlenstoffkreisprozesses von Kohlendioxidemissionen durch solar regenerative Energie

Zur Minimierung der für die Wirtschaft aus der Wasserstoffstrategie resultierenden erheblichen Risiken wurde von B. Wolf Vorschläge zur Energieumwandlung entwickelt und von seiner Firma bw-energiesysteme international patentiert. Damit setzt B. Wolf seine Beiträge für den Aufbau einer solaren Stoff- und Energiewirtschaft fort, die er 1970 am Deutschen Brennstoffinstitut in Freiberg/Sa. begann und nach der Wiedervereinigung Deutschlands mit den Firmen UET Umwelt- und Energietechnik Freiberg/Sa., CHOREN Industries, SUNFIRE, bw-energiesysteme und NACOMPEX bis heute fortsetzt.

*Das vorgeschlagene FeRedox-Verfahren wandelt z.B. die chemische Energie des Wasserstoffs in chemische Energie der Eisenoxide um. Das ermöglicht eine vorteilhafte Speicherung und den Transport der Energie des Wasserstoffs, ohne den Wasserstoff selbst speichern und transportieren zu müssen. Es ermöglicht die Speicherung chemischer Energie an wasserarmen Standorten (Sahara) und eine standort-unabhängige Rückgewinnung von Wasserstoff oder die Bereitstellung von Kohlenmonoxid aus Kohlendioxid für Synthesegase zur Produktion aller Kohlenwasserstoffe von Methan bis Wachs oder Alkoholen, wie Methanol, aber auch für chemische Produkte, wie Ammoniak, bei weitgehender Nutzung der vorhandenen Infrastruktur.*

*Daraus ergibt sich für handelnde Unternehmen ein entscheidender Vorteil. Sie bleiben unabhängig vom Erfolg einer staatlich verordneten, nicht zu Ende durchdachten, reinen Wasserstoffwirtschaft und ermöglicht die schrittweise Integration von solar-regenerativer Energie in das vorhandene System der Kohlenwasserstoffwirtschaft, bei signifikanter Senkung der Kosten.*

*Erreicht werden kann das technisch durch die Reduktion von Eisenoxiden mit Wasserstoff zu Eisen unter erneuter elektrolytischer Aufspaltung des dabei entstehenden Wasserdampfes in Wasserstoff und unter Rückführung von Sauerstoff über Wasserdampf aus Prozessabwärme, in den ansonsten geschlossenen Gaskreislauf.*

Das hat einen stark wachsenden Handel mit Sauerstoff zur Folge, der die Umstellung von Feuerungen von Luft auf Sauerstoff und damit die Bereitstellung von preiswertem Kohlendioxid für erneuerbare synthetische Kraft- und Brennstoffe aus einem ansonsten geschlossenen Kreislauf der Verbrennungsgase aus fossilen Brennstoffen, was wiederum einen starken Anstieg des Handels mit Kohlendioxid und eine kohlendioxidfreie Verbrennung aller Brennstoffe ermöglicht.

*Kohlendioxid und Sauerstoff werden so zu systemrelevanten Handelsgütern.*

## **2. Was tun - molekularer Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe?**

Eine Alternative für die fossilen Brennstoffe ist nach wie vor der Ausbau der Elektrifizierung über elektrische Fahrdrähte. Diese Art der Elektrifizierung und die über bekannte elektro-chemische Batterien sowie Wasserstoff und Brennstoffzellen können wirtschaftlich allerdings nicht alle Aufgaben der Mobilität lösen.

Deshalb werden andere Lösungen, insbesondere für die Schwerlastmobilität zu Lande, zu Wasser und auf der Schiene, die auch eine oberleitungsfreie Elektrifizierung mit Hilfe von Wasserstoff ermöglichen, gesucht.

### **2.1. Wasserstoffhandling**

#### **2.1.1. Molekularer Wasserstoff**

Für die Umwandlung von solar-regenerativem Strom in Wasserstoff stehen Anlagen zur Elektrolyse von Wasser- und Wasserdampf zur Verfügung. Die elektrolytische Produktion von Wasserstoff, aus mit prozessinterner Abwärme produziertem Wasserdampf, kann den

Strombedarf für die Wasserstoffproduktion in Summe von ca. 5,0 auf unter 3,5 kWh/m<sup>3</sup> Wasserstoff senken, also um mehr als 30 %.

Fossile Brennstoffe können so teilweise, durchaus vorteilhaft durch Wasserstoff aus solar-regenerativer Energie ersetzt werden.

Die Nutzung von Wasserstoff für die Verbrennung in Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren des Standes der Technik unter Abgabe der Verbrennungsgase an die Umgebung, ist technisch zwar machbar, hat aber eine sehr niedrige Energieeffizienz, die einen Strominput von 5 kWh/kWh Stromoutput erfordert, zur Folge. Ausschlaggebend dafür sind die Wirkungsgrade der Wasserelektrolysen in Höhe von ca. 60 %, der Brennstoffzellen in Höhe von bis zu 50 % und der der Transportsysteme mit ca. 70 %.

*Der Flaschenhals der Anwendungen von Wasserstoff aus solar-regenerativem Strom sind die Speicherung und der Transport von molekularem Wasserstoff im komprimierten oder verflüssigten Zustand sowie die Transporteffektivität.*

Der Gesamtwirkungsgrad dieser Anwendung wird im praktischen Betrieb somit kaum 20 % erreichen, d.h. eine solche Variante erfordert gegenüber dem direkten Stromantrieb der üblichen Elektrifizierung, für die gleiche Aufgabe, eine bis 5-fache Strommenge.

### **2.1.2. Hydride**

Hydride sind chemisch-physikalische Bindungen zwischen molekularem Wasserstoff und einem anderen Element, vorzugsweise Metalle, von Kalzium, Natrium über Magnesium bis Platin und Palladium oder Kohlenwasserstoffen wie Toluol (LOHC-Verfahren). Die Energiedichte kann die der Speicherung von Wasserstoff unter hohen Druck und im verflüssigten Zustand erreichen.

Bei der Beladung der Trägermaterialien muss Wärme abgeführt und bei der Entladung zugeführt werden. Bekannt ist, dass eine vollständige Entladung der Hydride kaum möglich ist und dass die Trägermaterialien schnell altern und ersetzt werden müssen. Die Wiederaufarbeitung der Materialien ist deshalb wesentlicher Kostenbestandteil und Engpass der Technologien.

Hydride bringen eine Verbesserung im Handling mit Wasserstoff und können einen partiellen Beitrag bei der Umsetzung einer Wasserstoffstrategie leisten, aber nicht das Problem der Energiespeicherung in einer solaren Stoff- und Energiewirtschaft lösen. Dafür sind einfachere und kostengünstigere Lösungen erforderlich.

### **2.1.3. Synthese von Wasserstoff mit Kohlenstoff aus Kohlendioxid**

*Die energetischen Grundmaterialien in einer solaren Stoff- und Energiewirtschaft sind grundsätzlich nur, aus Wasser reproduzierter Wasserstoff und aus Kohlendioxid reproduzierter Kohlenstoff.*

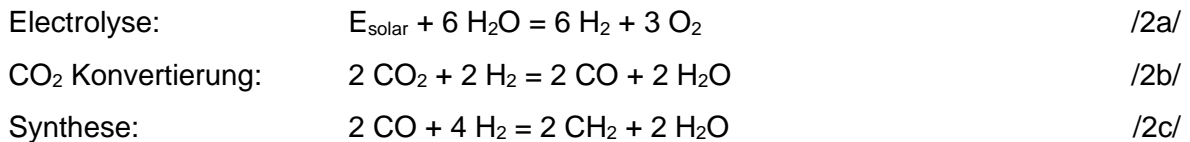
Die Wiederaufarbeitung von Kohlendioxid kann entweder durch die Natur über Photosynthese zu Kohlehydrat (CH<sub>2</sub>O) /1/ oder Menschen über chemische Reduktion /2/, erfolgen.

Damit ergeben sich für die Bereitstellung des Kohlenstoffs 2 technische Wege, nämlich die chemische Reduktion von Kohlendioxid zu Kohlenmonoxid durch Wasserstoff unter Bildung von Wasser nach /2/ oder die thermische Aufspaltung der Kohlehydrate organischer Reststoffe der Forst-, Land- und Nahrungsmittelindustrie in Kohle und Schwelgas nach /3/.

Umwandlung dieser Einsatzstoffe in Kohlenwasserstoffe erfolgt über Synthese oder Hydrierung.

a) *Kohlenwasserstoffe aus Wasser und Kohlendioxid*

Die Gleichungskombination /2a/ bis /2c/ ist Beispiel für die Synthese über drei Prozessstufen.



Die Gleichungen nach /2/ zeigen, dass für die Umwandlung von Kohlendioxid in Kohlenmonoxid in der 2. Prozessstufe (homogene Wassergasreaktion) 1 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/ m<sup>3</sup> CO erforderlich ist.

Allerdings produziert die homogene Wassergasreaktion bereits Wasserdampf, der vor der nachfolgenden Synthese aus dem Gas auskondensiert werden muss. Die nachfolgende Umwandlung von Kohlenmonoxid mit Wasserstoff in Kohlenwasserstoff (Diesel) erfordert dagegen 2 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/ m<sup>3</sup> CO.

In Summe müssen also ca. 2,0 kg Wasserdampf je Liter Diesel aus dem Prozess durch Kondensation abgeführt werden, d.h. nur ein Drittel des Wasserstoffs wird als Brennstoff wirksam, während zwei Drittel mit dem Reaktionswasser abgeführt werden.

Aus den Gleichungen ergibt sich in Summe ein Wasserstoffbedarf von 4,8 m<sup>3</sup>/kg Diesel bzw. von 3,6 m<sup>3</sup>/l Diesel. Das entspricht einem Stromverbrauch von ca. 18 kWh/l Diesel und einem Wirkungsgrad der Umwandlung von Kohlendioxid in Diesel von ca. 49 %.

Der mit dem Kohlendioxid eingebrachte Kohlenstoff kann vollständig zu Brenn- und Kraftstoffen aufgearbeitet werden. Diese Variante erreicht zwar nur die gleiche Energieeffizienz wie die Umstellung von Diesel auf Wasserstoff, kann aber mit der vorhandenen Infrastruktur und mit den vorhandenen Verbrennungsmotoren, aber unter weitgehender Vermeidung von Feinstaub und Stickoxiden realisiert werden.

b) *Kohlenwasserstoffe aus Kohlendioxid und Wasserdampf*

**Das SUNFIRE-Verfahren**

Beim SUNFIRE-Verfahren wird das Wasser durch Prozessabwärme vor der Elektrolyse verdampft. Das allein reduziert den Stromverbrauch für die Erzeugung des Wasserstoffs für die Synthese um ca.15 %, also auf ca. 3,1 kWh/l. Weitere 15 % Stromeinsparung könne in den Nebenprozessen, z.B. in der Wasseraufbereitung und Gastrocknung erwartet werden, was, bei ebenfalls vollständiger Nutzung des Kohlenstoffs aus dem Kohlendioxid, einen Umwandlungswirkungsgrad von ca. 58 %, erwarten lässt. Diese Kraftstoffe sind wie die nach a) schadstoffarm in vorhanden verbrennungsmotoren ohne jede technische Nachrüstung nutzbar, verbessern aber die Energieeffizienz in Bezug auf den Strominput um ca. 20 %.

**Das FeRedox-Verfahren**

Das FeRedox-Verfahrens ist ein stofflich geschlossener reversibler Kreisprozess zur Ein- und Auskopplung von insbesondere solar-regenerativer Energie über Wasserstoff. Es ermöglicht die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff aus solar-regenerativer Energie gegenüber dem Stand der Technik mit bis zu 50 % weniger Input an Strom, darunter auch die stromsparende



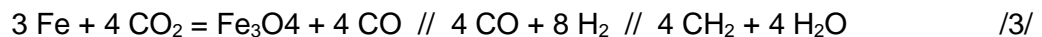
Produktion von Synthesegas für die Herstellung von erneuerbaren synthetischen Kraft- und Brennstoffen.

Das Kernelement des FeRedox-Verfahrens ist eine chemische Eisen-/Eisenoxid Batterie. Die Aufladung der Batterie erfolgt durch Wasserstoff, der vorzugsweise im Temperaturbereich von 600 bis 800 °C und unter Normaldruck, Eisenoxid zu Eisen reduziert. Die Batterie kann zyklisch dauerhaft eine Nutzkapazität von mehr als 1 MWh<sub>el</sub>/m<sup>3</sup> Speichermasse liefern.

Der bei der Aufladung entstehende Wasserdampf wird von der Batterie nicht an die Umgebung abgeführt, sondern an eine systeminternen Wasserdampfelektrolyse, die unter Abgabe von Sauerstoff, diesen wieder zu Wasserstoff aufgearbeitet.

Die Entladung der Batterie erfolgt durch Re-Oxidation des Eisens zu Eisenoxid. Wasserdampf und Kohlendioxid sind dafür geeignete Oxidationsmittel.

Damit kann die Batterie in einem Wasserstoffsystem mit großer Leistung und Kapazität für die Speicherung und den Transport von Wasserstoff und in einem System zur Reproduktion von Kraft- und Brennstoffen aus Kohlendioxid, an Stelle der homogenen für Wassergasreaktion, durch Produktion von Kohlenmonoxid aus Kohlendioxid für die Brenn- und Kraftstoffproduktion, nach Formel /3/, eingesetzt werden.

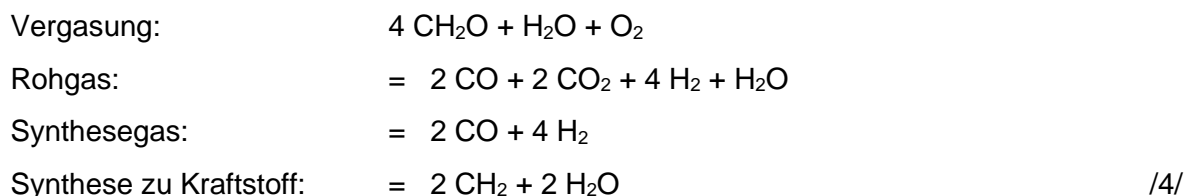


Daraus ergibt sich, dass durch Einsatz des FeRedox-Verfahrens der Wasserstoffbedarf auf bis zu 2,4 m<sup>3</sup>/l Diesel gesenkt werden kann. Was den Nettostromverbrauch auf 7,6 kWh/l Diesel und die Abführung von Wasserkondensat aus dem Stoffumwandlungsprozess auf unter 1,0 kg/l Diesel senkt. Bezogen auf den Stromeinsatz für die Stoffumwandlung kann der Wirkungsgrad auf 64% angehoben, der Strominput unter 3 kWh/kWh Nutzenergie sowie die Stromkosten, bei einem Strompreis von 0,05 €/kWh, auf 0,38 €/l Diesel gesenkt werden.

## 2.2. Kraft- und Brennstoffe aus organische Reststoffen

### a) *Autotherme Vergasung*

Die Herstellung von Kohlenwasserstoffen über Synthesegas aus Kohlehydrat organischer Reststoffen kann vereinfacht mit folgender Formel beschrieben werden:



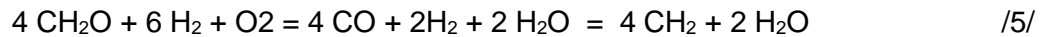
Diese Formel war die Grundlage für die Produktion der weltweit ersten erneuerbaren synthetischen Kraftstoffe der Firma CHOREN Industries aus organischen Abfällen der Forst-, Land- und Nahrungsmittelindustrie im Jahre 2003.

Zu erkennen ist, dass bereits bei der Umwandlung von Rohgas in Synthesegas sowohl Kohlendioxid als auch Wasser aus dem Gas abgetrennt werden müssen, so dass nur die Hälfte

des von der Natur aus Kohlendioxid und Wasser reproduziertem Kohlenstoff und Wasserstoff in Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden kann.

## b) Hydrierende Vergasung

Durch Zuführung von Wasserstoff entsprechend



kann dieser Mangel der ungenügenden Kohlenstoffnutzung behoben werden, d.h., durch Einkopplung von regenerativer Energie über eine Wasser- oder Wasserdampf-Elektrolyse kann das Auswaschen von Kohlendioxid vermieden werden, was die Produktion regenerativer Kohlenwasserstoff aus organischen Abfällen verdoppeln und den Einsatz von solarem Strom für die Brenn- und Kraftstoffproduktion halbiert kann. Das macht die Energiewende in der Mobilität mit der vorhandenen Infrastruktur und Motorentechnik „klimaneutral“ und realisierbar.

## 3. Weitere FeRedox-Anwendungen

Die Firma NACOMPEX verfügt über eine Generallizenz der bw-energiesysteme über das FeRedox-Verfahren. Nach diesem Verfahren kann der Sauerstoffanteil der Eisenoxide durch Wasserstoff bis hin zu Eisen wie folgt reduziert werden.

Magnetit + Wasserstoff  $\leftrightarrow$  Eisen + Wasser



Dementsprechend sind für die Herstellung von 1 kg Eisen aus Magnetit 1,875 m<sup>3</sup> Wasserstoff erforderlich, die durch zyklische Re-Oxidation des Eisens mit Wasserdampf zu Magnetit wieder zurückgewonnen werden können.

Da reines Eisen für die dauerhaft zyklische Reduktion/Oxidation mechanisch nicht formbeständig ist, verwendet das FeRedox-Verfahren bekannte, industriell langzeiterprobte, keramisch stabilisierte und damit formstabile Eisenmassen aus Magnetit.

Die Zusammensetzung der keramische stabilisierten Eisenmasse ist annähernd folgende:

- 0,90 kg Magnetit + 0,1 kg Schmelzzement, somit
- in kg ca. 0,65 kg Fe + 0,25 kg O<sub>2</sub> + 0,10 kg Zement,
- zusammen 1 kg FeRedox-Masse

Bei einem Schüttgewicht der Masse von 2.400 kg/m<sup>3</sup> wird mit einer Gesamtmasse eines 1 m<sup>3</sup> FeRedox-Speichers von 4.000 kg/m<sup>3</sup> Speichervolumen, also mit einem Masse-/Leistungsverhältnis von 4 kg/kWh Strom gerechnet.

Der Masse-Anteil der die Formkörper stabilisierenden Keramik, die nicht an der Stoffumwandlung teilnimmt, beträgt ca. 10 %, bei einem Schüttgewicht von 2,4 kg/l also 240 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.1. Speicherung und Transport von Wasserstoff

Theoretisch müssten aus der Schüttung des Speichers bei der Beladung 420 m<sup>3</sup> Sauerstoff durch Wasserstoff abgeführt werden, wofür 840 m<sup>3</sup> Wasserstoff erforderlich wären.

Auf Grund praktischer Langzeiterfahrungen wird angenommen, dass der Umsatz nicht vollständig abläuft, so dass im praktischen Betrieb mit einem dauerhaften Umsatz von nur 700 m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Speichervolumen gerechnet wird, das durch Re-Oxidation mit Wasserdampf vollständig zurückgewonnen werden kann.

Damit kann die FeRedox-Batterie, bezogen auf ihr Volumen, dauerhaft eine chemische Energiedichte von 2.100 kWh chemisch/m<sup>3</sup>, entsprechend 700 m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Speicher erreichen. Bei Verbrennung des aus der Batterie ausgespeisten Wasserstoff-/Wasserdampfgemisches mit Sauerstoff zum Zwecke der Stromerzeugung und Rückführung der Verbrennungsgase als Oxidationsmittel in die Batterie, kann das System bis zu 70 % der für die Beladung aufgewendeten Elektroenergie einem Elektroantrieb, z.B. eines Schienenfahrzeuges, zur Verfügung stellen. Die Entwicklung des von der DESAG geplanten Tenders mit FeRedox-Speicherantrieb ist energetisch die effektivste Methode für die Substitution der fossilen Brennstoffe. Sie senkt den Stromeinsatz auf unter 2 kWh/kWh Nutzenergie.

### 3.2. Oberleitungsfreie Elektrifizierung im Schwerlasttransport

Gegenüber den auf dem Markt in Erprobung befindlichen Wasserstoffsystemen ermöglicht das FeRedox-System mindestens eine Halbierung des Strombedarfs. Bezogen auf ihre Masse kann die FeRedox-Batterie eine elektrische Kapazität von 0,525 kWh/kg erreichen.

Das ist deutlich mehr als das Doppelte von dem, was bekannter elektro-chemische Batterien und aktuelle Wasserstoffsysteme erreichen.

### 3.3. Erneuerbare synthetische Kraftstoffe

Zukünftige Kraft- und Brennstoffe sollten grundsätzlich nur aus Kohlendioxid reproduziertem Kohlenstoff und aus Wasser reproduziertem Wasserstoff hergestellt werden. Die Umwandlung von Kohlendioxid in Kohlenwasserstoffe kann unabhängig davon, ob Wasserstoff aus Wasser oder Wasserdampf elektrolytisch hergestellt wird, in Summe mit



beschrieben werden, d.h. 4 kg CO<sub>2</sub> + 67,2 Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> ergeben theoretisch 14 kg (19 l) Diesel + 36 kg Wasser. Damit beträgt der Bedarf an Wasser für die Erzeugung von 67,2 Nm<sup>3</sup> Wasserstoff 54 kg, also 0,80 kg/m<sup>3</sup> Wasserstoff.

Der Bedarf an Kohlendioxid kann gedeckt werden durch Umstellung von Brennstofffeuerungen von Luft auf Sauerstoff oder elektrische Beheizung, z.B. des Kalkbrennens, und Kreislauffahrweise der Abgase aus der Verbrennung.

## 4. Kooperationen

Die NACOMPEX hat mit Projektpartnern die Projekte „Future H Drive“ und „H Rail Prignitz“ Kooperationen für die Überleitung der FeRedox-Technologie in den Markt entwickelt und dafür staatliche Zuschüsse beantragt und in Aussicht gestellt bekommen.

Für die Realisierung verfügt die NACOMPEX über mehrere, belastbare Kooperationen mit KMU für die Planung sowie den Apparate- und Anlagenbau.

Auf Vorschlag der DESAG konzentriert sich das Projekt „H Rail Prignitz“ bisher auf den vorhandenen Wasserstoffstandort Falkenhagen von Uniper und die Anwendung des FeRedox-Verfahrens auf die oberleitungsfreie Elektrofizierung von Schienenfahrzeugen und die Schwerlastmobilität. Dafür will sie neue Fahrzeuge mit ihren Bahn-Reparaturbetrieben entwickeln.

Für den Handel mit Gasen empfiehlt sich eine Kooperation mit auf diesem Markt aktiven KMU.

## 5. Abschließende Zusammenfassung

- i. Die Energiewende kann letztlich nur durch direkte und indirekte Umstellung der Wirtschaft von fossilen und atomaren Brennstoffen auf solare Strahlungsenergie erfolgreich realisiert werden.
- ii. Alle dafür eingeleiteten Maßnahmen müssen im Einklang mit dem Reproduktionsprozess des Lebens auf der Erde, der mit Kohlendioxid und Wasser beginnt und endet, stehen.
- iii. Eingriffe in den natürlichen Kohlenstoffkreisprozess sowie kohlendioxidfreie Systeme mit Kernenergie und molekularem Wasserstoff haben negative Folgen auf den Reproduktionsprozess des Lebens, mit seinen physikalischen und chemischen Energiepotenzialen der Flora und Fauna (mit ihren Beständen an Kohle, Öl und Gas), des Sauerstoffs und auf die Kältepotenziale an Eis und Schnee.
- iv. Solar-regenerativer Strom wird Primärenergie und Technologien, die mit dem geringsten spezifischen Stromverbrauch arbeiten, zu Schlüsseltechnologien.
- v. Die vollständige Substitution von fossilen und atomaren Brennstoffen durch molekularen Wasserstoff ist beim Stand der Technik der Stoff- und Energieumwandlung nicht machbar, da die dafür zur Verfügung stehenden Ressourcen der Erde wirtschaftlich und ökologisch nicht erschlossen werden können.
- vi. Die Lücke zwischen Material- und Stromaufkommen und -bedarf kann nur durch den Übergang zu stofflich geschlossenen Umwandlungsprozessen, die den Strombedarf gegenüber dem Stand Technik der Anwendungen mindestens halbieren, erreicht werden.
- vii. Beispiele dafür sind das FeRedox-Verfahren in seinen Anwendungen als Speicher für elektrische Antriebe zur Erzeugung von technischer Arbeit und die Produktion von erneuerbaren synthetischen Kraftstoffen sowie das NaCompEx-Verfahren in seiner Anwendung für die Strom zu Stromspeicherung mit großer Kapazität und Leistung, insbesondere zwischen der Stromerzeugung und der Wasserelektrolyse.