

Die Technische Photosynthese



*Prof. Dr. Franz Effenberger
Institut für Organische Chemie, Universität Stuttgart*

**„Stünde Wasserstoff billig zur Verfügung, könnte
die leicht zu gewinnende, reine, schwefelfreie
Kohlensäure als Ausgangsstoff für die
Methanolsynthese dienen“**

Ab den 1990-iger Jahren haben sich vor allem G. A. Olah und
Mitarbeiter mit einer „Methanol-Wirtschaft“ auseinander gesetzt
(JOC **2009**, 487, Angew. Chem. **2013**, 112)

Die Hauptkreisläufe in der lebenden Natur sind bestimmt durch drei Biopolymere

- **Kohlenhydrate (Energie- und Bauelement):** Glucose, Stärke, Cellulose (C, H, O)
- **Proteine (biolog. Funktionen):** Aminosäuren, Peptide, Proteine (C, H, O, N, [S])
- **Nucleinsäuren (biolog. Steuerung):** DNA, RNA, Gene (C, H, O, N, [P])

Nur die **Elemente C, H, O** und **N** sind in den Biopolymeren enthalten. Zum Erhalt von Leben müssen deshalb die **Kreisläufe** dieser vier Hauptelemente gesichert sein.

Über die Kreisläufe der von der Menge weniger wichtigen Elemente S bzw. P wird bisher noch nicht nachgedacht.

Kreisläufe der Elemente O, H und N

- **Sauerstoff:** praktisch **unbegrenzt** vorhanden
(Wasser, Oxide, Luft, Photosynthese)
- **Wasserstoff:** **unbegrenzt** im Wasser gespeichert, entsteht bei Verbrennung von organischem Material (Cellulose, Erdgas, Erdöl, etc.)
- **Stickstoff:** nur in vorindustrieller Zeit (< 1800) über natürliche Düngung und aus Luftstickstoff über Bakterien ausgeglichen
(Symbiose Rhizobien/Leguminosen)
ab ca. 1830 durch Düngung mit Salpeter (**Justus von Liebig**) verbessert
endgültig gelöst mit dem **Haber-Bosch-Prozess** 1915

Der Kohlenstoffkreislauf – ein Vergleich von 1950 bis 2011

	1950	2011
Weltbevölkerung (Milliarden)	2.8	7
CO ₂ -Emission (Milliarden Tonnen/a)	7.4	33
Öl-Produktion (Millionen Barrel/a)	15.4	88.4
Anzahl der Autos (Millionen weltweit)	96	> 1000

- Bis ca. **1950** war der C-Kreislauf über die **Photosynthese ausgeglichen**
- Seit dieser Zeit ist die **Photosynthese überfordert**. Neben der Zunahme der Weltbevölkerung hat vor allem der **Energiebedarf** (Heizung, Kühlung, Mobilität, etc.) dramatisch zugenommen
- Jährliche globale **Zunahme von CO₂** in der Atmosphäre ca. 12 Milliarden Tonnen (2008)

Konsequenzen aus der Entwicklung des C-Kreislaufs

- Trotz Erschließung neuer C-Quellen (z.B. Schiefergas) sind die auf der Erde vorhandenen Kohlenstoff-Reserven endlich.
Eine weitere Zunahme der CO₂-Konzentration ist unvermeidlich
- Zeitlich und mengenmäßig unbegrenzt für die Erde ist Sonnenenergie
(derzeitige Nutzung < 1%)
- „Sonnenenergie“ in diesem Sinne umfasst alle Formen der Erneuerbaren Energien
(Wasserkraft, Wind, Wärme, Strahlung, Bio)

Fazit: Wenn die Photosynthese den C-Kreislauf nicht mehr bewältigen kann, müssen Wege gefunden werden, Sonnenenergie technisch so zu nutzen, dass der natürliche C-Kreislauf durch eine TECHNISCHE Photosynthese ergänzt wird.

Einschätzung des Potentials von erneuerbaren Energien in Deutschland

- **Wasserkraft** und **Bioenergie** sind weitgehend **ausgereizt**
- Verfahren der Direkteinstrahlung – **Photovoltaik und Solarthermie** – sind in unseren Breitengraden, im Vergleich zum „Sonnengürtel der Erde“, **unwirtschaftlich**
- Für **Windenergie** in Mittel- und Nordeuropa **keine Standortnachteile**
- Problem von **Transport und Speicherung** elektrischer Energie aus Solar- und Windkraftanlagen ist nur durch Überführung in **chemische Energie** zu lösen

Artificial versus Technical Photosynthesis

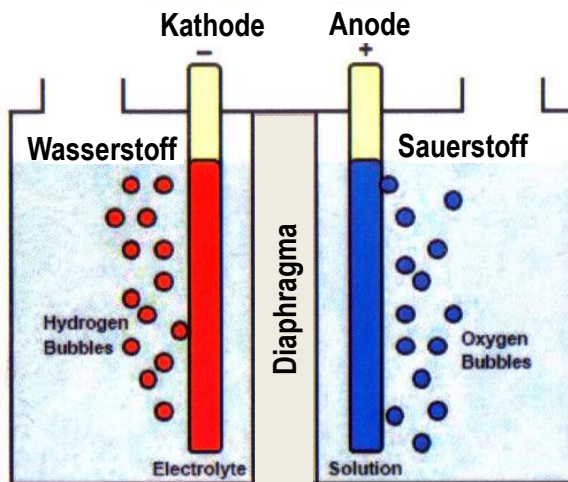
- „**Artificial Photosynthesis**“ ist definiert mit **Wasser als Wasserstoffquelle**, direkte Strahlungsenergie (Sonne), CO₂ und einen Katalysator
- Der entscheidende Unterschied einer **technischen (technical) Photosynthese** ist im Einsatz von **Wasserstoff** anstelle von Wasser zu sehen
- Der Begriff „**Photo**“ wird in diesem Zusammenhang **synonym** mit „**Erneuerbarer Energie**“, d.h. nicht nur mit Direkteinstrahlung, definiert

Photokatalytische Wasserspaltung

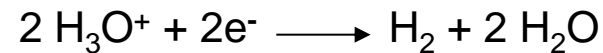
- „**The Artificial Leaf**“ von **Dan Nocera** hat sich in der Zwischenzeit als **kaum realisierbar** erwiesen (Kommentar in Chemistry World, Sept. **2013**, 13)
- **Katalytische Wasserspaltung** und Solarbrennstoffzellen:
Künstliche Blätter auf dem Vormarsch (Angew. Chem. **2013**, 10618)
- Efficient solar **photoelectrosynthesis of methanol from carbondioxide** using hybrid CuO-Cu₂O semiconductor nanorod arrays (Chem. Comm. **2013**, 1297)
„to reach a concentration of around **85µM methanol after 90 min of irradiation**“

Elektrolyse: Überführung elektrischer in chemische Energie

Grundlegende Arbeiten im **SFB 270 (1989-1998): Wasserstoff als Energieträger**



Reaktion Kathode:



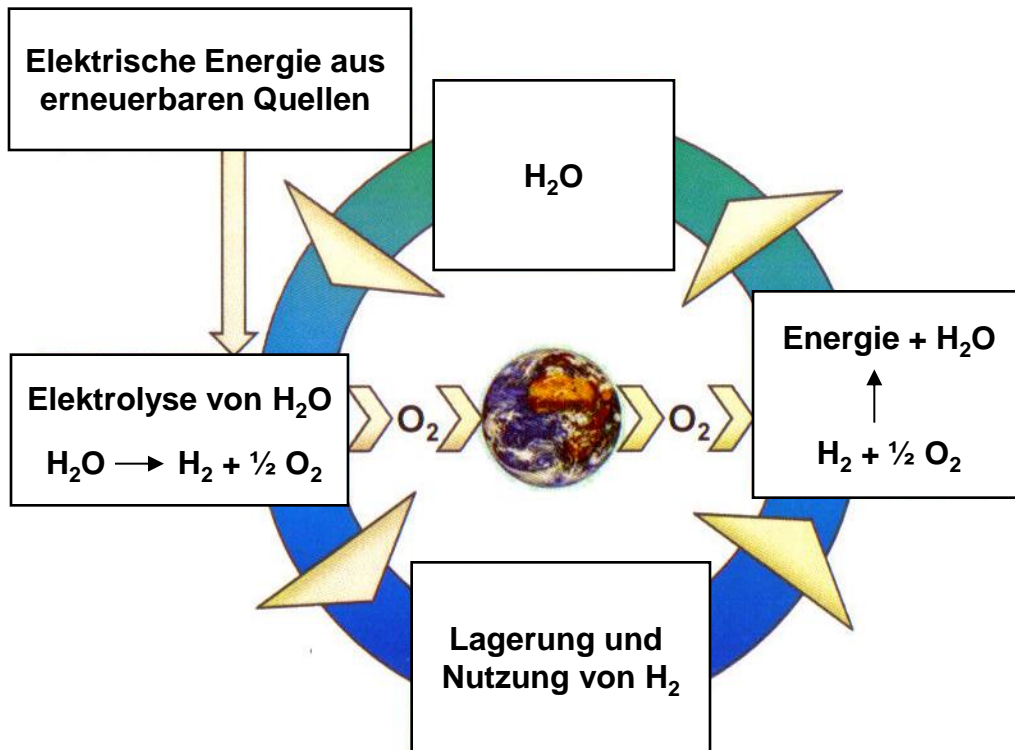
Reaktion Anode



Neue Ergebnisse DLR-Institut für Thermodynamik Stuttgart (Prof. Dr. A. Friedrich)

- Energie-Effizienz ist unabhängig von der Größe der Anlage
diskontinuierliches Betreiben ist möglich
- **Energieausbeute** bei alkalischer Elektrolyse (AEL) ist **87%** (Faraday Ausb. ~ 98%)
- **Niedrige Betriebskosten** – lange Standzeiten
(Assuan Staudamm mit 156 MW Leistung, 20 Jahre)

Wasserstoff als Energieträger der Zukunft?



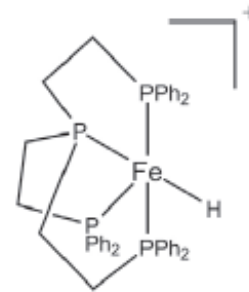
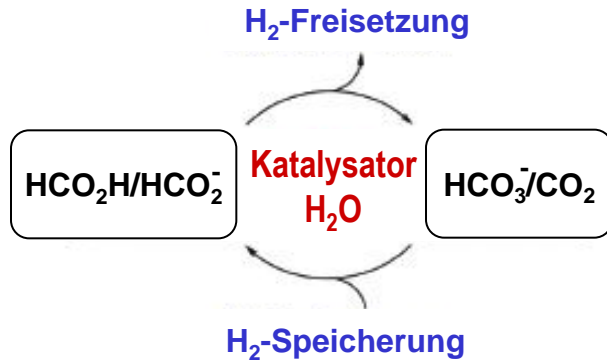
- **Beimischung** in bestehende **Gasnetze** bis ca. 10 % **möglich**
- **als Treibstoff** für Fahrzeuge z.B. Busse **attraktiv** (Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor)

Nachteile der Speicherung von H₂

- **Verflüssigung** erfordert hohen **Energieaufwand** (30-40 %)
- komprimierter Wasserstoff benötigt **große Lagerstätten**
- hohes Diffusionsvermögen und Reaktivität erfordern **besondere Materialien**

Hydrierung von Kohlendioxid mit Wasserstoff

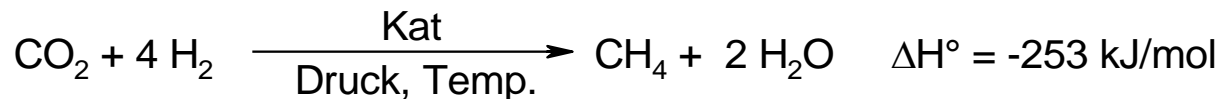
- **Reversible Bildung von Formiaten** unter milden Bedingungen



Kat.: Beller

(Matthias Beller et al., Nachrichten aus der Chemie, Dez. 2011)

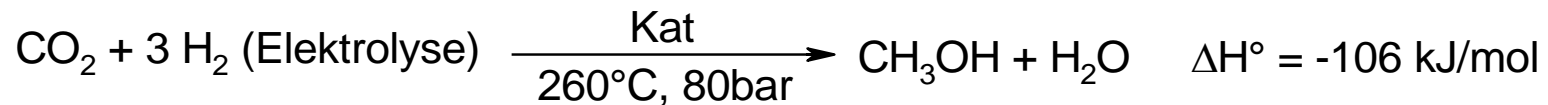
- **Hydrierung zu Methan: Power to Gas (Sabatier Prozess)**



- ETOGAS (früher SOLARFUEL) und Audi: Pilotanlage mit 6,2 MW Eingangsstrom (Wirkungsgrad 54%)

Hydrierung von CO₂ zu Methanol: Power to Liquid

- Reaktion ist **leicht exotherm**, mit geeigneten Katalysatoren **hoch selektiv**

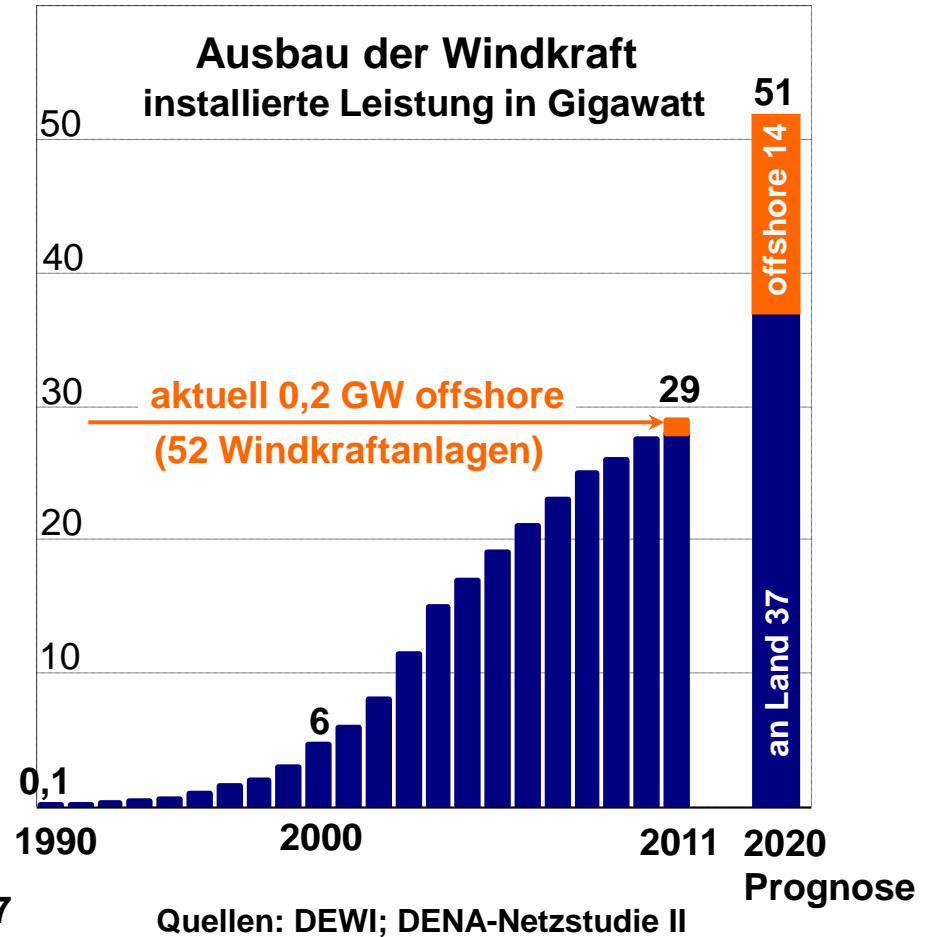
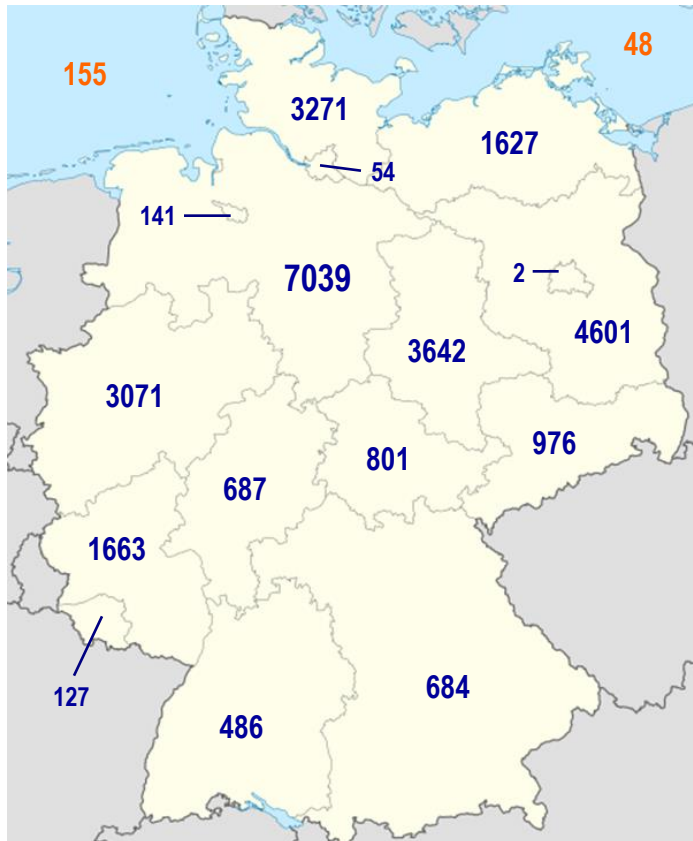


- Technische Methanol-Synthese (60 Mio. Tonnen im Jahr) erfolgt mit Synthesegas aus Kohle oder Erdgas
- **Vorteile von Methanol als Energiespeicher und Chemierohstoff**
 - als nichttoxische Flüssigkeit problemlos zu lagern und zu transportieren
 - bestehendes Tankstellennetz ist problemlos nutzbar
 - als Autokraftstoff sehr gut geeignet (BMFT 1974)
 - Basis für C1- und C3-Chemie sowie für Dimethylether (Diesel Kraftstoff)
 - Mögliche Basis für Fischer-Tropsch-Synthesen

Windkraft in Deutschland

FAZ 05. Feb. 2012

Installierte Leistung in Megawatt



- Gesamtzahl der **Anlagen** Ende 2011: **22.297**
- installierte **Leistung** insgesamt: **29.075 MW**

Zusammenfassung und Ausblick

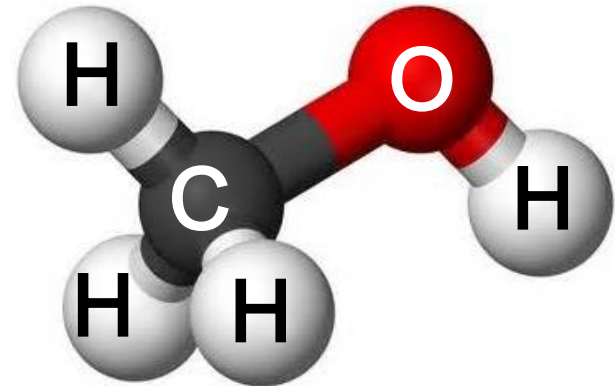
- Der Ausstieg aus der Kernenergie, und der subventionierte Ausbau von EE ist politisch beschlossen. Damit nimmt Deutschland eine Sonderstellung ein.
- Das Problem der Speicherung und des Transports elektrischer Energie aus Windkraft- und Solaranlagen ist nur durch Überführung von praktisch nicht speicherbarer elektrischer Energie in speicherbare chemische Energie zu lösen.
- Die vorgestellte „TECHNISCHE PHOTOSYNTHESE“, Hydrierung von CO₂ mit „Windwasserstoff“ zu Methanol, stellt eine optimale Lösung der Energiespeicherung und der Reduzierung von CO₂ in der Atmosphäre (Klimawandel) dar.
- Die zunehmende Belastung der Strom-Verbraucher, mit den Kosten von Überschussstrom und den Kosten der Sicherstellung der Grundlast durch die Energieunternehmen, könnten dadurch deutlich reduziert werden.

Schlusswort

Da alle wesentlichen Voraussetzungen für die Realisierung einer „TECHNISCHEN PHOTOSYNTHESE“ gegeben sind, schließe ich mich der Meinung meines Münchner Kollegen Meyer-Pittroff* mit einem Kästner-Zitrat an,

*„Es gibt nichts Gutes
außer man tut es“*

Erich Kästner



**Prof. Dr.-Ing. Roland Meyer-Pittroff, Vortrag Wirtschaftsbeirat Bayern am 19. Sept. 2013*