

# **Wasserstoff die Energie für alle Zeiten**

## **Konzept einer Sonnen-Wasserstoff-Wirtschaft**

**John O'M. Bockris Ph. D.**

Professor of Chemistry  
A. and M.  
University of Texas

**Dr. phil. Eduard W. Justi**

Professor der Physik  
Technische Universität  
Braunschweig

mit Beiträgen von

Dr. P. Brennecke, Braunschweig  
Prof. Dr. E. Broda, Wien  
Prof. Dr. H. H. Ewe, Braunschweig  
Prof. Dr. W. Heiland, Garching  
Prof. Dr. Dr. H. W. Kuhn, Göttingen  
Dipl.-Phys. H.-J. Selbach, Braunschweig

Wite

Technische Hochschule Darmstadt  
Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften  
Quantitative Wirtschaftspolitik



P476

4

**Udo Pfriemer Verlag • München**

# Inhalt

	Seite
<b>Geleitwort</b> .....	9
<b>Kapitel 1: Untersuchung, Diagnose und mittelfristiger Gesundungsplan einer kranken Energiewirtschaft</b> .....	13
Geringer Umwandlungswirkungsgrad als Hauptquelle der Verschwendung. . . . .	13
Kühlwassermangel begrenzt Neubau von Kraftwerken nahe Ballungszentren . . . . .	20
CO <sub>2</sub> -Überschwemmung der Atmosphäre droht mit tragischer Klimaverschlechterung . . . . .	22
Langstrecken-Energietransport durch Druckgasleitungen bis achtmal billiger als durch elektrische Leitungen . . . . .	28
Zahlreiche neue technisch-wirtschaftliche Möglichkeiten einer H <sub>2</sub> -Wirtschaft. . . . .	32
Konkrete Struktur einer Wasserstoff-Wirtschaft . . . . .	34
Mittelfristiger Übergang von einer H <sub>2</sub> - zu einer Sonnen-H <sub>2</sub> -Wirtschaft als stabiler Ordnung nach bisherigem Krisenmanagement . . . . .	36
Schlußfolgerungen . . . . .	40
<b>Kapitel 2: Die Wasserstoff-Wirtschaft</b> .....	43
Die Komponenten des Bankrotts . . . . .	43
Das Medium der zukünftigen Energie . . . . .	45
Die Wasserstoff-Wirtschaft . . . . .	47
Wasserstoff contra Erdgas . . . . .	48
Konsequenzen einer Wasserstoff-Wirtschaft . . . . .	49
Ursprung des Konzepts einer Wasserstoff-Wirtschaft . . . . .	50
<b>Kapitel 3: Die für Forschung, Entwicklung und Aufbau einer neuen Energiebasis verfügbare Zeit</b> .....	59
Die Erschöpfung der Brennstoffe . . . . .	59
Energie und Lebensstandard . . . . .	62
Die Verfügbarkeit von verschiedenen Energiequellen . . . . .	65
Wasserfall-Elektrizität . . . . .	65
Gezeitenenergie . . . . .	65
Geothermische Quellen und Erdwärme . . . . .	66
Windkraft . . . . .	66
Sonnen-Energie . . . . .	66
Der Termin der Erschöpfung der Weltvorräte an fossilen Brennstoffen . . . . .	67
Mathematische Möglichkeiten für die Voraussage eines Quellentermins . . . . .	70
Die Abschätzung der Erschöpfung einer Brennstoff-Lieferung . . . . .	70
Die Zeitspanne für die Verwirklichung einer technologischen Veränderung . . . . .	72
Grenzen des Wachstums . . . . .	73
Wird es genügend Kernbrennstoff geben? . . . . .	74
Werden die schnellen Brüder die Hoffnungen erfüllen? . . . . .	75
Wohin mit der Abwärme? . . . . .	76
Atomruinen bewachen oder Abwracken? . . . . .	77
Bleibt Kernkraft billiger? . . . . .	77
Der Zeitbedarf für den Aufbau einer reinen Atomwirtschaft . . . . .	80
Eine reine Atomenergie-Wirtschaft bedarf der Ergänzung durch H <sub>2</sub> -Wirtschaft . . . . .	80

Die Politisierung der Kernenergie. Das neue Energieprogramm der Regierung . . . . .	81
Schlußfolgerungen über Kernspaltungsenergie. Die 7 Empfehlungen des Ford-Foundation-Berichtes an die US-Regierung . . . . .	82
Die kontrollierte Kernfusion* . . . . .	83
Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	88
<b>Kapitel 4: Energie-Umwandlung</b> . . . . .	91
Energie-Umwandlung statt Energie-Erzeugung . . . . .	91
Direkte und indirekte Energie-Umwandlungen. E.D.U.-Matrix. Zweiter Hauptsatz	92
Ausgewählte Beispiele von E.D.U.-Effekten . . . . .	99
Umwandlung (Konfektionierung) von Windkraft . . . . .	100
Photovoltaische Stromerzeugung aus Sonnenlicht durch Sperrschichtzellen. . . .	105
Thermoelektrische Stromerzeugung durch Seebeck-Effekt . . . . .	107
Erzeugung von Wasserstoff durch photochemische Zersetzung von Wasser (Photolyse) in pflanzlichen Organismen** . . . . .	115
Erzeugung von Wasserstoff durch photochemische Zersetzung von Wasser (Photolyse) mittels monomolekularer Schichtverbände*** . . . . .	125
<b>Kapitel 5: Sonnen-Energie. Grundsätzliche Überlegungen.</b> . . . .	133
Leistung und Struktur der auf die Erde einfallenden Sonnenstrahlung . . . . .	133
Bevölkerungszahl und Lebensstandard – Steigerung nur durch Sonnenenergie . .	141
Benutzung von Sonnen-Energie in kleinem Maßstab . . . . .	141
Solare Wasserentsalzung und -absorption . . . . .	146
Verschiedene Möglichkeiten der Sammlung und Umwandlung von Sonnenenergie	147
Grundlagen der Nutzung solar erzeugter ozeanischer Temperaturgradienten . . . .	157
Grundlegende Eigenschaften der Silizium-Sperrschichtzellen . . . . .	161
Grundlagen der Windenergie . . . . .	172
Zusammenfassung der Schemata für die Sonnenenergie-Umwandlung . . . . .	172
<b>Kapitel 6: Sonnen-Energie: Entwicklung in Richtung Technik</b> 173	173
Technologische Probleme der Preissenkung für terrestrische Si-Solarzellen . . . .	173
Beschreibung eines Si-Gießprozesses . . . . .	180
Langlebige Hetero-Junction-Dünnschicht-Solarzellen aus CdS-Cu <sub>2</sub> -xS . . . . .	186
Betriebslebensdauer von CdS-Zellen . . . . .	186
Herstellungsverfahren für Dünnschicht-Solarzellen aus CdS-Cu <sub>2</sub> -xS . . . . .	188
Solarthermische Kraftwerke mit optischen Konzentratoren . . . . .	193
Das 1 MW <sub>el</sub> solarelektrische Wärmekraftwerk mit Zentralturm der EWG . . . . .	195
Die 400 kW <sub>th</sub> -Hochtemperatur-Solar-Versuchsanlage des Georgia Tech in Atlanta USA . . . . .	201
Solkraftanlagen in den USA . . . . .	203
Geplante Solarkraftwerke für höhere Leistungen in den USA . . . . .	204
Die Möglichkeit der Einsammlung von Sonnenenergie durch Satellitenplattformen (SSPS)**** . . . . .	207
<b>Kapitel 7: Methoden für die Überführung von Energie auf große Entfernungen</b> . . . . .	213
Direkte elektrische Überführung . . . . .	214

\* Verfasser: Dr. habil. Werner Heiland, München-Garching, MPG

\*\* Verfasser: Prof. Dr. Engelbert Broda, Wien, Universität

\*\*\* Verfasser: Prof. Dr. Hans Kuhn, Göttingen, MPG

\*\*\*\*Nach Unterlagen von P. Gläser, A. D. Little & Co, Boston, Mass.

Übertragung durch gerichtete Mikrowellenstrahlung . . . . .	216
Übertragung durch Wasserstoff . . . . .	216
Unterschiede von für Erdgas oder für H <sub>2</sub> ausgelegten Druckgasrohrnetzen . . . . .	218
Bereits betriebene H <sub>2</sub> -Rohr-Leitungsnetze* . . . . .	223
Investitions- und Betriebskosten einer H <sub>2</sub> -Transport- und Speicherröhre** . . . . .	226
Können die vorhandenen CH <sub>4</sub> -Rohrleitungen für H <sub>2</sub> eingesetzt werden?*** . . . . .	233
Verteilung von Druck-H <sub>2</sub> in transportablen Stahlbehältern . . . . .	233
Benutzung von Metallhydriden zum Transport von H <sub>2</sub> . . . . .	237
Energie-Speicherung und -Übertragung mit Flüssig- und Matsch-H <sub>2</sub> . . . . .	237
Schlußfolgerungen . . . . .	239

## **Kapitel 8: Die Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser im großen Maßstab\*\*\*\***

Thermodynamik der Wasserzersetzung . . . . .	241
Aufbau von technischen Wasserelektrolyseuren . . . . .	245
Verbesserungsmöglichkeiten und neuartige Elektrolyse-Verfahren . . . . .	251
Die ELOFLUX-Wasserelektrolyse-Zelle . . . . .	257
Thermochemische Kreisprozesse . . . . .	264
Schlußfolgerungen . . . . .	266

## **Kapitel 9: Die Speicherung von Wasserstoff\*\*\*\*\***

Thermische Energiespeicherung . . . . .	267
Elektrochemische Energiespeicherung . . . . .	270
Supraleitende Magnete . . . . .	270
Energiespeicherung mit Schwungrädern . . . . .	270
Speicherung von Wasserstoff . . . . .	271
Speicherung von gasförmigem Wasserstoff . . . . .	271
Speicherung von tiefkaltem Wasserstoff . . . . .	273
Physikalisch oder chemisch gebundener Wasserstoff . . . . .	281
Schlußfolgerungen . . . . .	288

## **Kapitel 10: Sicherheitsaspekte**

Sicherheits-Richtlinien für Wasserstoffanlagen . . . . .	289
	293

## **Kapitel 11: Wege der Umwandlung und Nutzung von Wasserstoff\*\*\*\*\***

Der chemische Konverter . . . . .	297
Andere Verbrennungsmaschinen . . . . .	298
Dampfturbinen mit Zweistoff-System H <sub>2</sub> O/NH <sub>3</sub> . . . . .	300
Hochreversible Verstromung von H <sub>2</sub> mittels H <sub>2</sub> O. Brennstoffzellen . . . . .	302
Schematischer Aufbau einer H <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -Brennstoffzelle . . . . .	303
Alkalische Niedertemperatur-Brennstoffzellen mit Raney-Katalysatoren . . . . .	306
Mitteltemperatur-Brennstoffzellen mit Phosphorsäure-Elektrolyt . . . . .	310
Schlußfolgerungen . . . . .	315

\* Nach Unterlagen von Chr. Isting und B. Thier, CWH, Hils

\*\* Nach Unterlagen von K. Baumgärtner und R. Kipker, Messer-Griesheim GmbH, Düsseldorf

\*\*\* Nach Unterlagen v. R. Kipker, Messer-Griesheim GmbH, Gasabteilung, Düsseldorf

\*\*\*\* Verfasser: P. Brennecke, Braunschweig, TU

\*\*\*\*\* Verfasser: H. H. Ewe, H.-J. Selbach, Braunschweig, TU

\*\*\*\*\* Verfasser: Prof. Dr. habil. H. H. Ewe, Braunschweig, TU

<b>Kapitel 12: Folgerungen aus der Verfügbarkeit enormer Mengen von Wasserstoff</b> . . . . .	317
Metallurgie . . . . .	317
Eisen-Metallurgie . . . . .	317
Andere metallurgische Prozesse . . . . .	321
Andere industrielle Anwendungen . . . . .	321
Verkehr auf Schiene und Straße . . . . .	323
Wasserstoff als zukünftiger Treibstoff im Luftverkehr . . . . .	324
Wasserstoff im Haushalt . . . . .	325
Weitere Bemerkungen über die häusliche Energieversorgung . . . . .	326
Erzeugung elektrischer Energie aufgeschlüsselt . . . . .	327
Elektrische Energie-Speicherung . . . . .	329
Wasserstoff für Lebensmittelherstellung . . . . .	329
Fäkalien und Müll . . . . .	330
Der Preis des Wasserstoffs . . . . .	330
Einführung in die Anwendung von Sauerstoff . . . . .	331
Anwendungsmöglichkeiten von O <sub>2</sub> . . . . .	331
Umkehrung der Pollution . . . . .	332
Müll und Abfälle . . . . .	333
Weitere Anwendungen . . . . .	333
<b>Kapitel 13: Transportwesen</b> . . . . .	335
Straßen-Kraftverkehr mit Wasserstoff als Treibstoff . . . . .	335
Geschichte des auf Wasserstoff gegründeten Transportwesens . . . . .	339
Die USA-Grenzwerte für Luftverunreinigung und die Wasserstoff-Automobile . . . . .	342
Der gegenwärtige Wasserstoff-Motor für Automobile . . . . .	344
Sicherheit . . . . .	344
Der Preis des Flüssigwasserstoffs („LH2“) . . . . .	348
Schlußfolgerungen über den Betrieb von Straßenfahrzeugen mit H <sub>2</sub> als Treibstoff . . . . .	351
Vorzüge des Wasserstoffs als Treibstoff für Flugzeuge . . . . .	351
Hyperschall-Flugzeuge . . . . .	354
Kühlung des Flugzeug-Gerippes . . . . .	355
Kostenvorausschätzungen . . . . .	357
Bereits vorliegende Erfahrungen über Flugtransport mit H <sub>2</sub> -Antrieb . . . . .	358
Negative Aspekte des Übergangs von Benzin zu H <sub>2</sub> als Flugzeug-Treibstoff . . . . .	359
Mögliche Neuentwürfe für Überschall- und Hyperschalltransport . . . . .	361
<b>Kapitel 14: Umweltprobleme</b> . . . . .	363
Rohstoffvorräte und Wasserstoff-Wirtschaft . . . . .	363
Einwirkungen auf die Umwelt . . . . .	365
Allgemeine Diskussion . . . . .	367
Zusammenfassung über die Umwelteinflüsse einer H <sub>2</sub> -Wirtschaft . . . . .	368
<b>Anmerkungen zu Kapitel 1–14</b> . . . . .	371
<b>Suchwörterverzeichnis</b> . . . . .	393