

*„Es ist eine Illusion, zu glauben, Deutschland könne gleichzeitig aus der Kernkraft und der Kohle aussteigen.“*



## Energie aus Kohle, Kernkraft, Erdgas

**Strom ist zwar nicht alles,  
aber ohne Strom ist alles nichts.**

**Manfred Mach**

„Es ist eine Illusion, zu glauben,  
Deutschland könne gleichzeitig aus der  
Kernkraft und der Kohle aussteigen.“

Sigmar Gabriel, zitiert im SPIEGEL, Heft 46/2014  
„Gabriel rückt von der Energiewende ab“



Kernkraftwerk 1.400 MW<sub>el</sub>  
Krümmel (Elbe),  
das konstruktiv und  
betrieblich einfache  
Kernkraftwerk



Kohlekraftwerk 700 MW<sub>el</sub>  
Hanau (Neckar),  
das anlagenmäßig auf-  
wendige, aber wirtschaft-  
liche Kohlekraftwerk

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de/opac.htm> abrufbar.

Herausgeber: D&D Switzerland GmbH, Bern

Mitwirkung an  
der Gestaltung: Britta Heitmann  
Breitenfelde (Herzogtum Lauenburg)

Verlag: RHOMBOS-VERLAG, Postfach 670217, 10273 Berlin,  
Tel. 030-2616854, E-Mail: [verlag@rhombos.de](mailto:verlag@rhombos.de)  
Homepage: <https://www.rhombos.de>

Druck: dbusiness.de, eine Marke der e-dox GmbH Berlin

© 2021 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

ISBN: 9783949314018

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

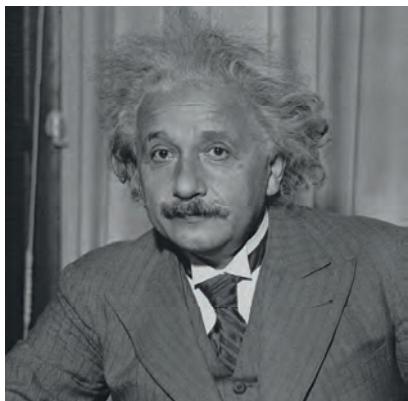
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieses Werkes darf außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Der Rhombos-Verlag tritt für einen erkenntnis-orientierten interdisziplinären Dialog in Wissenschaft, Forschung und Lehre ein. Voraussetzung hierfür ist ein demokratisches Gemeinwesen und eine Wissenschaft, die Intoleranz (Semmelweis-Reflex) ablehnt und sich für Meinungsfreiheit und Diskursbereitschaft stark macht, auch und insbesondere gegenüber Minderheitsmeinungen. Wissenschaft beinhaltet auch den Auftrag, erarbeitetes Wissen zu prüfen und wieder in Frage zu stellen. Der Rhombos-Verlag ist den Zielen der Aufklärung und Vernunft verpflichtet und wendet sich gegen Strukturen, die mit Denk- und Diskursverboten den begründeten und überprüfbaren Fortschritt der Wissenschaft und der Gesellschaft zu behindern versuchen.

Für die veröffentlichten Manuskripte sind die jeweiligen Autoren und Herausgeber inhaltlich und presserechtlich verantwortlich; die Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung des Verlags wieder.

Gedruckt auf Munken Print White, alterungsbeständig und säurefrei gemäß ISO 9706, mit dem EU Ecolabel ausgezeichnet und FSC™ sowie PEFC zertifiziert.





*„Zwei Dinge sind unendlich:  
Das Universum und  
die menschliche Dummheit;  
beim Universum bin ich mir  
allerdings nicht ganz  
sicher...“*

**Albert Einstein, Physiker, geb. 1879 Ulm, gest. 1955 Princeton/N.J.**

Leiter des Kaiser-Wilhelm-(Max-Planck)Instituts für Physik in  
Berlin (1913-1933)

Spezielle Relativitätstheorie von 1905:  $E=m \cdot c^2$   
(Äquivalenz von Masse und Energie)

Allgemeine Relativitätstheorie (1916): Beruft sich auf das Mach'sche Prinzip der  
„Relativität der Trägheit“ (1910) von Ernst Mach (1838-1916)  
im System der Wheeler-Einstein-Mach-Spacetime

Nobelpreis für Physik im Jahre 1921, verliehen für die schon länger zurückliegende Erklärung des photoelektrischen Effektes durch Lichtquanten von 1901.

Offensichtlich hat das Nobelpreiskomitee – wie berichtet wird – die vier-dimensionale Raum-Zeit-Welt (Spacetime) von 1916 nicht verstanden, in der Einstein die Krümmung des Weltalls als Grundlage seiner allgemeinen Relativitätstheorie (1916) postuliert hatte.

Anmerkung: Tatsächlich unterstellte die damalige Wissenschaft für die Strahlen im Weltall – aufgrund der hohen Geschwindigkeit – einen gradlinigen Verlauf, den Einstein noch in seiner speziellen Relativitätstheorie 1905 unterstellt hatte. Gleich wie: Der verdiente Nobelpreis wurde verliehen.

Inhalt	<u>Seite</u>
1. Grundlagen der Energiewandlung	9
2. Fossile Energie, Wohlstand und Weltbevölkerung	12
3. Die Energiewende	16
4. Stromspeicher für die deutsche Energiewende	19
4.1 Mechanische Speicher	20
4.2 Chemische Speicher	22
4.21 Batterien / Akkus	22
4.22 Wasserstoffspeicherung und -verwendung	23
4.3 Elektrische Speicher	26
4.31 Kondensatoren und Super Caps	26
4.32 Supraleitende Magnetische Energiespeicher	27
4.4 Thermische Speicher	28
4.41 Industrieverbundspeicher	28
4.42 Sonstige thermische Speicher	30
4.43 Elektro-(Nacht-)Speicher	30
4.5 Virtuelle Speicher	31
4.51 Virtuelle Kälte- und Wärmespeicher	31
4.52 Virtuelle Stromspeicher	32
4.53 Elektromobilität als virtueller Stromspeicher	33
4.54 Demand Side Management	45
5. Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit der Speicher	46
5.1 Einsatzbereiche der Speicher	46
5.2 Wirkungsgrad und Arbeits-(Speicher-)Kosten	47
5.3 Investitionsaufwand Speicher und Strompreis	48
5.4 Vier errechnete Speichergrößen für Erneuerbare	49

Inhalt	<u>Seite</u>
6. Fossile Reservekraftwerke für eine sichere Stromversorgung	50
7. Kurze Vorgeschichte des deutschen Kernenergieausstiegs	57
8. Kurze Vorgeschichte des deutschen Kohleausstiegs	69
9. Reichweite von Primärenergie	81
10. Klärung der „Erderwärmung“ um 1,5 – max. 2,0 °C bis 2100	83
11. Die kognitive Konkurrenz Deutschlands in der Welt	84
12. Wie stände die Ethik-Kommission (von 2011) zum Kohleausstiegsbeschluss (von 2019)?	88
13. Deutscher Stromimport	99
14. Aufstieg und Ende der deutschen Steinkohlezechen	103
15. Klima- und Umweltverträge und ihre Einhaltung	107
16. Die nationale Wasserstoffstrategie Deutschlands	116
17. Die internationale Wasserstoffstrategie Deutschlands	123
18. Kernkraftwerke für Wasserstoffstrategie und E-Mobilität	131
19. Der Green Climate Deal der Europäischen Union	140
20. Anspruch der Menschheit auf Technik und Natur	149
21. Wie schädlich (oder gar nützlich) ist das CO <sub>2</sub> ?	154
21.1 Der vorhandene (gute) globale CO <sub>2</sub> -Treibhauseffekt	154
21.2 Strahlungsantrieb und Klimasensitivität des CO <sub>2</sub>	154
21.3 Logarithm. Temperaturabnahme bei CO <sub>2</sub> -Anstieg	155
21.4 CO <sub>2</sub> -Klimasensitivität in Wissenschaft und Politik	157
22. Nur geringer CO <sub>2</sub> -Einfluß auf die atm. Temperatur	159
23. Die atm. Temperaturen historischer Vorzeiten	162
23.1 Vom Beginn der Zeitrechnung (0-2021 n. Chr.)	162
23.2 Vor Beginn der Zeitrechnung (0-7000 v. Chr.)	163

Inhalt	<u>Seite</u>
24. Die Sonne als Klima-Manager der Erde	165
24.1 Einfluß der Sonnenflecken auf die Solaraktivität	167
24.2 Einfluß des Magnetfeldes auf die Solaraktivität	168
24.3 Einfluß der drei Bahnpараметер auf die Solarkraft	169
25. Die deutsche Energiewende – von außen betrachtet	171
25.1 Stimmen der Presse und des Weltenergierats	171
25.2 Klimaschutz als Instrument gesellschaftlicher Veränderung	173
26. Sonnenfleckenaufnahme – Hiatus – kleine Eiszeit	174
27. Überschwemmte Inseln – Opfer des Klimawandels (?)	179
28. Die künftige deutsche Mobilität für Mensch und Fracht	180
28.1 Die Elektromobilität	181
28.2 Verbrennungs-Mobilität mit „grünem Kraftstoff“	181
29. Sektorenkopplung von Strom, Wärme, Verkehr, Industrie	184
30. Abbildungen	189
31. Literatur	192
32. Der Autor	195
33. Veröffentlichungen	196

**Lesehinweis:** Um den Lesefluß des überwiegend technisch-wissenschaftlichen Textes nicht zu behindern, wurde – wo sachlich erforderlich – stets das generische Maskulinum verwendet, welches nach Übernahme der phönizischen Alphabet-Erfundung (ca. 1.000 v. Chr.) über das Griechische und Römische in den deutschen (mitteleuropäischen) Sprachraum das Femininum gleichberechtigt einschließt.



# 1. Grundlagen der Energiewandlung

Die von den Menschen zu nutzende Energie für Strom, Wärme und Verkehr liegt in den noch aus der Erde zu fördernden, fossilen „auszugrabenden“<sup>1</sup> Rohbrennstoffen Kohle, Erdöl, Erdgas und Uranerz sowie im Wald (Holz), Wasser (Gefälle) und den – nicht immer verfügbaren – Wind- und Sonnenkräften.

Energie kann man also nicht „produzieren“ oder „erneuern“, sie ist nämlich schon im „Rohstoff“ vorhanden. Man kann sie also nur „wandeln“ und zwar je nach dem Bedarf in Haushalt, Gewerbe, Dienstleistung und Industrie, der über die Tages-, Nacht- und Jahreszeit unterschiedlich ist, wobei in Industrieländern ein Grundlaststrom von 24 Stunden / 365 Tagen, d. h. rund 40% des durchschnittlichen Tagesverbrauchs benötigt wird.

Das Wort „Illusion“ im Zitat und Titel dieser Schrift drückt aus, daß eine bedarfsgerechte Erzeugung wohl nur durch fossile Dampfkraftwerke, vorrangig Kern- und/oder Kohlekraftwerke bewirkt werden kann, wobei der Vollständigkeit halber erwähnt wird, daß Gas- und kombinierte Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD-Kraftwerke) dazugehören.

Die Grundgesetze der Energiewandlung in fossilen Kraftwerken sind in den vier Hauptsätzen der Thermodynamik niedergelegt, welche die physikalischen Grundlagen der Erhaltung und Verwertung mechanischer, thermischer und elektrischer Energie sind.<sup>2</sup> (Bild 1)

<sup>1</sup> lateinisch: fossa, ae, fem. – der Graben, die Grube, die Furche

<sup>2</sup> griechisch: ή ἐνέργεια, fem. (he energeia) – die Wirksamkeit (der Energie)  
 ή δυναμις, fem. (he dynamis) – die Wirksamkeit (der Kraft),  
 die Dynamik  
 (Griechische Lautsprache in Klammern)

<b>0. Hauptsatz</b> Kin. Gastheorie (1738) (1860)	$W_{\text{kin}} = \frac{k \cdot T \cdot 3}{2} [\text{Joule}]$	$k = \text{Boltzmann'sche Konstante} = 1,381 \cdot 10^{-23} [\text{Joule/K}]$ Mittl. kinetische Energie der Atome wächst proportional zur Temperatur T. Bei 0 K = -273,15 °C haben die Teilchen keine Bewegungsenergie mehr.
<b>1. Hauptsatz</b> Erhaltungssatz Mech. Wärme-äquivalent (1842)	$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T [\text{Joule}]$	$c = \text{spez. Wärmekapazität eines Stoffes/Körpers} \quad [\text{Joule/kg \cdot K}]$ $m = \text{Masse eines Körpers [kg]}$
	Julius Rob. Mayer 1814-1878 James P. Joule 1818-1889	Arbeit mech.(früher)      1 kpm = 9,81 Joule = $2,34 \cdot 10^{-3}$ kcal " " (heute)                1 Nm = 1 Joule = $2,34 \cdot 10^{-4}$ kcal Leistg. mech.(früher)    1 kpm/s = 9,81 Watt = $2,34 \cdot 10^{-3}$ kcal/s " " (heute)                1 Nm/s = 1 Watt = $2,34 \cdot 10^{-4}$ kcal/s Arbeit elektr.            1 kWh = $3,6 \cdot 10^6$ Joule = 860 kcal Leistung elektr.          1 kW = 102 kpm/s = 1 KNm/s = 1,36 PS <b>Mittelklasse-PKW 100 kW = 136 PS</b>
<b>2. Hauptsatz</b> Entwertungssatz Entropiesatz (1854)	$\Delta S = \int \frac{dQ}{dT} \quad [\text{J/K}]$ Rud. Clausius 1822-1888	$T [\text{K}] = \text{Temperatur, bei der die Zu-/Abführung der Wärmemenge } dQ [\text{J}] \text{ erfolgt. } \Delta S = \text{Energiewandlung von } 1 \rightarrow 2 \text{ in Richtung einer Entwertung (Entropiedifferenz).}$
<b>3. Hauptsatz</b> Wärmetheorem (1906)	$\lim_{T \rightarrow 0} s(p, V, \dots) = s_0$ Walther Nernst 1864-1941 (Nobelpreis Chemie 1920)	$Q_1 = \text{Zugeführte Wärme, bei höh. Temp } T_1$ $Q_2 = \text{Nicht in Arbeit gewandelte Wärme}$ $\eta = \eta_{\text{des Carnot-Kreisprozesses}}$
Bild 1	Die vier Hauptsätze der Thermodynamik	Dr.-Ing. M. Mach

Diese vier Hauptsätze der Thermodynamik sind verbunden mit der sogenannten „Ersten industriellen Revolution (1800-1850)“, hinsichtlich der Dampfkraftwerke festgemacht an den Namen

Edme Mariotte 1620 - 1684	Franz. Physiker, das Boyle-Mariotte'sche Gasgesetz $p * v = \text{const.}$ (spez. Druck p * spez. Volumen v = konstant)
Gay Lussac 1778 - 1850	Franz. Physiker und Chemiker, Gasgesetze: 1. $V (p \text{ const.})$ oder $p (V \text{ const.})$ ist proportional T abs. (Temp. ° Kelvin) 2. V (eines idealen Gases) hängt nur von T ab ( $0^\circ \text{K} = -273,15^\circ \text{C}$ )
Denis Papin 1647 - 1712	Franz. Arzt und Naturforscher erste (noch unvollkommene) Dampfmaschine (Papin'scher Topf mit Sicherheitsventil, 1678)
James Watt 1736 - 1819	Brit. Ingenieur, 1765 Verbesserung der atm. Dampfmaschine Newcomens (Trennung des Kondensators vom Zylinder), somit die erste direktwirkende ND-Dampfmaschine der Welt, 1784 die erste doppeltwirkende ND-Dampfmaschine (mit Schwungrad und Fliehkraftregler)
William Kelvin 1824 - 1907	Sir William Thomson, Lord Kelvin of Largs, brit. Physiker, Mitbegründer der Thermodynamik, Begründer der Temperaturskala mit $K = -273,15^\circ \text{C}$ , Joule-Thomson-Effekt (1853), u.a.

Die praktische Energiewandlung in einem Kohlekraftwerk (Bild 2):

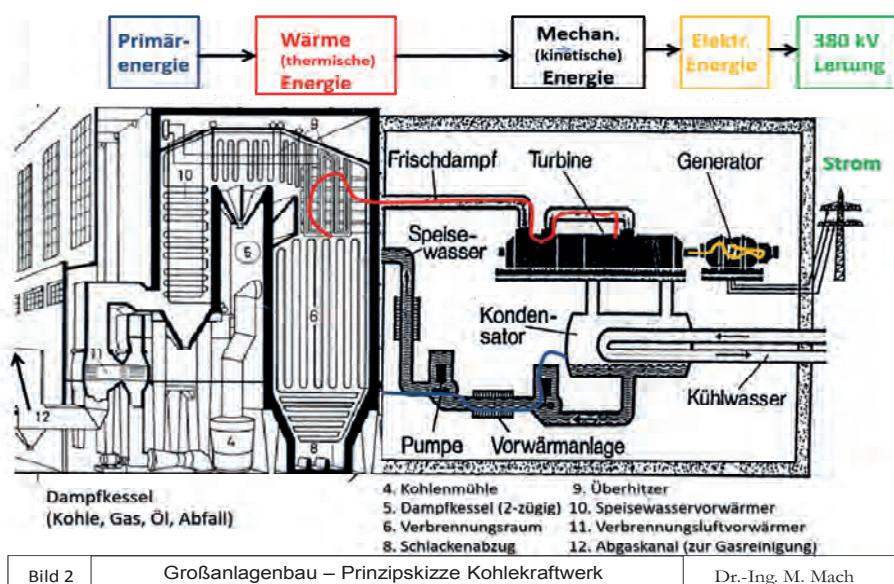


Bild 2

Großanlagenbau – Prinzipskizze Kohlekraftwerk

Dr.-Ing. M. Mach

Das Kernkraftwerk, ebenfalls ein Dampfkraftwerk, unterscheidet sich vom Kohlekraftwerk hauptsächlich durch einen anderen Rohstoffverwerter, nämlich: Kernreaktor statt Dampfkessel (Bild 3):

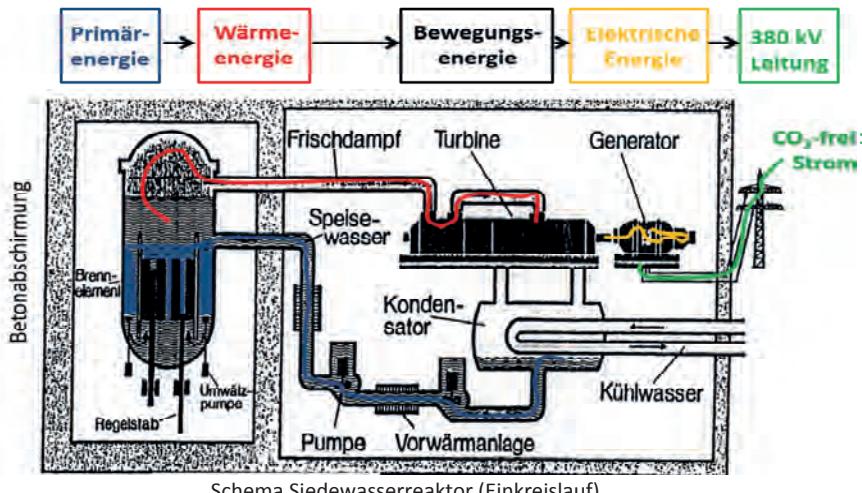


Bild 3

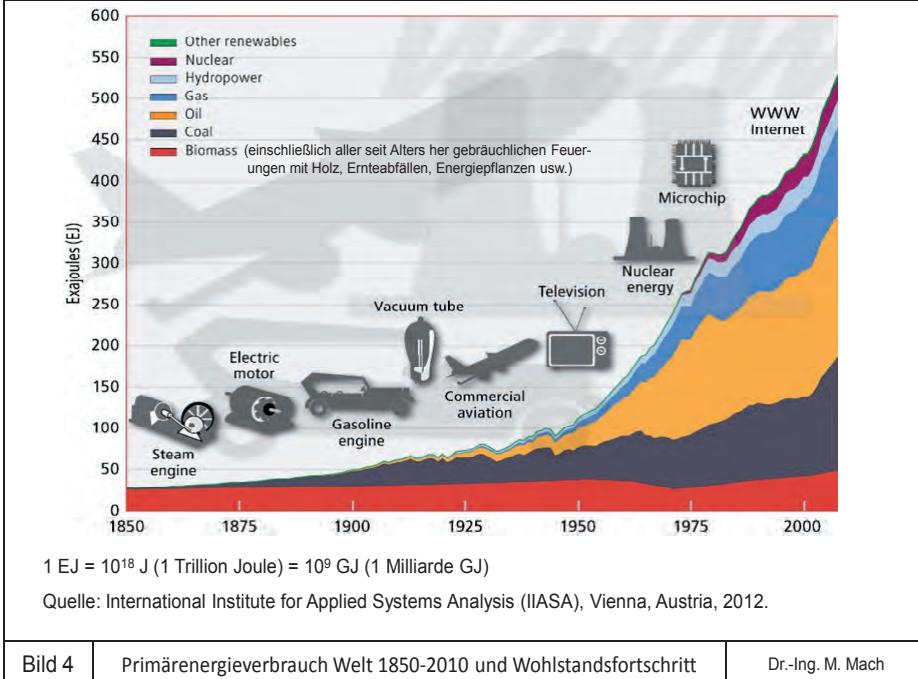
Großanlagenbau – Prinzipskizze Kernkraftwerk

Dr.-Ing. M. Mach

## 2. Fossile Energie, Wohlstand und Weltbevölkerung

Die Förderung des Lebensstandards der Schwellen- und Entwicklungsländer ist Beschlusslage der UNO. Sie streben den Lebensstandard der Industrieländer an (Elektrizität, Wasserversorgung, Automobilbesitz usw.). Sie wissen, daß dies nur durch die Verwendung fossiler Kraftstoffe möglich ist, welche die Industrieländer zur Erreichung ihres Wohlstandes verwendet haben.

Sie kennen also das folgende Diagramm (Bild 4).



Das Diagramm zeigt, daß erst die Nutzung der fossilen Energie der Welt offenbar ihren Wohlstand gebracht hat. Es ist fraglich, ob sie sich diesen durch Beschlüsse der Weltklimakonferenz (Paris, 30.11.-13.12.2015) zum „1,5 – max. 2°-Ziel“ wegnehmen läßt. Den Beschlüssen zufolge sollen schon bis 2050 (im Vergleich zu 2010) die Treibhausgase um 40 bis 70 % reduziert werden (Anmerkung: bekanntlich hat Deutschland gerade einmal sein „corona-begünstigtes“ Reduktionsziel von 40 % bis 2020 gegenüber 1990 erreicht).

Bei der Weltklimakonferenz in Paris (2015) hat die Mehrheit der 185 anwesenden (von 195) UN-Länder die – auch von Deutschland geforderte – „Dekarbonisierung der Weltwirtschaft“ wegverhandelt. Es gab nur eine Vereinbarung zur Temperaturänderung bis 2100 von 1,5 bis max. 2,0 °C gegenüber dem vorindustriellen Zeitalter (1850).

Die Einhaltung dieser Zusagen soll zwar in Zeitintervallen überprüft werden, bei Nichteinhaltung sind aber keine Sanktionen vorgesehen.

Jedes der 42 Entwicklungs-/Schwellenländer kann nun von der 2°C-Regelung straffrei abweichen, sofern seine wirtschaftliche Lage durch den Bau von Kohlekraftwerken verbessert wird. Insofern ist der Pariser „Klimavertrag“ kein Vertrag, sondern eine freundschaftliche Vereinbarung, welche die Parteien nicht bindet und auch nicht zu nachprüfbares Ergebnissen führt.

Gleich wie: Die Ausführungen zeigen, wie die meisten UN-Mitglieder ihre wirtschaftliche Entwicklung sehen:

Nicht etwa „sine carbone“, sondern „cum carbone“

Das Zeitalter der Tabelle „Energieverbrauch und Wohlstandsfortschritt“ (Bild 4) reicht also von der sogenannten Zweiten industriellen Revolution (1850-1900)<sup>1</sup> bis zur sogenannten Vierten industriellen Revolution (1950-2000)<sup>1</sup>, wofür folgende Namen stehen:

Konrad Zuse      Dt. Ingenieur, Student der TH Berlin-Charlottenburg, erster programmgesteuerter Digitalrechner (1941), der „Z3“ mit 2000 Relais  
1910 - 1995

William Hewlett      US-amerik. Elektroingenieure, gründeten 1947 „Garagenfirma“  
1913 - 2001      für Reparatur, später Bau von elektrischen Geräten in Palo Alto,  
David Packard      Kalifornien. 140.000 Mitarbeiter. HP hat Weltgeltung für seine  
1912 - 1996      Ethik am Arbeitsplatz und in Geschäftsbeziehungen

Bill Gates      Ingenieur, Vertreter einer zeitgenössischen IuK-Vernetzung,  
geb. 1955      die inzwischen alle industriellen und persönlichen Lebensbereiche betrifft.

<sup>1</sup> Mach, Manfred (2005), Energiewandlung und Umweltschutz, die vier industriellen Revolutionen, S. 19-22

Daß sich der im Bild 4 gezeigte Anstieg von Wohlstand und Energiebedarf in ähnlicher Weise fortsetzen wird, gilt als gesichert (Bild 5).

	Weltenergiebedarf	%	Weltbevölkerung	%
2014	<b>600 EJ [Exa Joule]</b> = $600 \cdot 10^{18}$ Joule = 600 Trillionen Joule	100	<b>7,3 Mrd.</b>	100
2050	<b>900 EJ [Exa Joule]</b> = $900 \cdot 10^{18}$ Joule = 900 Trillionen Joule	150	<b>9,6 Mrd.</b>	132

Die Schwellen- und Entwicklungsländer werden sich also ihre Energieerzeugungsanlagen bauen, und zwar vorrangig fossile Kraftwerke. Das ergibt sich bereits aus den nationalen Statistiken der im Bau und in Planung befindlichen Kohle- und Gaskraftwerke dieser Länder.

1 kWh =  $3,6 \cdot 10^6$  Joule = 860 kcal = das Wärmeäquivalent der elektrischen Arbeit (1. Hauptsatz Thermodynamik)  
 600 EJ =  $167 \cdot 10^{12}$  kWh = 167 Billionen kWh = 167.000 TWh [Terawattstunden] = 167 PWh [Petawattstunden]  
 900 EJ =  $250 \cdot 10^{12}$  kWh = 250 Billionen kWh = 250.000 TWh [Terawattstunden] = 250 PWh [Petawattstunden]

Zum Vergleich: Primärenergieverbrauch Deutschland 2015 13,3 EJ (AG Energiebilanzen Nr. 01/2016)

Quelle: Internationale Energie Agentur (IEA) 2014

Bild 5 Weltenergiebedarf und Weltbevölkerung 2014 und 2050 Dr.-Ing. M. Mach

Der Weltenergiebedarf beträgt derzeit rund 600 EJ [Exa Joule] und wird bis zum Jahr 2050 auf 900 EJ steigen, d. h. um 50%. Die Weltbevölkerung beträgt jetzt rund 7,5 Milliarden Menschen und wird bis 2050 auf knapp 10 Milliarden Menschen steigen, also nur um 33%.

Der spezifische Energiebedarf der Menschen wird also größer, da ihr Streben nach steigendem Wohlstand mehr Energie erfordert (Bild 6).

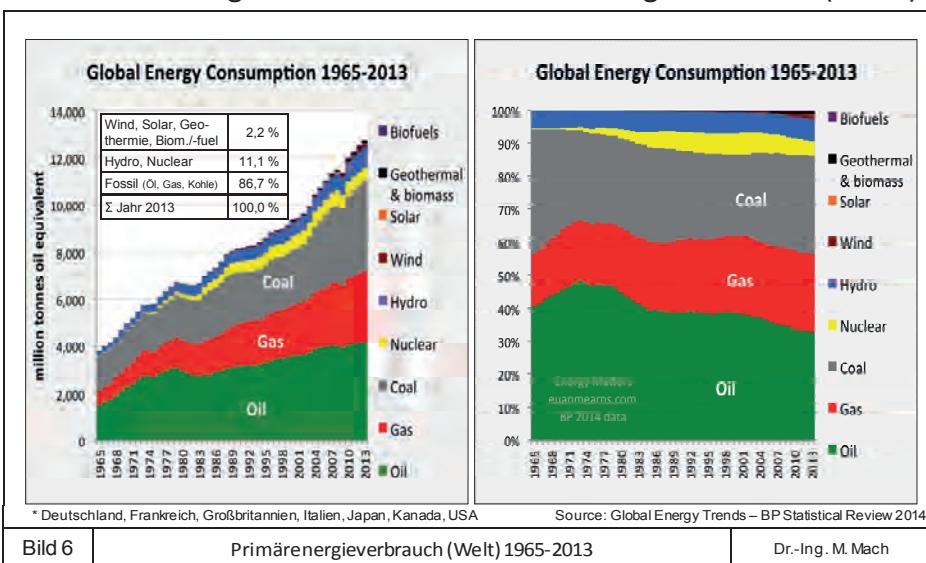


Bild 6 Primärenergieverbrauch (Welt) 1965-2013 Dr.-Ing. M. Mach

Bereits in der Abschlußerklärung des G7-Gipfels vom 7.-8.6.2015 auf Schloß Elmau/Bayern, also noch vor der Weltklimakonferenz von Paris, 30.11.-13.12.2015, hieß es auf Seite 17, Abs. 2:

„In Anbetracht dieses (2°C) Ziels ... (sind) tiefe Einschnitte bei den weltweiten Treibhausgasemissionen erforderlich..., einhergehend mit einer Dekarbonisierung der Weltwirtschaft im Laufe dieses Jahrhunderts (Anm. des Verfassers: also bis 2100). Wir verpflichten uns, langfristig eine kohlenstoffarme Weltwirtschaft zu erreichen.“

Offensichtlich haben die nach Elmau/Bayern angereisten G7-Staatsführer und ihre Fachleute die obigen Diagramme der Bilder 4, 5 und 6 nicht gekannt.<sup>1</sup>

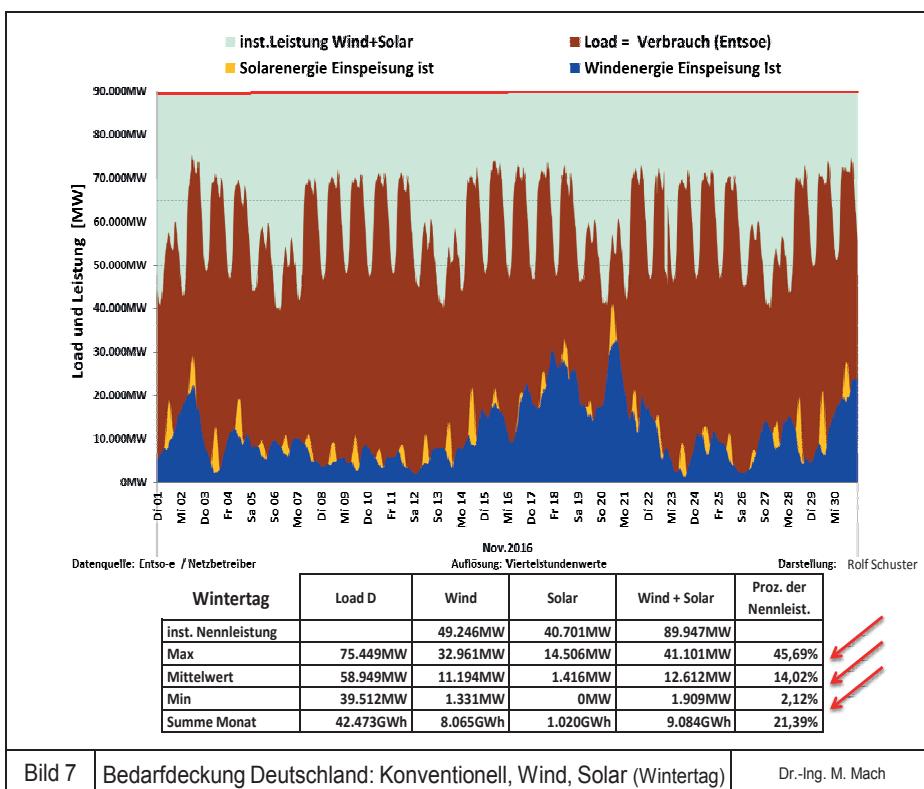
<sup>1</sup> Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada, USA unter Teilnahme der deutschen Bundeskanzlerin A. Merkel (Gastgeberin) und B. Obama (US-Präsident)

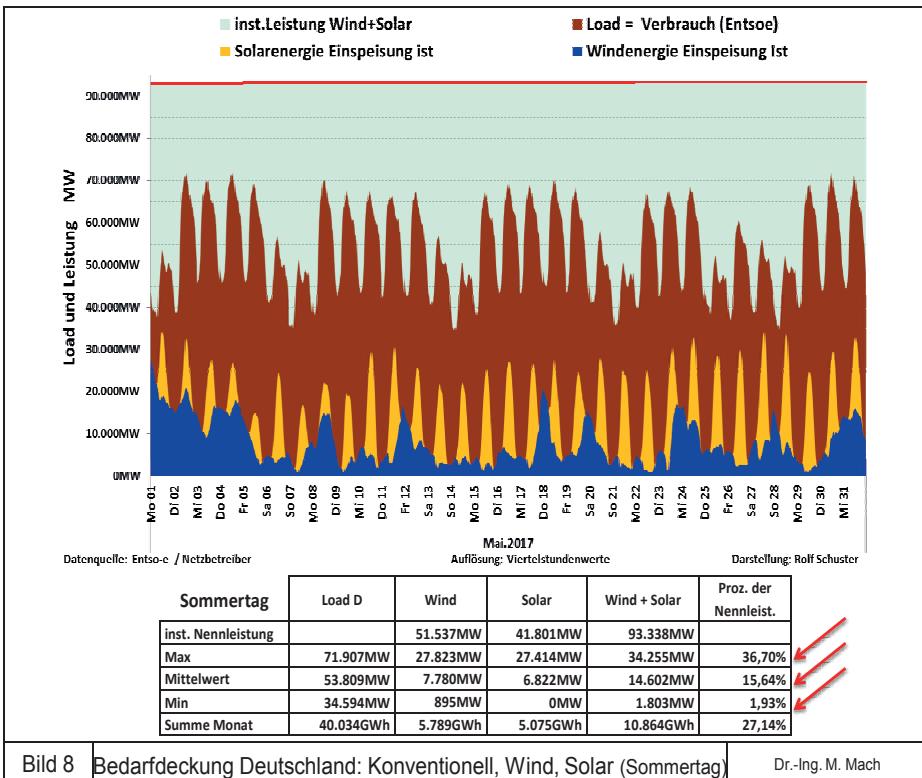
### 3. Die Energiewende

Die Idee, diejenige Energie, die am meisten Kohlendioxyd ( $\text{CO}_2$ ) ausstößt, durch erneuerbare Energien Wind, Sonne, Biomasse und Wasser zu ersetzen, hat in der Politik, aber auch in der Fachwelt einen starken Reiz ausgeübt und zur Entwicklung der erneuerbaren Energieformen geführt.

Dabei spielt es zunächst einmal keine Rolle, ob das  $\text{CO}_2$  mit einem Anteil von nur 400 ppm (0,04%) in der Atmosphäre überhaupt eine Erwärmung unserer Umgebungsluft bewirken kann.

Gleich wie: Wind und Sonne sind nun einmal sicht- und fühlbar da und haben Anspruch, auf ihre Fähigkeit zum energiewirtschaftlichen Beitrag untersucht zu werden (Bild 7 und 8).





Die Nachteile der Stromwandlung aus Wind- und Solarenergie sind vielfältig. Selbst ihre Befürworter geben zu, daß sie extrem teuer ist und in keinem anderen Land der Welt stattfindet. Hierzu gibt es außergewöhnliche Zitate zur Energiewende:<sup>1</sup>

*„Die Energiewende steht kurz vor dem Scheitern.“*

*„Für die meisten Länder in Europa sind wir sowieso Bekloppte.“*

*„Wir haben eine Überförderung von 23 Mrd. Euro pro Jahr für Erneuerbare.“*

*„Kein Land in Europa gibt jährlich zur Förderung der erneuerbaren Energien 23 Mrd. Euro aus.“*

*„Und zum Schluß: ...ich mußte mal eben die Wahrheit sagen.“*

<sup>1</sup> Sigmar Gabriel am 17.04.2014 bei einer Jubiläumsfeier der Firma SMA Solar Technologies, Niestetal bei Kassel, die nach hohen deutschen Steuer-subventionen dennoch in Konkurs ging.

Anmerkung: Die Solarmodule werden jetzt überwiegend in China produziert.

Der größte technische Nachteil der Energiewende ist, daß es für die volatilen Energien keine Speicher gibt, die den bei viel Wind und Sonne anfallenden, aber nicht benötigten (überschüssigen) Strom speichern, um ihn bei Anforderung durch die Verbraucher auszuspeichern und als Nutzenergie einzusetzen. Hierzu ein fachliches

### **Zitat zur Speicherung in der Energiewende**

Dr. Patrik Graichen<sup>1</sup>, Vorsitzender der AGORA-Energiewende, Denkfabrik der Mercator-Stiftung und der European Climate Foundation

*„Wir haben uns geirrt bei der Energiewende.  
Nicht in ein paar Details, sondern in einem zentralen Punkt.  
Der zentrale Punkt sind die fehlenden Speicher.“<sup>2</sup>*

Die Energiewendebefürworter hatten (2011) ausreichende Speicher für Wind- und Solarstrom im Rahmen ihrer Zustimmung zur Energiewende gefordert, nämlich für 14 Tage  $\triangleq 24 - 28 \text{ TWh}$ .<sup>3</sup>

In Anerkennung fehlender Speicher empfiehlt AGORA nunmehr den Fortbestand fossiler Kraftwerke als „Stützungskraftwerke“, um auf diese Weise die Energiewende fortzuführen.

Damit handelt es sich allerdings nicht mehr um eine **Energie“Wende“** im eigentlichen Sinn, d.h. „weg von den fossilen – hin zu Erneuerbaren“, – sondern um den Weiterbestand der deutschen fossilen Kraftwerke ( $\sim 95 \text{ GW}$ )<sup>4</sup> parallel zur gleichgroßen Wind- und Solarkapazität ( $\sim 95 \text{ GW}$ ). Letztere erreichen allerdings nur an ganz wenigen Tagen im Jahr die erforderliche Tagesstrommenge, meist dann, wenn kein Bedarf für diesen (überschüssigen) Strom besteht.

<sup>1</sup> davor im Bundesumweltministerium; früherer AGORA-Vors.: Rainer Baake (jetzt Staatssekretär BMWi)

<sup>2</sup> DIE ZEIT 50/2014

<sup>3</sup> Stromverbrauch Deutschland  $1,7 - 2,0 \text{ TWh}$  pro Tag  $\times 14$  Tage  $\triangleq 24 - 28 \text{ TWh}$ ,  $\triangleq 4-5\%$  des jährl. Stromverbrauchs Deutschlands

28 Terawattstunden (28 TWh) = 28 Mrd. kWh

<sup>4</sup> 1 Gigawatt (GW) = 1.000 Megawatt (MW), 95 GW = 95.000 MW

#### 4. Stromspeicher für die deutsche Energiewende

Unter den Befürwortern hat auch die (von der Bundeskanzlerin 2011 einberufene) deutsche Ethik-Kommission ihre Zustimmung zur erneuerbaren Energie mit der Feststellung versehen:

**„Die Erzeugung einer ausreichenden Menge Strom zu jedem Zeitpunkt der Nachfrage ist ... von unabdingbarer Bedeutung.“<sup>1</sup>**

Dreh- und Angelpunkt der deutschen Energiewende sind also die (fehlenden) Speicher und nicht der vorauselende Bau von immer mehr Wind- und Solaranlagen.

Deshalb fanden an Hochschulen, Ministerien und Instituten Untersuchungen zur Speicherung elektrischen Stroms statt.<sup>2</sup>

Mechanische Speicher	Chemische Speicher	Elektrische Speicher	Thermische Speicher	Virtuelle Speicher
<b>Potentielle Energie</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pumpspeicher</li><li>• Druckluftspeicher</li></ul>	<b>Batterien/Akkus</b> <b>Wasserstoff-speicher</b> <b>Metanspeicher (Power to gas)</b>	<b>Kondensatoren</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Doppelschicht-Kondensator</li><li>• SuperCaps</li></ul> <b>SMES-Spulen</b> (Supraleitende magn. Energiespeicher)	<b>Industrieverbundspeicher</b> <b>Thermoöl-, Salz-, Zeralithspeicher</b> <b>Elektro-(Nacht-) Speicher</b>	<b>Virtuelle Kälte- u. Wärme-speicher</b> <b>Virtuelle Stromspeicher</b> <b>Demand Side Management</b>
<b>Kinetische Energie</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Schwungradspeicher</li></ul>				
Bild 9	Techniken zur Speicherung elektrischer Energie			Dr.-Ing. M. Mach

Zum Zwecke dieser Schrift über den „Gleichzeitigen Ausstieg Deutschlands aus der Kernkraft und der Kohle“ wird zu den oben gezeigten fünf grundsätzlichen Speicherarten gemäß obigem Bild 9 Stellung genommen.

<sup>1</sup> Ethik-Kommission „Sichere Energieversorgung“, Schlußbericht, S.33 (Abs. 4)

<sup>2</sup> Mach, M., 2015, Speicherung von elektrischem Strom – Voraussetzung jeder Energiewende

## 4.1 Mechanische Speicher (Pumpspeicherkraftwerke)

Mechanische Speicher	Chemische Speicher	Elektrische Speicher	Thermische Speicher	Virtuelle Speicher
<b>Potentielle Energie</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pumpspeicher</li><li>• Druckluftspeicher</li></ul>	Batterien/Akkus Wasserstoffspeicher	Kondensatoren <ul style="list-style-type: none"><li>• Doppelschicht-Kondensator</li><li>• SuperCaps</li></ul>	Industrieverbundspeicher Thermooil-, Salz-, Zerolithspeicher	Virtuelle Kälte- u. Wärme- speicher
<b>Kinetische Energie</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Schwungadspeicher</li></ul>	Methanspeicher (Power-to-gas)	SMES-Spulen (Supraleitende in ägn. Energiespeicher)	Elektro-(Nacht-) Speicher	Virtuelle Stromspeicher Demand Side Management
<b><math>\Sigma</math> 30 deutsche PSKW, Leistung rd. 7 GW</b> <b>Speicherkapazität <math>\Sigma</math> 40 GWh (Regelenergie), erforderlich aber 14.000 GWh</b> <b>Versorgungsreichweite 1,5 – 6 Std., erforderlich aber 336 Std. (14 Tage)</b>	   			
Bild 10	Vier bewährte Pumpspeicherkraftwerke			Dr.-Ing. M. Mach

Pumpspeicherkraftwerke sind seit langer Zeit eine große Ingenieursleistung zur CO<sub>2</sub>-freien Wandlung von Wasserkraft in Strom, die sich eindrucksvoll in die Landschaft einfügen.

Pumpspeicherkraftwerke sind auch die wirtschaftlichste und am längsten bewährte Art der Energiespeicherung. Der Wirkungsgrad beträgt 75-80%, d. h. der Energieverlust beträgt nur 20-25%.

„Die bestehenden [deutschen] Pumpspeicherkraftwerke können allerdings nur einen relativ kleinen Beitrag leisten: Wenn alle ... Pumpspeicher gefüllt sind, können sie etwa 6 Std. lang ... 6,4 GW liefern. Heute beträgt der Bedarf in Deutschland zu Spitzenzeiten aber 80-90 GW.“ <sup>1</sup>

<sup>1</sup> „Sektorkopplung“ (2017), Seite 41

Unter der Annahme einer Leistungssteigerung für Neubauten von Pumpspeicherkraftwerken mit der Technik des Baujahres 2030 kann ein Speicher-(Arbeits-)vermögen von rund 16 GWh, der doppelten Leistung des derzeit größten deutschen Pumpspeicherkraftwerks Goldisthal, unterstellt werden.

Mit dem für die Energiewende geforderten Speichervolumen von 24 - 28 TWh kommt man auf eine Zahl von

**1.857 Pumpspeicherkraftwerken.**

Ein anderes Rechenbeispiel für die Speicherung von 86 GW Wind- und Solarstrom zeigt das Bild 11.

In Deutschland installiert (Juni 2016): ~46 GW Wind- u. ~40 GW PV-Anlagen = 86 GW (86.000 MW). Systembedingt sind davon die Hälfte (oder weniger) verfügbar. Bei Ausfall dieser „Erneuerbaren“ sind also 43 GW durch Energiespeicher bereitzustellen, da fossile Kraftwerke beschlußgemäß nicht mehr in Betrieb sein werden.

*Speicher für eine Regelleistung von 43 GW müssen eine Regelenergie von (43 GW · 14 Tage · 24 Std./Tag) = 14.450 GWh zur Verfügung stellen. Das größte deutsche PSKW Goldisthal (Thüringen) hat eine Regelleistung von 1.060 MW und kann mit seinen 12 Mil. m<sup>3</sup> Wasser im Oberbecken und einer Ablaufzeit von 6 bis 8 Std. eine Regelenergie von (6,4 bis 8,5 GWh ~) 7,7 GWh verfügbar machen.*

*Mit diesen Vorgaben müßten also (14.450 : 7,7 =)*

**1.882 Pumpspeicherkraftwerke**

vom Typ Goldisthal vorhanden sein<sup>1</sup>. Kostenschätzung 5.600 Mrd. Euro (5,6 Billionen €), Bauzeit 75 bis 100 Jahre (Quelle: Mach, M., Speicherung von elektrischem Strom – Voraussetzung jeder Energiewende, 2015, Rhombos-Verlag, S. 81-82 und 147-149).

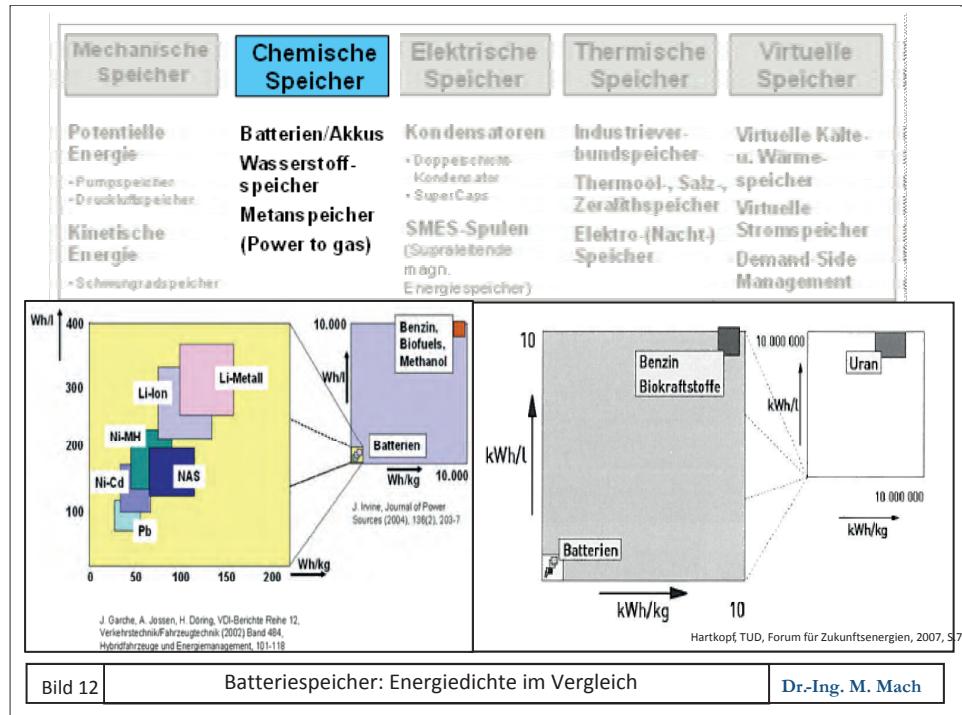
Alle anderen Speicherarten sind prozeßbedingt zu teuer (Power-to-Gas-to-Power), von der Kapazität her nicht ausreichend (Batteriespeicher, Vehicle-to-Grid/Elektromobilität) oder beim Bürger nicht durchsetzbar (Demand Side Management, Stromzuteilung).

<sup>1</sup> andere Autoren, z.B. Dr. Dietmar Ufer, Leipzig, kommen auf 2.000 PSKW

Bild 11	Erforderliche Zahl der Pumpspeicherkraftwerke für die dt. Energiewende	Dr.-Ing. M. Mach
---------	--	------------------

Deutschland fehlt die geomorphologische Struktur, selbst wenn man die Alpenländer und die Gebiete Skandinaviens im Rahmen einer EU-Lösung hinzugewinnen würde, um 1.800-2.000 Pumpspeicherkraftwerke zu errichten.

## 4.2 Chemische Speicher



## 4.21 Batterien/Akkus

Es handelt sich um galvanische Zellen mit Anode, Kathode und Elektrolyten, einer seit rund 150 Jahren bewährten Energiespeicherung.

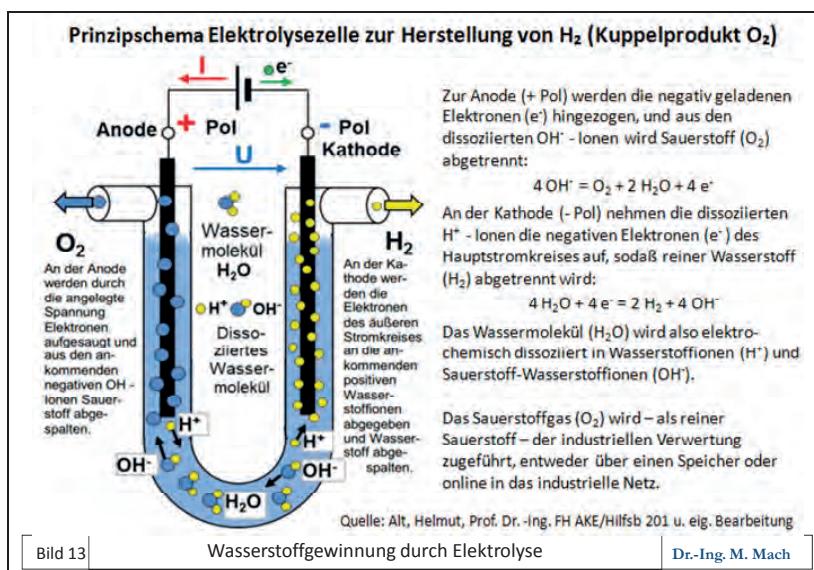
**Vorteil:** Speicherung elektr. Energie, hoher Wirkungsgrad ( $\eta = 65\text{--}70\%$ ), Zugriffszeit in Millisekunden, Entladungszeit mehrere Std., modularer Aufbau, erprobte Technik

**Nachteil:** geringe Leistungsdichte (25-40 Wh/kg), Gewicht und Größe unbeherrschbar bei großen Speichermengen, regelmäßiger Austausch der Zellen (rd. 500 Zyklen), Betriebskosten 10- bis 100-fach höher als bei Pumpespeicherwerken. Zusätzlich Brandgefahr (siehe Flugzeugbrände). Abgesehen davon scheiden Batteriearten wegen zu geringer Energiedichte als Langzeitspeicher im Rahmen der Energiewende aus.

„Speicher für Strom – hier kommen insbesondere [die vorhandenen] Pumpspeicherkraftwerke und stationäre Batteriespeicher in Betracht – können ... die Verfügbarkeit ... auf kurzen Zeitskalen (mehrere Stunden) erhöhen. Allerdings lässt sich die Kapazität von Pumpspeicherkraftwerken kaum erweitern, und Batteriespeicher werden selbst bei weiterhin stark sinkenden Kosten nicht so groß dimensioniert und rentabel betrieben werden können, daß damit eine mehrtägige oder gar mehrwöchige ... Energieversorgung realisierbar ist. Deshalb wird auch zukünftig eine (fossile) Reservekapazität ... benötigt werden, um in längeren Phasen ohne ... Strom aus erneuerbaren Quellen eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten.“<sup>1</sup>

## 4.22 Wasserstoffspeicherung und -verwendung

Im Rahmen der Energiewende von 2011 war die Speicherung des Wind- und Solarstroms über einen chemischen „Umweg“ eine hoffnungsvolle (aber nicht gesicherte) Erwartung ihrer Befürworter, bekannt unter dem Schlagwort Power-to-Gas-to-Power (Bild 13).

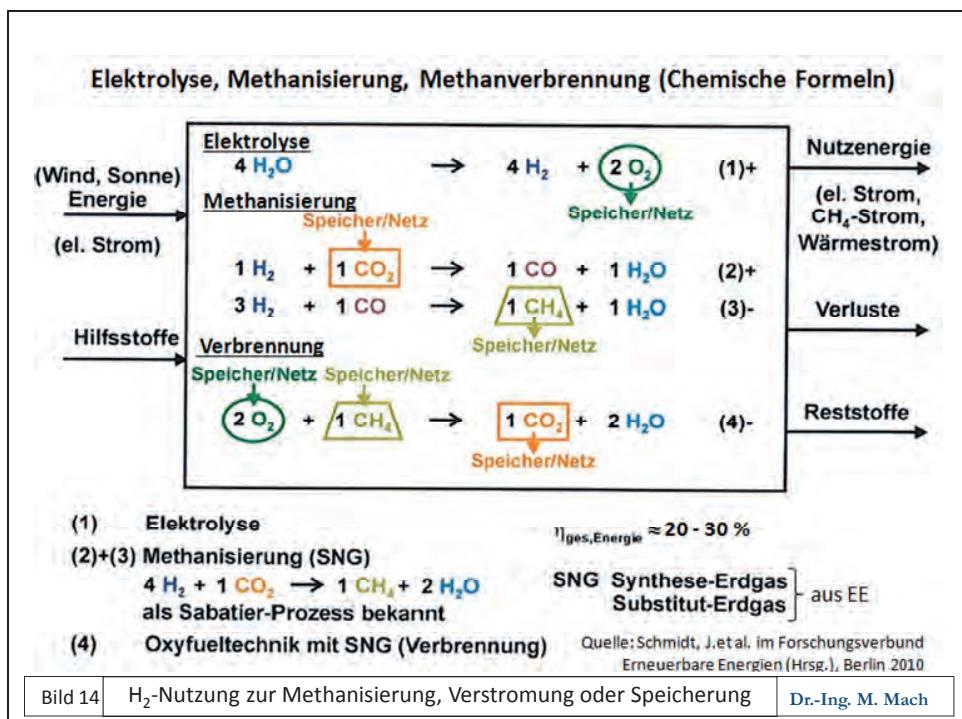


<sup>1</sup>“Sektorkopplung“ (2017), Seite 39

Die Elektrolyse (Zerlegung) von Wasser ( $H_2O$ ) in Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) dient der Großchemie zur Erzeugung des Prozeßgases  $H_2$  für ihre chemischen, pharmazeutischen und sonstigen Produkte.

Bei der Förderung des  $H_2$  innerbetrieblich oder im deutschen Erdgasnetz und dessen Ein- und Ausspeicherung gibt es folgende Gefahr:

Im Gegensatz zu anderen Gasen erwärmt sich  $H_2$  beim Entspannen (Temperaturerhöhung ohne äußere Energiezufuhr - adiabatische Entspannung) sog. negativer Joule-Thompson-Effekt  
 → Explosionsgefahr beim Ausströmen.



Die chemische Industrie erzeugt derzeit ihr  $H_2$  als Prozeßgas auf der Basis von Erdgas ( $CO_2$ -haltig), was der weltweite Standard ist.

Große Elektrolyseanlagen sind nur im Dauerbetrieb wirtschaftlich. Ihr Betrieb durch überschüssigen Wind- u. Solarstrom – im Ethik-Kommissionsbericht (S. 35 Abs. 3) als eine Stütze der Energiewende beschrieben – macht die Elektrolyse unwirtschaftlich.

Es gibt zwei Möglichkeiten des Wasserstoffeinsatzes:  
Der Wasserstoff aus der Elektrolyse ( $H_2$ ), methanisiert zu Methan ( $CH_4$ ), Rückverstromung in Gaskraftwerken

**„Power-to-Gas-to-Power“**

(Verstromung)

oder:

$H_2$ -Speicherung im deutschen Erdgasnetz, Zumischung nur 5%-10% möglich, Wandlung des  $H_2$  in „grüne“ Kraftstoffe für Industrie und Fahrzeugantriebe

**„Power-to-Gas-to-Gasoline“.**

(Kraftstofferzeugung)

**Vorteil:** **Großspeicher im deutschen Erdgasnetz vorhanden**  
49.000 km, 50 Kavernen, Speicherkapazität 200 TWh<sup>1</sup>, reicht für  $\frac{1}{3}$  der deutschen Stromerzeugung.

**Nachteil:** **Wirkungsgrad gering, Zahl der Anlagen hoch**

Elektrolyse: im Dauerbetrieb 62%-80%, intermittierend max. 60%

Methanisierung: 80% (industrielle  $CO_2$ -Versorgung in Zukunft sichern)<sup>2</sup>

Anlagenzahl: Strombedarf (2050) 1.000 TWh : 200 MW (Trennleistung<sup>3</sup> Elektrolyse und Methanisierung) = 5.000 Anlagen

**Verstromung:** in Gaskraftwerken, Kondensationsbetrieb, rd. 60%

**Gesamtwirkungsgrad: 60% \* 80% \*60 % ~ 29% (!)**

**$H_2$ -Wandlung:** in „grüne“ Kraftstoffe, Elektrolyse, Ein-/Ausspeicherung, Wandlung (~ 5.000 Anlagen)

**Gesamtwirkungsgrad ~ 30-35 % (!)**

<sup>1</sup> Jentsch, M. et al., Power-to-Gas als Langzeitspeicher, in Energy 2.0 (2011), Aug. 5, bisher einziger Großspeicher

<sup>2</sup> Mach, Manfred (2015) „Speicherung von elektrischem Strom – Voraussetzung jeder Energiewende, Seite 105-106

<sup>3</sup> Neubau Elektrolyse- und Methanisierungsanlage (Hydrogen and Synthetic Natural Gas – HySynGas), Trennleistung bis 200 MW, bis 80t  $H_2$  pro Tag, Methanisierung  $CH_4$ , Verkauf von  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CH_4$ , Wärme, Brunsbüttel, Arge-Netz, MAN u. Vattenfall, LN 20.10.2019, S. 8

Bild 15  **$H_2$  mit  $CH_4$ -Verstromung oder  $H_2$ -Wandlung zu Kraftstoffen** Dr.-Ing. M. Mach

Sowohl bei Verstromung als auch bei  $H_2$ -Wandlung in Kraftstoffe ist die Zahl der Erzeugungsanlagen unbeherrschbar hoch (Fläche, Betrieb, Wartungsintervalle, Fachpersonal), selbst, wenn sich die Anlagenleistung in Zukunft verdoppeln sollte. Die Wirkungsgrade sind gering, das Endprodukt unwirtschaftlich (teuer).

## 4.3 Elektrische Speicher

Mechanische Speicher	Chemische Speicher	Elektrische Speicher	Thermische Speicher	Virtuelle Speicher
Potentielle Energie ▪ Pumpepeicher ▪ Druckluftspeicher	Batterien/Akkus E-Mobilität Wasserstoffspeicher	<b>Kondensatoren</b> ▪ Doppellicht-Kondensatoren ▪ SuperCaps	Industrieverbundspeicher Thermoöl-, Salz-Zerolithspeicher Elektro-(Nacht-)Speicher	Virtuelle Kälte- u. Wärmespeicher Virtuelle Stromspeicher für E-Mobilität Demand Side Management
Kinetische Energie ▪ Schwunggradspeicher	Metanspeicher (Power to gas)	<b>SMES-Spulen</b> (Supraleitende magn. Energiespeicher)		
Bild 16 Elektrische Speicher				
			Dr.-Ing. M. Mach	

### 4.31 Kondensatoren und Super Caps:

bestehen aus, meist ebenen, elektrischen Leitern, durch ein Di-elektrikum (z.B. Papier, Öl gehärtet oder Alu-Folie) voneinander getrennt, erzeugen, wenn Spannung an sie gelegt wird, ein elektrisches Feld, welches Energie speichern kann.

Die Kapazität C (Coulomb) des elektrischen Feldes (des Speichers) ergibt sich aus der elektrischen Ladung Q der beiden (voneinander getrennten) Leiter, dividiert durch die Spannungsdifferenz  $\Delta U$  der beiden (voneinander getrennten) Leiter.

$$C = \frac{Q}{\Delta U} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}} = 1 \text{ Farad}$$

Hier wird also – im Gegensatz zu mechanischen und chemischen Speichern – ein elektrischer Strom direkt gespeichert, d.h. ohne Umwandlung in eine andere Energieform und als solcher wieder entspeichert.

Anwendung:

Unterhaltungselektronik, Steuergeräte in Industrie, Verkehr, IT, Datenspeicherung, Kurzzeitspeicher für USV (unterbrechungslose Strom-Versorgung), bei Wind- und Solaranlagen zum Ausgleich von örtlichen kurzzeitigen Schwankungen der Netzstabilität möglich.

## 4.32 Supraleitende Magnetische Energiespeicher (SMES):

Auch hier gilt die elektr. Ein-/Ausspeicherung ohne Umwandlung in eine andere Energieform, allerdings im supraleitenden Nullpunkt (-273 °C) arbeitend, daher kein Leitwiderstand der Spule. Die Speicherung ist zeitlich unbegrenzt möglich. Aufgrund des Zauberwortes „Supraleitung“ wird allerdings der hohe Kühlauflauf oft vergessen. Zur Stromspeicherung im GWh- oder TWh-Bereich im Rahmen der deutschen Energiewende sind elektrische Speicher nicht geeignet.

In der Coulombformel sind fünf historische Wissenschaftler vereinigt:

Coulomb: C=SI-Einheit einer elektrischen Ladung (Elektrizitätsmenge): 1 C = Elektrizitätsmenge, die während 1 sec. bei einem Strom von 1 Amp. durch einen Leiter fließt:  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} * \text{s}$  (Ampere-Sekunde). SI = Système International des unités.

Charles Augustin Coulomb (1736-1806), franz. Physiker und Ingenieur, ab 1804 Generalinspekteur der Universität Paris, Coulomb'sches Gesetz (1785):

$\text{C-Kraft} = C_1 * C_2 / d^2$      $d$ = Abstand zwischen zwei Ladungen ( $C_1 * C_2$ )

Ampère: A=SI-Einheit der elektrischen Stromstärke. A = Stärke eines Stromes, der durch zwei parallele Leiter im Abstand von 1 m von (nur)  $2 * 10^{-7} \text{ N}$  je Meter Länge der Doppelleiter aufeinander ausgeübt wird.

André Marie Ampère (1775-1836), franz. Mathematiker und Physiker, entdeckte die magnetische Wirkung elektrischer Ströme, Ampère'sches Gesetz (1820): Parallelle und gleichgerichtete elektrische Ströme ziehen sich an – Parallelle und entgegengesetzte elektrische Ströme stoßen sich ab.

Farad: F=SI-Einheit der elektrischen Kapazität. Ein Kondensator hat die Kapazität von 1 F, wenn eine elektr. Ladung von 1 C (Coulomb) eine Spannung von 1 V (Volt) an ihm erzeugt.  $1 \text{ F} = 1 \text{ C} / 1 \text{ V}$

Michael Faraday (1791-1867), brit. Physiker und Chemiker, Dir. des Laboratoriums der Royal Institution (1825), entdeckte die elektro-magnetische Induktion, die Grundgesetze der Elektrolyse und konstruierte den ersten Dynamo, Faraday'sches Gesetz (1833): Der Stromfluß Q bei der Elektrolyse ist proportional den an den Elektroden abgeschiedenen Stoffen

Volt: V=SI-Einheit der elektrischen Spannung: 1 V = elektr. Spannung zwischen zwei Punkten eines metallischen Leiters, in welchem bei einer Stromstärke von 1 Amp. 1 Watt umgesetzt (erzeugt) wird.

Allessandro Graf Volta (1745-1827), ital. Physiker, verbesserte das Mikroskop, erfand den Plattenkondensator und die erste Form galvanischer Elemente, d.h. elektro-chemische Stromquellen (galvanische Zellen), die chemische unmittelbar in elektrische Energie wandeln.

Galvanik: Luigi Galvani (1737-1798), ital. Arzt und Naturforscher, Prof. für Anatomie, entdeckte elektrochemische Effekte (Froschschenkelversuch 1789), die er fälschlicherweise auf elektr. Entladungen zurückführte. Dieser Irrtum führte dann zur Entdeckung der chemo-elektrischen (galvanischen) Elemente, was zu einem neuen Zweig der Elektrochemie, der Galvanik, führte.

## 4.4 Thermische Speicher

Mechanische Speicher	Chemische Speicher	Elektrische Speicher	Thermische Speicher	Virtuelle Speicher
Potentielle Energie ▪ Pumpspeicher ▪ Druckluftspeicher	Batterien/Akkus E-Mobilität Wasserstoffspeicher	Kondensatoren ▪ Doppelkondensatoren ▪ Supercaps	Industrieverbundspeicher Thermoöl-, Salz-, Zeralithspeicher SMES-Spulen (Supraleitende magn. Energiespeicher)	Virtuelle Kälte- u. Wärmespeicher Virtuelle Stromspeicher für E-Mobilität Demand Side Management
Kinetische Energie ▪ Schwunggradspeicher	Metanspeicher (Power to gas)		Elektro-(Nacht-)Speicher	
Bild 17	Thermische Speicher			Dr.-Ing. M. Mach

### 4.4.1 Industrieverbundspeicher

Industrieverbundspeicher sind die historisch ältesten Speicher, seit es das Feuer als Arbeitsmedium gibt. Handwerksbetriebe (Schmieden) haben die Abwärme des Arbeitsfeuers umgeleitet und mehrfach genutzt. Manufakturen (Webereien, Färbereien, Gerbereien) haben das Temperaturgefälle ihres Arbeitswassers mehrfach genutzt.

In Großbetrieben (Hütten- und Stahlwerke) wird das Gichtgas der Hochöfen zum Antrieb der Gebläse zur Erzeugung der Verbrennungsluft in der Gestellzone des Hochofens selbst weitergenutzt.

Die den Hochöfen (Verhüttung) vorgelagerte Kokerei erzeugt hochkalorifères Koksofengas, welches in den (den Hochöfen nachgeschalteten) Stahlwerken die Gebläse zur Erzeugung der Blasluft zur Phosphor- und Kohlenstoffreduktion antreibt, durch welche das Roheisen der Hochöfen zu Stahl verblasen wird. Heutzutage erfolgt das Verblasen in Oxygenstahlkonvertern, in welchen der Sauerstoff durch Blaslanzen in den Konverter von oben eingeführt wird.

Darüber hinaus dient das anfallende Koksgas als Wärmeträger für alle den Stahlkonvertern, d.h. der Flüssigphase nachgeschalteten Stufen des Walzens und Veredelns, also zum Heizen der Stoßöfen, in denen das zwischengelagerte Vorprodukt (Brammen, Blöcke) auf Walztemperatur aufgeheizt wird, ferner für verschiedene Wärmebehandlungen wie Schmieden, Vergüten, Beizen usw.

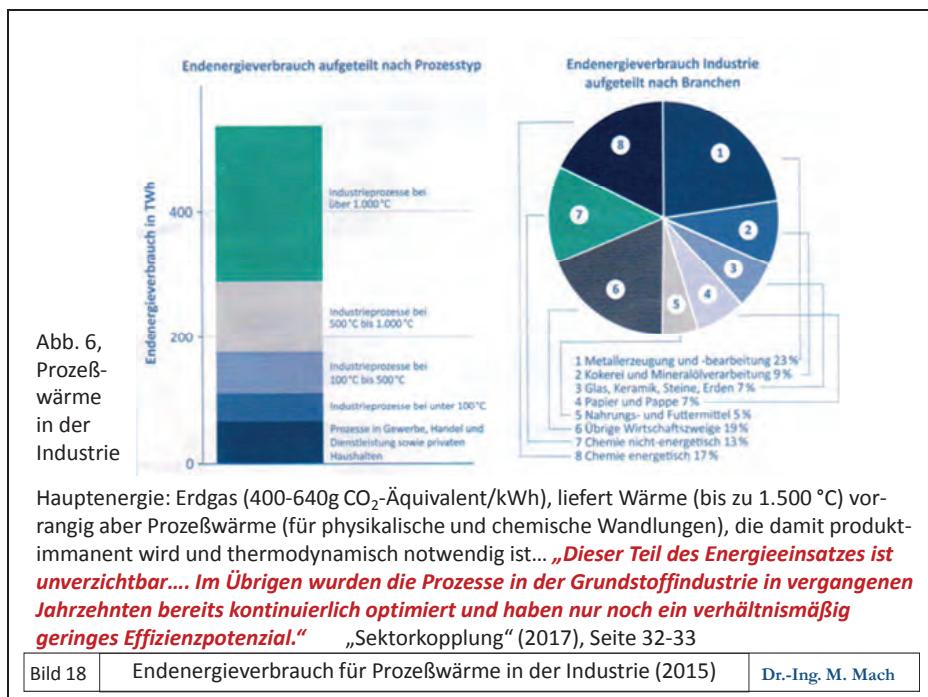
Desweiteren wird das überschüssige Koksgas sowie andere verschiedene Abgase, z.B. aus den Stahlkonvertern in anderen Wärmeverbrauchern weitergenutzt oder im hütten-eigenen Kraftwerk verstromt, und zwar als Kraftstrom für sämtliche Antriebsaggregate oder auch als Strom fürs Werk, Büros und Werkwohnungen.

Diese Verbundwirkung von Strom – Prozeßwärme – Abwärme ist am meisten ausgeprägt in den Industriezweigen:

Chemie und Pharmazie	30%
Eisen-, Stahl-, NE-Metalle	23%
Glas, Zement, Papier, Pappe	14%
Mineralöl (Verarbeitung nicht Gewinnung)	9%

} 76%

Dreiviertel der deutschen Industrie haben also mehrfache thermische Energienutzung. Fairerweise schreiben die drei Akademien, daß es im Bereich der Industrieprozesse wohl keine signifikantere Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen geben dürfte.<sup>1</sup>



Hauptenergie: Erdgas (400-640g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh), liefert Wärme (bis zu 1.500 °C) vorrangig aber Prozeßwärme (für physikalische und chemische Wandlungen), die damit produktimmanent wird und thermodynamisch notwendig ist... „**Dieser Teil des Energieeinsatzes ist unverzichtbar.... Im Übrigen wurden die Prozesse in der Grundstoffindustrie in vergangenen Jahrzehnten bereits kontinuierlich optimiert und haben nur noch ein verhältnismäßig geringes Effizienzpotenzial.**“ „Sektorkopplung“ (2017), Seite 32-33

<sup>1</sup> „Sektorkopplung“, Seite 35

In den genannten Industriesparten (76%) gibt es also seit Generationen einen perfekten Verbund von Stoffen und Energie sowie eine perfekte Kraft-Wärme-Kopplung, lange bevor die „Energiewende“ diese als Energieeinsparung „entdeckt“ hat. Die permanente Optimierung des Verbrauchs von Stoffen, Energie und Kosten ist nämlich die (gut bezahlte) Hauptaufgabe der Firmenleitung.

Unternehmerische Effizienz benötigt also keine Vorschriften-Effizienz.

#### **4.42 Sonstige thermische Speicher**

Die unter dieser Rubrik genannten Speicher sind Thermoöl-, Salz-, Zeralith-, Flüssigluft- und Eisspeicher. Sie sind kapazitätsmäßig als Speichergrößen im Rahmen der deutschen Energiewende nur in Sonderfällen geeignet und sind in der tabellarischen Übersicht nur der Vollständigkeit halber genannt worden.<sup>1</sup>

#### **4.43 Elektro-(Nacht-)Speicher**

Nach jahrelanger Kritik („zu teuer“, „Ressourcenverschwendungen“) wird die sogenannte Nachtspeicherheizung offensichtlich wieder entdeckt. 1,4 Millionen deutsche Wohnungen haben eine Nachtspeicherheizung, das sind 4% des Bestandes. Die Elektro-Nacht-Speicherheizung kann also nur einen ganz kleinen Teil zur Stromspeicherung der Erneuerbaren beitragen.

<sup>1</sup> Mach, Manfred (2015), Speicherung von elektrischem Strom – Voraussetzung jeder Energiewende, Seite 113-120

## 4.5 Virtuelle Speicher

Mechanische Speicher	Chemische Speicher	Elektrische Speicher	Thermische Speicher	Virtuelle Speicher
Potentielle Energie ▪ Pumpepeicher ▪ Druckluftspeicher	Batterien/Akkus E-Mobilität Wasserstoffspeicher	Kondensatoren - Doppeltrichter - Kondensator - SuperCaps	Industrieverbundspeicher Thermo-, Salz, Zeralithspeicher	Virtuelle Kälte- u. Wärme-speicher Virtuelle Stromspeicher Demand Side Management
Kinetische Energie ▪ Schwingungspeicher	Metanspeicher (Power to gas)	SMES-Spulen (Supraleitende mag. Energiespeicher)	Elektro-(Nacht-) Speicher	
Bild 19				Virtuelle Speicher
				Dr.-Ing. M. Mach

Virtuell ist etwas, was man nicht sehen oder anfassen kann, also etwas, was nicht vorhanden ist. Im Rahmen der deutschen Energiewende wird nun versucht, den nicht immer vorhandenen Wind- und Solarstrom durch einen „virtuellen Speicher“ grundlastfähig zu machen, indem man Stromkapazität auf fremden Gütern belegt, z.B. beheizten Gebäuden, gekühlten Lagerhallen, Kühlhäusern, Batterien in Elektroautos usw.

Sollte diese „Stromanleihe“ aus fremden Gütern nicht ausreichen, ist ein sogenanntes Demand Side Management („Behandlung“ der Nachfrageseite) vorgesehen, d.h. Anpassung des Stromverbrauchs an die volatile, manchmal sogar ganz ausfallende Wind- und Solarstromproduktion, z.B. nachts bei Windstille („Dunkelflaute“).

### 4.51 Virtuelle Kälte- und Wärmespeicher

Das können Wohn-, Schul-, Verwaltungs-, Industriegebäude oder Kühlhäuser sein, die ihre Pumpen, Ventilatoren, Druckluftanlagen, Wärmeerzeugung (Heizung), Klimaautomatik oder Gefrierung mit Wind- und Solarstrom betreiben, bei dessen Ausfall die Wärme- bzw. Kälteleistung vorübergehend heruntergefahren wird.

Diese Versorgungsunterbrechungen verändern allgemein den Betriebskomfort, manchmal auch die Gefahrensicherung z. B. bei Aufzügen, Gefahrenmeldern usw. Kühl- und Gefrierhäuser können darüber hinaus mit Wind- und Solarstrom nicht nur ihr normales,

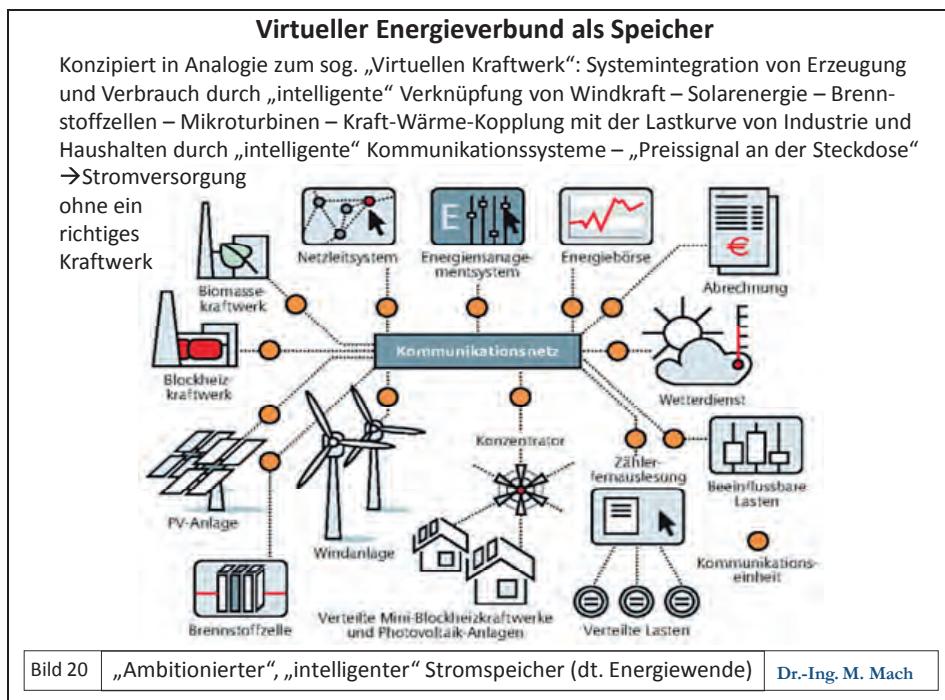
sondern auch ein erhöhtes Kälteniveau „einspeichern“, um anschließend eine längere „Dunkelflaute“ kältemäßig zu überbrücken.

Eine solche Lastverschiebung bedeutet allerdings hohe Unsicherheiten hinsichtlich von Qualitätseinbußen des Kühlgutes bei Temperaturschwankungen; auch sind Größe, Menge und Art der zu kühlenden Ware unterschiedlich. Deshalb werden sich diese „virtuellen“ Speicher nicht in größerem Umfang durchsetzen.

## 4.52 Virtuelle Stromspeicher

Virtuelle Kraftwerke:

Häufig wird, besonders bei Vorträgen in Schulen, Vereinen und der interessierten Öffentlichkeit, ein eindrucksvolles Schaltbild eines virtuellen Speichers gezeigt, in welchem Wind- und Solaranlagen Teil eines ständig stromliefernden Systems sind, welches insgesamt als „Speicherung“ von erneuerbarem Strom bezeichnet wird.



Wie macht man das?

Natürlich durch „ambitionierte“<sup>1</sup> und „intelligente“ Verknüpfung<sup>2</sup> von Windkraft – Solarenergie – Brennstoffzellen – Mikroturbinen – Kraft-Wärme-Kopplung – mit der Lastkurve von Industrie und Haushalten. Diese ambitionierte Kombination soll ständig erneuerbaren Strom ohne Unterbrechung liefern (Bild 20).

Tatsächlich handelt es sich um ein System kurzzeitiger Speicherung von Strom und Wärme, ansonsten um kurzzeitige Umlenkungen des gerade noch vorhandenen Stroms an bestimmte Verbraucher. Es handelt sich also nicht um die Lösung der deutschen Energiewende hinsichtlich grundlastfähiger Speicherung von Wind- und Solarstrom und ist daher eine Irreführung der deutschen Stromverbraucher.

#### **4.53 Elektromobilität als virtueller Stromspeicher**

Unter den virtuellen Stromspeichern bleibt der deutschen Energiewende – zunächst – nur die Elektromobilität, in welcher der Verbrennungsmotor zugunsten einer batteriebetriebenen oder nicht fossilen Antriebsmaschine abgelöst werden soll.

Die deutschen Umweltverbände haben nun auch die deutsche Regierung überzeugt, daß man eine Vermeidung von CO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> aus Abgasen am besten durch Abschaffung des fossil betriebenen Verbrennungsmotors erreicht. Die ausgedehnten Fahrverbote in deutschen Großstädten und weitere angekündigte Fahrschränkungen wegen erhöhter Abgaswerte von Kraftfahrzeugen auf deutschen Straßen beschreiben die angestrebte Richtung.

Ein gutes Beispiel für die deutsche Gründlichkeit ist, daß die Meßgeräte für die Abgasmessung jeweils am Straßenrand neben den vorbeifahrenden oder vor Verkehrsampeln haltenden Fahrzeugen angeordnet werden. So wird ein kontaminiertes Luftgemisch

<sup>1</sup> Das Wort „ambitioniert“ von einem Politiker mit Bezug auf die deutsche Energiewende bedeutet erfahrungsgemäß: „...eigentlich nicht machbar“

<sup>2</sup> Eine Verknüpfung ist bereits ein „intelligenter“ Vorgang. Die „intelligente“ Verknüpfung ist also eine tautologische Verunstaltung.

gemessen, welches erhöhte, strafbewehrte Schadstoffe enthält, aber nicht der Luft des jeweiligen Wohnbereichs entspricht.

In anderen europäischen Großstädten sind die Meßgeräte an der dem Fahrbahnrand nächstgelegenen Häuserwand, an Hausvorsprüngen im ersten Obergeschoß oder (in einer EU-Großstadt in Osteuropa) auf dem Dach eines Mehrgeschoßhauses angebracht. Hier wird also – was der Sinn der Messungen ist – die Luft der Lebensumgebung gemessen und nicht die des Auspuffs.

Angesichts dieser europaweit abweichenden – für Deutschland nachteiligen – Meßumstände ist es unverständlich, daß die EU gegen Deutschland, genau genommen deutsche Großstädte, Strafzahlungen wegen Überschreitung der Grenzwerte verhängt. Deutschland müßte hier zumindest einen Untersuchungsausschuß einsetzen.

In diesem Zusammenhang ist es ohnehin unverständlich, daß im Straßenverkehr nur  $95 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$  erlaubt sind, deren Überschreitung strafbewehrt ist, während am täglichen Arbeitsplatz in Büro und Betrieben die zehnfache Konzentration zugelassen ist.

Es handelt sich offensichtlich um die Fortsetzung von Maßnahmen gegen den privaten Autoverkehr, den die EU nun unter ihrem sogenannten „New Green Deal“ weiterverfolgt.

Die Behinderung der privaten Auto-Mobilität – der größten Errungenschaft des 20. Jahrhunderts – würde jeden Staat in seiner täglichen Wertschöpfung in Handel, Gewerbe, Dienstleistung, Ausbildung, Industrie und in seinem sozialen Zusammenhang schwer schädigen.

„Die Vorstellung, Deutschland und die EU könnten durch eine Einschränkung der Mengen verbrauchten Erdöl(-Kraftstoff) wenigstens einen kleinen Beitrag zur ‚Rettung des Weltklimas‘ leisten, ist naiv. Der Beitrag ist nicht nur klein, sondern null oder negativ.“<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sinn, Prof. Dr. Hans Werner (2020), in „Der Corona-Schock. Wie die Wirtschaft überlebt“, Seite 120-121