

ENERGIE: OPTIONEN FÜR DIE ZUKUNFT

Klaus Heinloth
 Physikalisches Institut
 Universität Bonn

1. Einleitung:

Erste Frage: Wie viel Energie, welcher Art, wozu, brauchen wir heute?

Antwort in Bild 1:

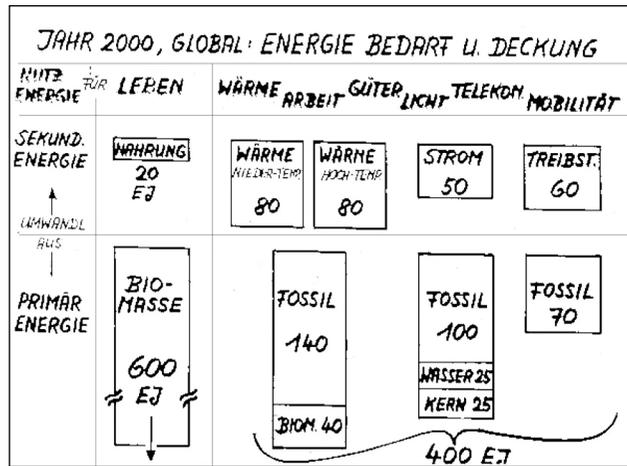


Bild 1

Was wir wirklich brauchen ist Nutzenergie, zum einen, um leben zu können, zum anderen, um unser Leben gestalten zu können. Diese Nutzenergie entnehmen wir den uns zugeführten Sekundärenergien: Die weltweit jährlich 20 Exajoule (EJ) an Nahrung für die derzeit 6 Milliarden Menschen auf der Erde, die sog. Verzehrkalorien, sind wenig im Vergleich zu den insgesamt ca. 270 EJ in Form von Wärme, Strom und Treibstoffen. Betrachten wir jedoch die zur Erzeugung von Sekundärenergien benötigten Mengen an Primärenergien, so kehrt sich das Verhältnis um: Für die 20 EJ an Verzehrkalorien verbrauchen wir mindestens ca. 600 EJ an jährlich nachwachsender Biomasse, etwa 2 Drittel aller auf der grünen Erde außerhalb der Wälder wachsenden Pflanzen. Das ist weit mehr als die insgesamt ca. 400 EJ an Primärenergie für die Bereitstellung von Wärme, Strom und Treibstoffen, davon der Löwenanteil aus den fossilen Energieträgern Kohle, Erdöl und Erdgas.

Zweite Frage: Wieviel Energie werden wir künftig brauchen, und woher werden wir diese Energie nehmen können?

Antwort in Bild 2:

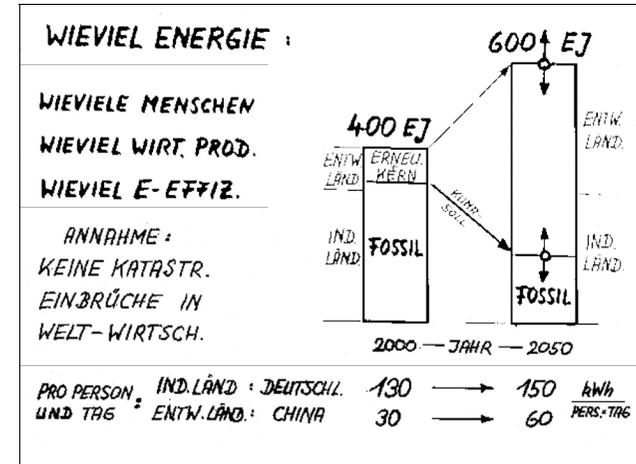


Bild 2

Weltweit, nicht zuletzt bedingt durch den Anstieg der Weltbevölkerung von derzeit ca. 6 Milliarden Menschen auf etwa 8 bis 9 Milliarden Menschen bis zur Mitte dieses Jahrhunderts, wird der Bedarf an Primärenergie noch spürbar zunehmen. Andererseits soll zum Schutz, zum Erhalt des heute sehr lebensförderlichen Klimas in unserem „Treibhaus Erde“ bis zur Mitte dieses Jahrhunderts die weltweite Verbrennung der fossilen Energieträger, Kohle, Erdöl und Erdgas, im weltweiten Mittel auf höchstens die Hälfte des derzeitigen Verbrauchs reduziert werden. Dies vor Augen stellt sich die Frage, welche Optionen wir für eine künftig umweltschonende Deckung des weltweiten Energiebedarfs haben.

2. Optionen zur Deckung des künftigen Energiebedarfs

Dazu eine Vorbemerkung über wirklich neue Optionen:

Wir haben heute die Möglichkeit, mittels mathematischer Algorithmen und leistungsfähiger Rechner künstliche Materialien aller Art zu simulieren, zu modellieren, zu optimieren, um sie dann im Labor, später in der Fertigung zu realisieren, dies fußend auf der heute möglichen Messung der Nanostrukturen diverser Materialien, speziell ihres Verhaltens unter Belastungen jeglicher Art. Damit haben wir die Möglichkeit, den vieldimensionalen Raum der Materialien und der Materialeigenschaften beträchtlich zu erweitern über den Raum hinaus, wie er heute hauptsächlich von natürlichen Materialien und deren Eigenschaften aufgespannt wird, zum

großen Teil von der Natur entlang der Nahrungskettenpfade der Organismen, Lebewesen im Verlauf langer Zeiträume optimiert.

ENERGIE - OPTIONEN		
STROM	WÄRMETURBO-GENERAT.	MATERIAL PHYSIK
	BRENNSTOFFZELLEN	
	WASSER-WIND-SONNE-RICH.	NEUE MAT. DESIGN AM RECHNER
	KERNSPALT. U. KERNFUSION	
WÄRME	SONNE U. ERDE	BAU-PHYSIK
	KOLLEKT. + W-PUMP. + W-SPEICH.	
VERKEHR	SCHIENE: ICE, TRANSRAPID	PHYS. CHEM
	STRASSE: ^{OTTO} DIESEL HYBRID, B2-E-MOT.	
	TREIBST. METHANOL	KATALYS. DESIGN AM RECHNER
	WASSERSTOFF	

Bild 3: Übersicht der Optionen für Bereitstellung von Strom, Wärme und Antriebsenergien im Verkehr

Eine Übersicht der Optionen für Bereitstellung von Strom, Wärme und Antriebsenergien im Verkehr ist in Bild 3 skizziert, dies mit Hinweisen auf die tangierte Physik und die Entwicklung neuer Materialien.

3.1 Optionen zur innovativen Bereitstellung von Strom (Bilder 4 bis 10):

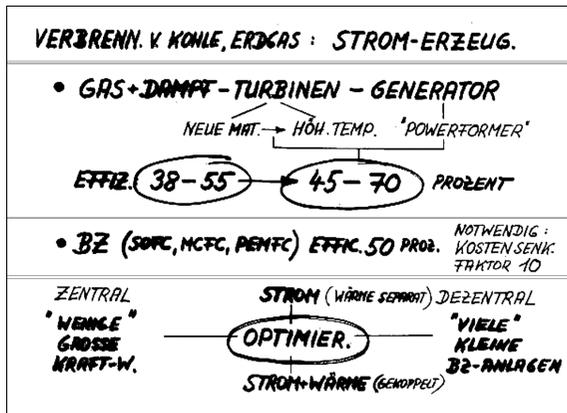


Bild 4: Bereitstellung von Strom mittels heißer und kalter Verbrennung von Kohle und Erdgas

In Bild 4 wird die Bereitstellung von Strom mittels heißer und kalter Verbrennung von Kohle und Erdgas skizziert, daraus ersichtlich ist die Notwendigkeit zu optimieren,

- zum einen zwischen zentraler und dezentraler Stromerzeugung
- zum anderen zwischen höchst effizienter getrennter Bereitstellung von Strom und Heizwärme und weniger effizienter Kraft-Wärme-Kopplung

um insgesamt über ein ausreichend großes Gebiet, z. B. Deutschland, den Gesamtverbrauch an fossiler Primärenergie zu minimieren.

3.2 Optionen für Stromerzeugung aus den erneuerbaren Energien Sonnenlicht, Wind- und Wasser-“kraft“ (Bilder 5 bis 8)

Hauptthemmen für eine ergiebige Deckung unseres mehr oder minder kontinuierlichen Strombedarfs aus erneuerbaren Energien sind die starken zeitlichen Schwankungen der Sonneneinstrahlung, die sich auch auf die Verfügbarkeit von Wind- und Wasserkraft fortplant.

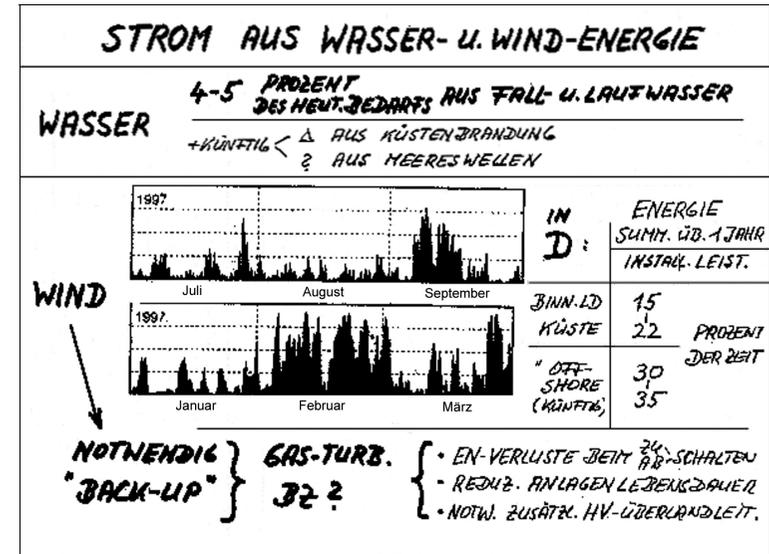


Bild 5: Stromerzeugung aus Wasser- und Windenergie

In Bild 6 ist ein Weg zur kontinuierlichen Bereitstellung von Strom mittels Photovoltaik (PV) und Batterie-Stromspeicher skizziert, dies in Form eines Gedankenspiels: Man stelle sich vor, der interne photoelektrische Effekt, die direkte Wandlung von Licht zu Strom, wäre erst kürzlich entdeckt worden. Daraufhin die Aufforderung des Chefs eines Elektrokonzerns an einen jungen Wissenschaftler, eine kurze Expertise zu erstellen, wieweit eine technische Nutzung dieses neu erkannten Effekts zu einem einträglichen Produkt für den Konzern führen könnte. Der junge Wissenschaftler bedenkt

- die fluktuierende Lichteinstrahlung, daraus die Notwendigkeit einer Stromspeicherung
- die gesamte jährliche Lichteinstrahlung pro Fläche, daraus die Ergiebigkeit von z. B. 150 kWh Strom/m² Jahr einer PV-Anlage
- ein Strompreislimit von z. B. 10 Cent/kWh, darauf fußend eine Obergrenze der Herstellungskosten für PV-Anlage + Batteriespeicher

und er kommt zu dem Ergebnis, dass das gedachte System einer PV-Anlage mit Baukosten von 50 €/m³ (0,3 €/Peak-Watt-Leistung) und eines Batteriespeichers mit 1 kWh/kg Speicherkapazität und mit Baukosten von 5 €/kg Batteriespeicher vielleicht realisiert werden könnte.

In der Tat erscheint dies im Licht heute möglicher Methoden der computergestützten Modellierung neuer Materialien mit optimalen Eigenschaften, hier für PV und Batterien, in vielleicht erreichbare Nähe zu rücken.

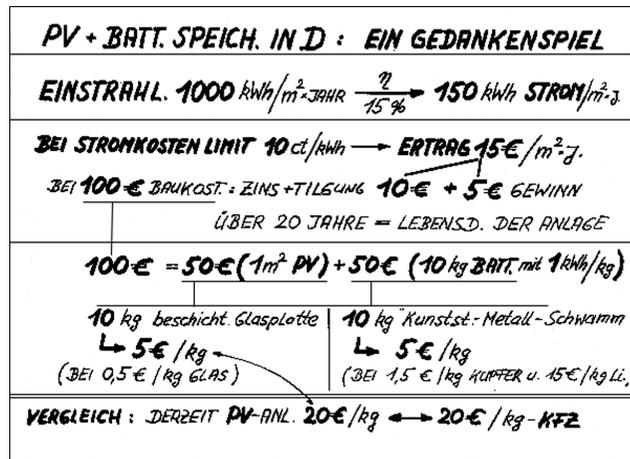


Bild 6: Weg zur kontinuierlichen Bereitstellung von Strom mittels Photovoltaik (PV) und Batterie-Stromspeicher

Weitere Möglichkeiten kontinuierlicher „Solar“-Stromerzeugung:

In Bild 7 werden solarthermische Kraftwerke, in Bild 8 Aufwind-Solarwärme-Kraftwerke skizziert.

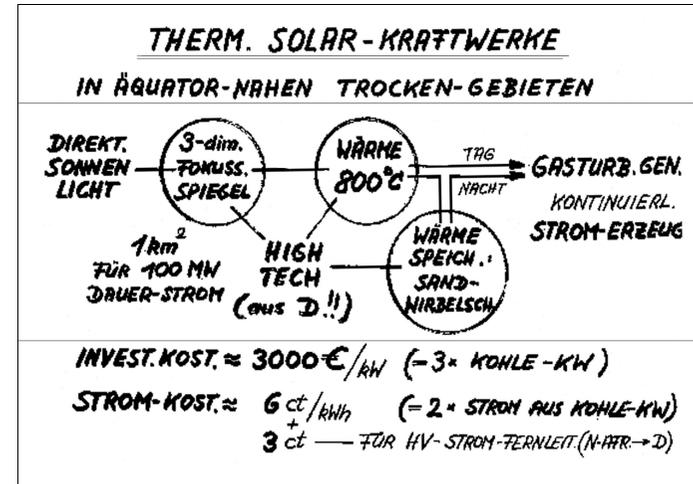


Bild 7: Solarthermische Kraftwerke

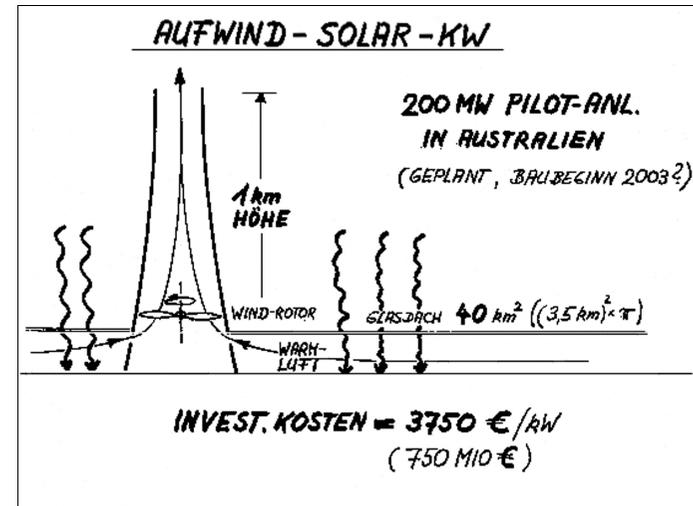


Bild 8: Aufwind-Solarwärme-Kraftwerke

3.3 Optionen für Stromerzeugung mittels Freisetzung von Atomkern-Bindungsenergie

3.3.1 Kernspaltung:

Derzeit werden weltweit mit 440 Kernkraftwerken in 32 Ländern ca. 17 Prozent des weltweiten Strombedarfs gedeckt (etwa genau soviel wie mit Wasserkraftwerken). In Bild 9 sind die derzeit verfolgten Optionen für die weitere Entwicklung der Kernspaltungskraftwerke skizziert.

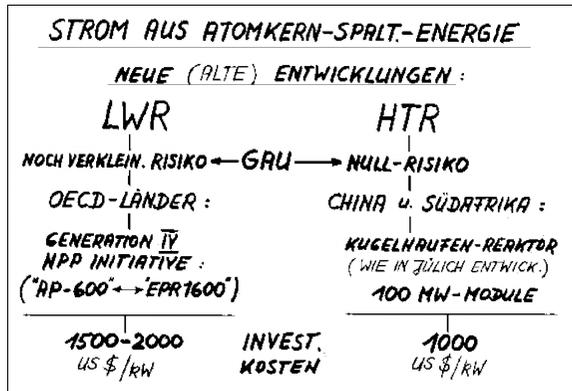


Bild 9: Derzeit verfolgte Optionen für die weitere Entwicklung der Kernspaltungskraftwerke

3.3.2 Kernfusion:

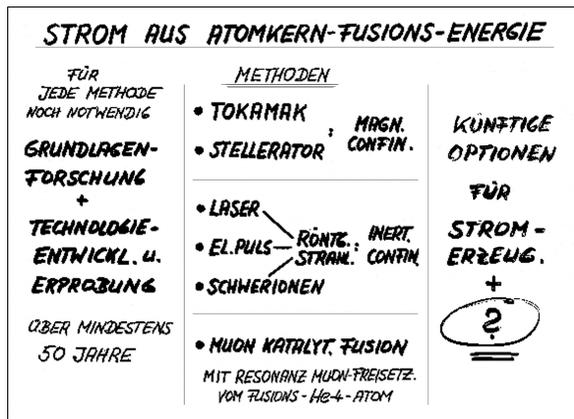


Bild 10: Optionen für eine künftige Stromerzeugung mittels Fusion

In Bild 10 sind die Optionen für eine künftige Stromerzeugung mittels Fusion von Wasserstoffisotopen, Deuterium und Tritium zu Helium in Kernfusionskraftwerken skizziert, wie sie derzeit weltweit erforscht und entwickelt werden.

3.4 Optionen zur Bereitstellung von Heizwärme (Bild 11):

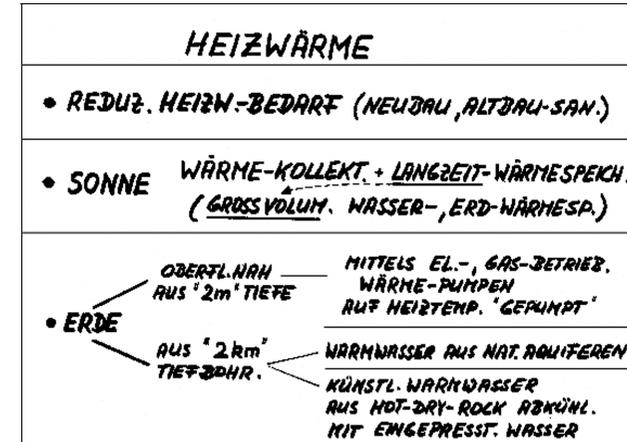


Bild 11: Optionen zur Bereitstellung von Heizwärme

3.5 Optionen für Innovationen im Straßenverkehr (Bild 12):

STRASSEN-VERKEHR	ZIELVORSTELLUNG
• OTTO-, DIESEL-VERBRENN. MOTOR	'8e → '4e / 100km
• OTTO-, DIESEL-MOT. → GENERATOR → EL. MOTOR BATTERIE HYBRID-ANTRIEB	'8e → '4e / 100km "ZERO-EMISSION" IM STADTBEREICH
• BRENNSTOFFZELLEN - EL. MOTOR (PEMFC, DMFC)	"ZERO-EMISSION" (MIT INNOV. TREIBSTOFF) NOCH NOTWENDIG: KOSTEN-SENK. FAKT. 100
• BATT. SPEICHER → EL. MOTOR	BATT-SPEICH. 1kWh/kg (LANGLEB., BILLIG, SCHNELL LADBAR)

Bild 12: Entwicklungen auf dem Antriebssektor

In Bild 13 sind Entwicklungen auf dem Treibstoffsektor skizziert: Die Gewinnung von Wasserstoff mittels Elektrolyse würde selbst bei Verfügbarkeit von billigem Strom zumindest einen sehr hohen (zusätzlichen) Bedarf an Strom verursachen: Zur Gewinnung einer Menge von Wasserstoff, dem Brennwert des derzeitigen Verbrauchs an Treibstoffen entsprechend, würde eine Menge an Strom doppelt so hoch wie der derzeitige gesamte Stromverbrauch benötigt werden. (Dieser Vergleich gilt für Deutschland als auch weltweit.) Alternativ könnte eine kostengünstige Gewinnung von Wasserstoff über thermisch-, photochemisch-, photobiologisch-katalytischer Wasserspaltung bei künftiger Verfügbarkeit geeigneter, optimierter Katalysatoren möglich werden.

Eine Bereitstellung von Bio-Treibstoffen, einer Menge dem Brennwert des derzeitigen Verbrauchs an Treibstoffen entsprechend, würde landwirtschaftliche Anbauflächen mit folgendem Ausmaß erfordern

- für Deutschland eine Fläche der gesamten Fläche Deutschlands entsprechend
- weltweit eine Fläche von ca. 400 Millionen ha, etwa 1 Drittel der weltweiten landwirtschaftlichen Anbauflächen entsprechend.

INNOVATIVE TREIBSTOFFE		
ZUM VERGLEICH: [BENZIN/DIESEL AUS ERDÖL]	HERSTELL. KOSTEN € / LITER BENZIN-ÄQUIV. 0.2 ↔ 25 US.\$ / bbl	PROBL.: KLIMA- WANDEL
WASSERSTOFF	1 bis 3 STROM 3ct — 10ct/kWh	ELEKTROLYT.
	GROSSENDRDN. 3 → 1	(SOLAR-)THERM. 1000°C → 100°C WASSER-SPALT. KATALYT.
	' 3 → 1	PHOTO-CHEM. PHOTO-BIOL.
+ NEUE IDEEN FÜR H ₂ INFRASTR. + SPEICH. IM KFZ		
BIO-TREIBST.: METHANOL	0.5 bis 1	PROBL.: 'FOOD OR FUEL' NOTW.: REKULTIVIER. GROSSER ANBAUFL.

Bild 13: Entwicklungen auf dem Treibstoffsektor

4. Schlussfolgerungen

4.1 Zu Energiewirtschaft und Energiepolitik:

Die Kosten für eine umweltschonende Bereitstellung von Strom, Wärme und Treibstoffen mittels erneuerbarer Energien wird nicht zuletzt wegen der relativ zu fossilen Energieträgern geringen Energiedichte und wegen der zeitlich fluktuierenden und beschränkten Verfügbarkeit immer um etwa einen Faktor 2 bis 3 teurer sein als die entsprechende Bereitstellung der gleichen Menge benötigter Energien unter Nutzung fossiler Energieträger auf deren heute zumindest vordergründig billigen Kostenniveau, also ohne Berücksichtigung externer Kosten z. B. für Reparatur bzw. Verminderung von Klimaschäden. Es bedarf weltweit politischer Rahmenvorgaben für eine umweltschonende Energienutzung, innerhalb welcher dann auch erneuerbare Energien voll zur Geltung kommen können.

4.2 Zu Energieforschung und -entwicklung:



Bild 14

Wie in Bild 14 skizziert, bedarf es neben der heute praktizierten Energieforschung und -entwicklung, die sicher zu stetigen, graduellen Verbesserungen führen wird, für eine Entwicklung neuer, kostengünstiger Energietechnologien wirklicher „Quantensprünge“, die wohl nur durch Spitzenforschung in interdisziplinärer Zusammenarbeit erzielt werden können.

