
Energie

Schicksalsfaktor für die Menschheit

Jean-Pierre Blaser

Energie ist eine Basis unserer heutigen Zivilisation, wobei die Elektrizität eine zunehmende Schlüsselrolle spielt. Der Verbrauch wird wegen des explosiven Bevölkerungswachstums weiter zunehmen. Fossile Energien, vor allem das Erdöl, sind jetzt die dominierende Quelle. Beim heutigen Raubbau an den fossilen Ressourcen werden diese, gemessen an den Kulturepochen, in sehr kurzen Zeiten versiegen: in Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Alternativen, regenerierbare oder praktisch unerschöpfliche Quellen gibt es nur zwei, die Sonnen- und die Kernenergie. Die «sanfte» Nutzung der Sonne kann nur sehr wenig bringen. Ein grosser Beitrag setzt Speicherung und Transport voraus. Die Sonnenenergie würde dadurch auch zu einer Grosstechnologie. Die Kernenergie könnte nur mit Brütern oder Fusion einen wesentlichen Beitrag liefern. Sie stellt hohe Anforderungen an die Stabilität der Gesellschaft. Der Energieverbrauch an sich, aber insbesondere die fossilen Energien belasten zunehmend die Umwelt. Die Erwärmung des Klimas durch Kohlendioxid ist unvermeidlich. Die Beeinflussung des Verbrauchs durch Sparen oder Steuern ist wenig wirksam. Wissenschaftlich und technisch sind die Probleme klar, die Energiepolitik stösst aber an irrationale Denkweisen. Verstärkt durch die Medien, werden fiktive Gefahren zelebriert, und gleichzeitig stürzt sich die Menschheit blindlings in dramatische Situationen.

1 WAS IST ENERGIE?

Der «Erste Hauptsatz der Thermodynamik» sagt, dass die Energie konstant bleibt, also eigentlich weder «erzeugt» noch «verbraucht» werden kann. Wenn wir trotzdem so reden, meinen wir die Umwandlung einer Energieform in eine andere. Als Energie bezeichnen wir die Fähigkeit, Arbeit zu leisten (Kraft \times Weg). Energie kann kinetisch sein (Bewegungsenergie), als potentielle Energie latent sein (im Schwerfeld, in den Feldern der chemischen, nuklearen oder elektrischen Kräfte), oder von elektromagnetischer Strahlung transportiert werden. Eine besondere Stellung hat die Wärmeenergie der Materie, ungeordnete kinetische und potentielle Energie auf dem atomaren Niveau.

Woher stammt die Energie, die es auf der Erde gibt? Im Weltall, im «Big Bang» eigentlich aus Energie geboren, ist eine Kraft dominant: die Gravitation (vgl. den Beitrag von Ruth Durrer). Dass diese nicht schnell zum Kollaps aller Materie geführt hat, verdanken wir den kernphysikalischen Eigenschaften der Materie. Ursprünglich gab es nur Wasserstoff (und etwas Helium), der sich gravitationsbedingt in Protosternen zusammenzog. Die frei werdende Gravitationsenergie

heizte sie auf, bis im Innern Temperaturen von ca. 10 Millionen Grad entstanden, bei denen die Kernfusion beginnt, die «Verbrennung» von Wasserstoff zu Helium. Das produziert so grosse Energiemengen, dass dadurch die weitere gravitationelle Kontraktion verzögert wird. Unsere Sonne tut das seit Milliarden von Jahren. Wäre unsere Sonne aber nur etwa 50% massiger gewesen, wären die Prozesse ungleich schneller abgelaufen, und sie hätte (wir auch) ein katastrophales Ende gefunden: eine Supernova-Explosion, wie wir sie 1987 in den Magellanschen Wolken direkt beobachten konnten. Bei solchen Explosionen entstanden die Elemente, aus denen die Erde besteht (und wir selbst auch).

Interessanterweise gibt es im Weltall aber diejenige Energie nicht, von welcher wir jetzt vor allem zehren: die chemische Energie! Wir meinen die fossilen Brennstoffe, welche wir mit dem Sauerstoff unserer Erdatmosphäre verbrennen. In der Tat ist diese Möglichkeit wohl eine rare Besonderheit im Universum, da der Sauerstoff in der Atmosphäre ursprünglich selbst erst durch biologische Prozesse entstand. Die fossilen Brennstoffe, während Jahrmillionen aus Biomasse entstanden, werden, beim heutigen Raubbau, aber nur eine ephemere Energiequelle sein.

Der heutige Bedarf an Energie besteht in drei verschiedenen Richtungen:

- Wärme für Heizung und Kochen, industrielle Prozesswärme
- mechanische Energie für Transport, Antrieb von Maschinen und industrielle Fabrikation
- Elektrizität für spezifische Anwendungen wie Telekommunikation und Computer.

Beim Verbrauch und insbesondere für die Erzeugung gilt es, die Unterschiede zu beachten, die auf der verschiedenen «Qualität» der Energieformen beruhen.

2 WERTIGKEIT DER ENERGIEFORMEN

Der «Zweite Hauptsatz der Thermodynamik» erlaubt, die Wertigkeit der Energie, ihre «Qualität», durch den Begriff der Entropie quantitativ zu beschreiben. Es geht um den fundamentalen Unterschied zwischen hochwertiger Energie (Gravitation, mechanische Energie, elektromagnetische Energie) und der Wärmeenergie:

Wirkungsgrad η bei der Umwandlung von

mechanische Energie \Rightarrow Wärmeenergie, $\eta = 1$, vollständige Umwandlung

Wärmeenergie \Rightarrow mechanische Energie, $\eta = (T_1 - T_2) / T_1$

d. h. nur ein Teil der – eben minderwertigen – Wärmeenergie lässt sich in hochwertige Energie umwandeln (Carnot-Wirkungsgrad). Ein thermisches Kraftwerk kann daher grundsätzlich nur einen Teil der zugeführten Wärme in elektrische Energie verwandeln (Abb. 1). Thermische Energie ist also mit höherer Ausgangstemperatur T_1 des Umwandlungsprozesses wertvoller. Ist thermische Energie hingegen nur auf dem Temperaturniveau der Umgebung (T_2) vorhanden, ist sie vollkommen wertlos (1).

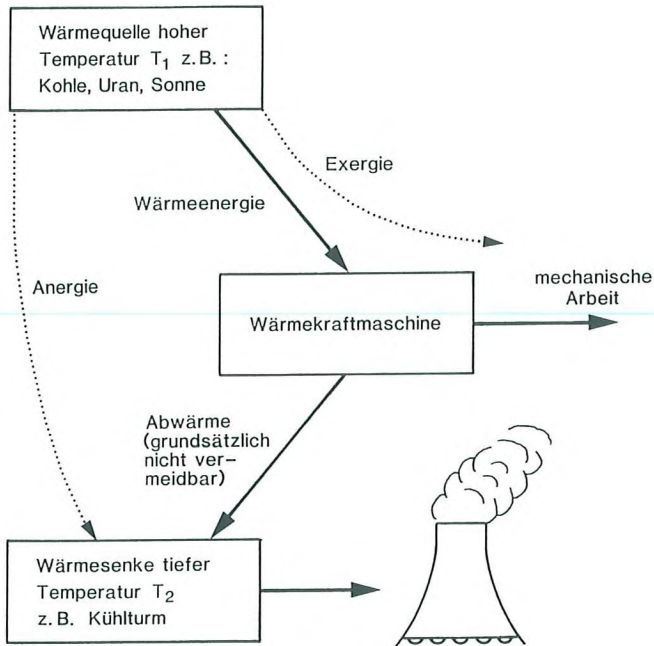


Abb. 1. Bei der Produktion von elektrischer Energie aus Wärme geht naturgesetzlich ein grosser Teil der Energie als Abwärme verloren, und diese muss durch einen Kühlturm an die Umgebung abgegeben werden (1). Der effektive Wirkungsgrad ist vor allem technisch bedingt (mangelnde Temperaturresistenz der Materialien) und beträgt heute 30–50%. Sinnvoll wäre die Verwendung der Abwärme zur Fernheizung. – In Wärmepumpen laufen die Prozesse in umgekehrter Richtung: mit hochwertiger Elektrizität ($\frac{1}{3}$) wird wertlose Umgebungswärme ($\frac{2}{3}$) zu $\frac{3}{3}$ Heizenergie.

3 ENERGIEQUELLEN

Als primäre Quellen bezeichnen wir Reservoirs von hochwertiger Energie, welche wir zur Produktion von Wärme, Arbeit oder Informationsleistung nutzen und dabei in tieferwertige Energieformen verwandeln. Bei der Primärenergie wird gewöhnlich unterschieden zwischen nicht-erneuerbaren und regenerativen Energien. Wir möchten hier nur die vier wichtigsten Quellen besprechen und sehen ab von Energieformen, welche zwar lokal durchaus vorteilhaft genutzt werden sollten, aber nur wenig zu einer globalen Energiewirtschaft beitragen können. Wir meinen damit Windenergie, Geothermie, Gezeiten und Biomasse. Letztere hat zwar ein etwas grösseres Potential, aber der Flächenbedarf steht in Konkurrenz zur Nahrungsproduktion.

3.1 Fossile Energien

Diese decken heute weltweit etwa 80% des Energiebedarfs und werden ohne Zweifel auch im nächsten Jahrhundert die wichtigste Energiequelle bleiben

müssen. Die Kohle ersetzt das traditionelle Holz. Heute ist sie noch sehr wesentlich für die Elektrizitätsproduktion, zur Wärmeerzeugung und für den Transport, aber weitgehend durch das Erdöl ersetzt worden. Erdgas ist nun im Vormarsch. Diese Zyklen, mit denen sich Energieträger entwickeln und ablösen, dauern 50–100 Jahre. Dies wird auch weiterhin so bleiben und ist bei einer realistischen Energiepolitik nicht zu vergessen.

Der Siegeszug des Erdöls hat einen einfachen Grund: Die Energiedichte, welche darin in einer sicheren, leicht handhabbaren und transportfähigen Form gespeichert ist, ist gewaltig, und distanziert alle anderen Formen von Speicherung. Die fast vollständige Abhängigkeit von den fossilen Energien ist aber bedenklich:

- die Vorräte sind begrenzt;
- die fossilen Brennstoffe sind die Hauptquelle der Umweltbelastung und Klimabeeinflussung (2).

Die Vorräte sind natürlich nur zum Teil erfasst und ihre Dauer hängt vom sehr unsicheren zukünftigen Energieverbrauch der Menschheit ab, von dem man aber realistisch annehmen muss, dass er beträchtlich weiter steigen wird. Trotz aller Unsicherheiten werden aber Erdöl und Erdgas in der Zeitspanne von einigen Jahrzehnten bis wenigen Jahrhunderten versiegen. Am längsten wird es Kohle geben, vermutlich für ein gutes Jahrtausend.

Sollte die Klimaänderung durch den Treibhauseffekt, für den die fossilen Brennstoffe in der Reihenfolge Kohle – Erdöl – Erdgas zur Hauptsache verantwortlich sind, gravierend und für jedermann sichtbar werden, müsste die Kohle auch schon früher ausfallen.

3.2 Kernenergie

Fission: Vor allem die Spaltung von leicht angereichertem Uran in leichtwassermoderierten Reaktoren wird heute verwendet und stellt einen nicht unwesentlichen Beitrag zur weltweiten Elektrizitätserzeugung dar (17%). In gewissen Ländern, vor allem in Frankreich, aber auch in der Schweiz, ist der Anteil nuklearer Elektrizität viel höher (F: 75%, CH: im Mittel 36%, zur kritischen Zeit im Winter etwa die Hälfte).

Was die Vorräte angeht, steht die Kernenergie mit den heutigen Reaktoren ähnlich da wie das Öl, und nur die Brütertechnologie könnte die Kernenergie mit Fission zu einem Standbein der langfristigen globalen Energieversorgung machen.

Die brennendste Frage ist heute natürlich die *Frage der Sicherheit*. Dabei ist, auf der Basis der wirklichen Schäden, die Kernenergie nicht gefährlicher als andere Formen der Energieerzeugung oder vieler anderer menschlicher Tätigkeiten. Dies gilt auch für das *Problem der Entsorgung, das keineswegs unlösbar ist*. Zum verbreiteten Unbehagen gegen die Kernenergie führten wohl auch andere Faktoren, wie Nuklearwaffen und Proliferation, generelle Technikfeindlichkeit, alles verstärkt durch die Wirkung der Medien. Radioaktivität, im Universum und

auf der Erde allgegenwärtig, ist das Objekt manchmal hysterischer Reaktionen geworden, welche in keinem Verhältnis mehr zur wirklichen Gefährdung stehen. So unbedenklich die anspruchsvolle Kerntechnik in politisch stabilen Ländern mit hochstehendem technischen Niveau und gutem Stand von Ausbildung und Arbeitsdisziplin auch ist, bleiben auch manchem Befürworter Zweifel, ob das weltweit und langfristig gesichert werden kann. Wie gut wäre, angesichts der politischen Realitäten und der tatsächlichen menschlichen Verhaltensweisen, eine voll ausgebaute Kerntechnologie vor fünfzig Jahren in Berlin gewesen, heute in Afrika, im Mittleren Osten oder in Jugoslawien? Aus welcher Sicht auch diese Fragen gestellt werden, sind diese aber eine Realität, die das Führen einer vernünftigen Energiepolitik sehr erschweren werden.

Fusion: Was die Sonne in ihrem Innern spielend vollbringt, ist auf der Erde sehr schwierig. Um Wasserstoff bei Temperaturen von vielen Millionen Grad genügend lange bei hoher Dichte zu halten, damit er zu Helium verschmelzen kann, werden heute zwei Wege erforscht: der magnetische Einschluss (z. B. beim Europäischen Tokamak JET in Culham, die Schweiz als volles und aktives Mitglied) oder der pulsweise Trägheitseinschluss mit Lasern oder Beschleunigern. Obwohl die Grundprozesse alle bekannt und nachgewiesen sind, ist der Weg zu einem eigentlichen Kraftwerk mit hohem Wirkungsgrad bestimmt noch lang. Bis daher die Fusion ein Faktor der Energiepolitik werden kann, wird wohl ein halbes Jahrhundert oder mehr vergehen.

Gelänge es einmal, die Fusion von Deuteronen (Wasserstoff der Masse 2) zu erreichen, wäre die Fusion eine ideale, praktisch unerschöpfliche Energiequelle, da die Meere genügend schweres Wasser enthalten. Vorderhand besteht aber nur die Aussicht, mit der wirkungsvollsten Reaktion von Deuterium mit Tritium Fusion zu erreichen. Das macht die gleichzeitige Synthetisierung (mit Lithium) des radioaktiven Tritiums (Wasserstoff der Masse 3) notwendig. Generell wird ein Teil der Energie in Zusammenhang mit Neutronen erzeugt. Diese führen zur Aktivierung der Reaktormaterialien, so dass ebenfalls ein Entsorgungsproblem entsteht, das allerdings viel leichter zu beherrschen ist als bei der Fission.

3.3 Hydroenergie

Sie ist natürlich die ideale erneuerbare Energie. Als hochwertige Gravitationsenergie lässt sie sich direkt in elektrische Energie verwandeln. In Stauseen kann man sie fast verlustfrei speichern und als Spitzenenergie einsetzen. Verglichen mit anderen Energien ist die Umweltbelastung minimal.

Weltweit kann leider nur ein bescheidener Anteil des Energiebedarfs damit gedeckt werden (einige Prozente). Für gebirgige und niederschlagsreiche Länder, wie die Schweiz, ist Hydroelektrizität aber eine sehr wichtige Primärenergie.

3.4 Sonnenenergie

Die direkte Nutzung der Sonnenenergie kann auf drei Wegen erfolgen:

- als Wärme von niedriger Temperatur, mittels Kollektoren für Heizung und Warmwasserbereitung, oder auch durch Solararchitektur
- Elektrizitätserzeugung mit Wärmekraftmaschinen. Die mit optischen Konzentratoren erzeugten hohen Temperaturen erlauben im Prinzip gute Wirkungsgrade. Zur vollen Leistung ist aber ein klarer Himmel nötig.
- Photovoltaische Elektrizitätserzeugung mit Halbleiterzellen. Diese haben einen geringeren Wirkungsgrad, sind aber auch bei diffuser Strahlung funktionsfähig.

Die Sonneneinstrahlung entspricht einer ungeheuren, unerschöpflichen Leistung. Trotzdem wird es auch mittelfristig sehr schwierig sein, einen wesentlichen Teil des Welt-Energiebedarfs mit Sonnenenergie zu decken. Dies aus folgenden Gründen:

Die Dichte der Sonneneinstrahlung ist relativ gering, maximal etwa 1 kW/m^2 , im Jahresmittel auf einen m^2 horizontaler Bodenfläche aber nur ein ganz kleiner Bruchteil davon.

Die Sonneneinstrahlung ist zeitlich und örtlich grossen Schwankungen unterworfen: Tag-Nacht, Jahreszeiten, Wolken, Äquator-Polarkreis. Eine Nutzung von Solarenergie in grösserem Umfange setzt daher Speicherung (täglich und saisonal) sowie Energietransporte über grosse Distanzen voraus. Dies stellt enorme Probleme, die in der Energiediskussion ungenügend klar gemacht werden.

Die zeitlichen Schwankungen führen auch dazu, dass eine Anlage mit einer bestimmten Spitzenleistung nur einen kleinen Bruchteil dieser installierten Leistung als mittlere effektive Leistung erbringt. Bei uns ist für eine Photovoltaikanlage das Verhältnis etwa 15%, im Winter weniger als 10%. Das führt zu hohen Investitionskosten und Platzbedarf. Bei anderen Energiearten gibt es dieses Verhältnis natürlich auch, bei Hydroelektrizität ist es etwa 33%, bei Kernenergie praktisch 100%.

Ein Faktor, der von den Zweiflern an der Sonnenenergie immer betont wird, ist hier absichtlich nicht erwähnt worden: die Kosten. Erstens wird der Energiepreis, wenn man gegen das Ende der fossilen Ära vorausdenkt, nur relativ sein, und zweifellos wird mit dem stärkeren Ausbau die Technologie an günstigen Standorten kompetitiv werden. Schon heute sind es «Farm»-Solarkraftwerke (mit fossil kombiniert) in Kalifornien nahezu. Sogar in der Schweiz wird eine kWh in der kritischen Verbrauchsspitze mittags im Winter vielleicht einmal so viel wert sein, dass ein grosses solarthermisches (oder photovoltaisches) Kraftwerk im Wallis nicht völlig utopisch wäre (statt Skipisten?).

4 SPEICHERUNG

Bedarf und Produktion von Energie stimmen zeitlich und räumlich leider nicht gut überein. Dies ist heute schon so, würde aber mit einem grossen Anteil an

Sonnenenergie noch viel akuter. Diese Aussage ist nur scheinbar im Widerspruch mit derjenigen der Befürworter, welche die dezentrale Nutzung der Sonnenenergie empfehlen. Diese ist aber nur möglich, wenn eine Speicherung (Tag-Nacht, wetterbedingt oder saisonal) erfolgen kann. Unehrllicherweise wird dazu heute, solange der Anteil Sonnenelektrizität verschwindend klein ist, einfach das konventionelle Netz verwendet. Man verschweigt dabei, dass eine kWh nicht immer das gleiche ist: Strom in einer Winternacht zu fordern, weil man ihn an einem Sommer-Nachmittag zurückgeben wird, ist einfach absurd! Die Speicherung ist daher die eigentliche Schlüsselfrage für die Sonnenenergie, soll sie einen wesentlichen Anteil der Primärenergie liefern!

Während im Erdöl Energie mit ungeheuer grosser Dichte chemisch gespeichert ist und daher leicht transportiert und gelagert werden kann, ist die Speicherung anderer Energieformen ungemein schwieriger. Insbesondere die anteilmässig immer wichtiger werdende elektrische Energie lässt sich nicht im grossen Rahmen direkt speichern. Batterien haben enge Grenzen, wie die schwierige Entwicklung des Elektroautos zeigt.

Ein einfacher und effizienter Weg ist die Umwandlung elektrischer in mechanische potentielle Energie von Wasser in einem Speichersee. Für unser Land ist dies ideal möglich, weltweit aber leider nicht.

Langfristig wichtigstes Ziel ist die Umwandlung von solarer Energie aus grossen Solarkraftwerken in transportier- und lagerbare chemische Energie. Dies hätte an günstigen Standorten zu geschehen, man spricht z. B. von der Sahara. Ob dies geopolitisch zu empfehlen wäre, ist eine andere, wohl eher zu verneinende Frage. Studiert werden die Umwandlung in Energieträger wie Methanol oder Wasserstoff. Dies kann grundsätzlich durch primäre Erzeugung von Elektrizität oder über thermochemische oder evtl. photochemische Prozesse erfolgen. Auch Metalle (wie Aluminium) könnten im Prinzip als Speicher sehr grosser Energiedichte dienen. Ein grosses Problem ist der relativ schlechte Wirkungsgrad all dieser Prozesse, insbesondere auch bei der Rückgewinnung von Elektrizität über Wärme. Weitere Entwicklungen werden zeigen müssen, ob die Stromerzeugung mittels Brennstoffzellen, welche grundsätzlich höhere Wirkungsgrade erlauben, im grossen Rahmen realisiert werden kann.

Unabhängig davon, welches schliesslich der Weg von solarer Energie von der Wüste zu einem winterlichen Europa sein wird, tut man gut daran, die sentimental propagierte Idee der Sonne als eine «sanfte» Energie zu vergessen. Angesichts der im Spiele stehenden Energiemengen wäre eine globale Sonnenenergiewirtschaft unvermeidlich eine Grosstechnologie, welche der Erdöl- oder Kernenergie bezüglich Gefahren und vieler Umweltschäden nicht nachstehen würde! Die dezentrale Sonnenenergienutzung, so sinnvoll sie lokal auch ist, wird wohl immer nur einen sehr kleinen Beitrag leisten können.

Wärme als niederwertige Energieform lässt sich im grossen Umfang praktisch nicht langfristig speichern, der Materialaufwand und der geringe Gesamtwirkungsgrad verbieten das.

5 ENERGIE UND KLIMA

Bedingt durch komplexe Rückkopplungsprozesse in Atmosphäre und Ozeanen ist das Klima der Erde ausgesprochen instabil. Die Erde erhält ihre Energie durch das Licht der Sonne; abgestrahlt wird diese durch die Infrarotstrahlung des Wasserdampfes und des Kohlendioxids in der Atmosphäre in 5–6 km Höhe, wo es wegen der adiabatischen Durchmischung der Luft kalt ist (-20°). Dieser natürliche Effekt bewirkt, dass die mittlere Temperatur an der Oberfläche der Erde etwa 30° höher ist, als sie für eine Erde ohne Atmosphäre wäre. Dadurch erst wird das biologische Leben möglich. Die jüngste dramatische Instabilität war das Ende der letzten, etwa 100 000 Jahre dauernden Eiszeit vor lediglich etwa 10 000 Jahren (3). In der sehr kurzen Zeit von einigen Jahrhunderten stieg die Temperatur um 5° (Abb. 2).

In der anderen Richtung gab es während Jahrtausenden Perioden mit um viele Grade höheren Temperaturen. Die entsprechende vegetale Produktion war sehr gross, was Tieren wie den Sauriern die Entwicklung erlaubte. Und die dann gebildete Biomasse brauchen wir heute als Kohle und Erdöl!

Eindeutige Forschungsergebnisse zeigen, dass bei diesen natürlichen Vorgängen die CO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre mit der Temperatur korrelierten (Abb. 2). Das ist der Grund für die berechtigte Sorge, die heutige rapide Nutzung der fossilen Energien, einen nachweisbaren Anstieg des CO_2 in der Atmosphäre bewirkend (Abb. 2: 1750–1992), werde zu Temperaturerhöhungen führen (in Abb. 2 angedeutet). Verglichen mit den natürlichen Schwankungen in der Erdgeschichte werden diese bescheiden sein und somit die Natur, wenn wir einmal vom Menschen absehen, kaum beeinträchtigen. Für diesen aber, die Erde ohnehin schon dramatisch überbevölkernd, werden Verschiebungen in der landwirtschaftlichen Nutzbarkeit und im Meeresniveau beträchtliche Probleme bringen. Aber auch bei den Schwankungen des Ozeans, dessen Oberfläche früher oft um Hunderte von Metern änderte, zeigt sich, dass das CO_2 -Problem nur anthropozentrisch betrachtet existiert. Es ist von uns sogar recht überheblich, nur gerade das jetzige Klima als «richtig» bezeichnen zu wollen, als ob die Periode der Saurier mit ihrer ungeheuren Vielfalt nicht eine ebenso interessante Erdzeit gewesen wäre (4).

6 ZUR ENERGIEPOLITIK

6.1 Ausgangslage

Diese ist leider ebenso klar wie ernüchternd. Die dramatische Zunahme der Weltbevölkerung wird zu einer weiteren, starken Steigerung des Weltenergiever-

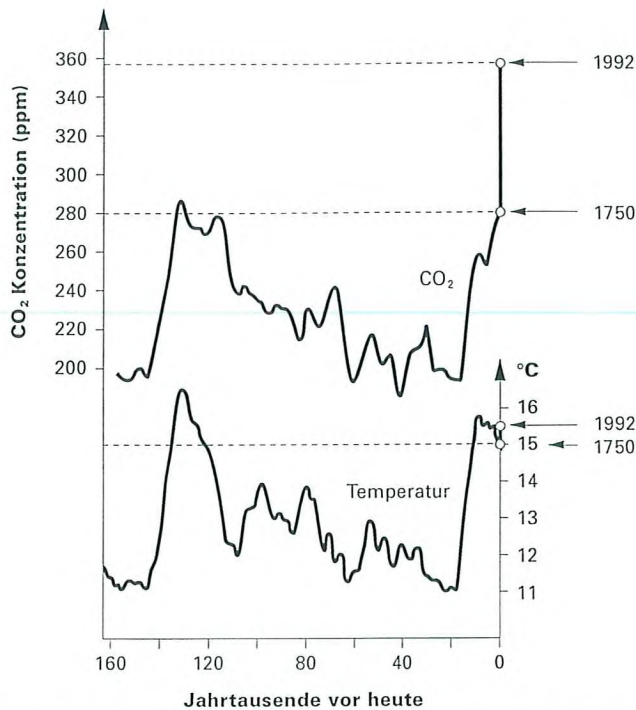


Abb. 2. Das Verhältnis von Isotopen im Eis der Antarktis gestattet die Temperatur des damals fallenden Schnees genau zu bestimmen und so das Klima während der letzten Eiszeit zu rekonstruieren (3). Die Kurve zeigt, wie unvermittelt das Klima sich von selbst drastisch ändern kann und wie der jetzige Anstieg des CO₂ bestimmt zu Klimaänderungen führen wird. Vermutlich wäre aber ein Rückfall in eine Eiszeit viel gravierender als eine Erwärmung durch den Treibhauseffekt.

brauchs führen. Dabei ist die Nutzung bei sich entwickelnden Wirtschaften bekanntlich lange Zeit wenig effizient. So wird z. B. die starke Entwicklung Chinas unweigerlich auf Kohlebasis erfolgen. Die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre wird also weiter zunehmen, so dass die mittleren Temperaturen steigen werden, auch wenn man nicht genau berechnen kann, wie schnell und um wieviel. Selbst Beschlüsse, den Verbrauch an fossilen Brennstoffen zu stabilisieren, wirken bei den sehr langen Zeitkonstanten des natürlichen CO₂-Haushaltes sehr langsam. Realistisch gesehen ist es zudem ohnehin höchst zweifelhaft, ob international wirklich wirksame Sparbeschlüsse je getroffen werden können.

Die Klimadiskussion ist übrigens zu sehr auf den Treibhauseffekt fixiert und lässt vergessen, dass die meisten negativen Auswirkungen auf die Umwelt von den immer steigenden Bedürfnissen einer ausufernden Menschenpopulation und damit indirekt vom Energieverbrauch verursacht werden. So wäre auch eine globale Energiewirtschaft auf der Basis von Sonnen- oder Kernenergie keineswegs unproblematisch. – Was kann man tun, um den Energieverbrauch in Grenzen zu halten?

6.2 Sparpolitik

Sie ist sehr populär, verschleiert aber oft das eigentliche Problem, nämlich dass wirkliches Sparen Einschränkung bedeutet. In der Schweiz werden die naheliegendsten Einsparungsmöglichkeiten zu wenig genutzt, nämlich die Senkung des Energiebedarfs für Heizung. Dies kann durch bessere Isolation der Häuser erfolgen, wobei der Aufwand schnell amortisiert ist. Von der Energiebilanz her wäre es auch richtig, vermehrt die sonst verlorene Niedertemperaturwärme von Kernkraftwerken und Kehrlichtverbrennung in Fernheizungsnetzen zu nutzen. Die Kosten wären hoch, aber gut investiert.

Statt solcher Massnahmen, welche bedeutende Einsparungen an Energie erlauben würden, werden Sparappelle lanciert, welche wenig bringen, wie Vorschriften über den Verbrauch von Apparaten. Sogar kontraproduktiv wirken wahrscheinlich Kampagnen wie für die Energiesparlampen, da damit ein echter Beitrag ans Energiesparen suggeriert wird. Die Leute können dann mit ruhigem Gewissen weiter Vollbäder nehmen, stundenlang lüften, mit dem Auto Joghurtdeckel abliefern, was alles ein Vielfaches der vermeintlich eingesparten Energie verbraucht.

6.3 Kern- und Sonnenenergie, Forschung

Auf diesen Gebieten herrscht in der Energiepolitik eine unglaubliche Verzerrung. Die stark von den Medien geschürte Angst vor dem Nuklearen ändert nichts daran, dass bei uns im Winterhalbjahr etwa die Hälfte des Stromes nuklear ist und ohne diesen auch nur etwa jeder zweite Eisenbahnzug noch fahren könnte. Trotzdem lässt man darüber abstimmen, ob man Kernstrom will oder nicht, ohne eine echte Alternative wählen zu müssen. Solche gibt es nämlich nur zwei: Stromrationierung auf die Hälfte oder fossil beheizte Kraftwerke. Da dies niemand will, macht man einfach Verträge mit dem Ausland zur Lieferung von Kernstrom (jetzt schon für drei grosse KKW, bald mehr) und macht Lippenbekenntnisse zu illusorischen alternativen Energien.

Wichtige Entwicklungen in der Kernenergie sind leider durch die Opposition weitgehend zum Stillstand gekommen. Dies sind einerseits Hochtemperatur-Reaktoren, welche hohe Wirkungsgrade bei der Elektrizitätserzeugung erlauben und günstig Prozesswärme liefern. Andererseits der Brüter, welcher durch Prozesse mit schnellen Neutronen gestattet, gleichzeitig mit der Energieproduktion weiteren Brennstoff zu brüten. Angesichts der langen Vorlaufzeiten für den Aufbau neuer globaler Energiesysteme könnte sich dieser Zeitverlust später sehr wohl rächen.

Bei der Sonnenenergie ist es gerade umgekehrt: man lässt die Leute glauben, dass, wenn man nur wollte, alles durch Solarstrom ersetzt werden kann. Auch hier wird irreführt, indem man die Grössenordnungen und das zentrale Problem der Speicherung verschweigt. Auch Demonstrationsanlagen, wie das Kraftwerk auf dem Mont-Soleil, müsste man in die richtige Relation setzen und nicht

die Illusion wecken, dass solche einen echten Beitrag liefern. Gedeckt wurde mit dieser Anlage nur soviel, dass die Zunahme des Verbrauchs an Elektrizität (selbst bei dem heute bescheidenen Wert von 1% pro Jahr) während 12 Stunden aufgeschoben wurde! Ehrlicher wäre ein Vorschlag, den Kernenergieanteil der Bundesbahnen durch in der Schweiz gewonnene Sonnenenergie zu ersetzen, und zwar einschliesslich der notwendigen täglichen und saisonalen Speicherung und der Sicherung des Spitzenleistungsbedarfs. Da dies leider völlig unrealistisch ist, propagiert man lieber Spielereien wie die Tour-de-Sol.

Schliesslich wird oft behauptet, man müsse nur die Sonnenenergieforschung genügend fördern, um den Durchbruch zu erreichen. Abb. 3 zeigt aber, dass dem nicht so sein muss. Das Hauptproblem der Sonnenenergie ist ja nicht der Mangel an Ideen oder dass zu wenig Forschung betrieben wird, sondern einfach, dass die Sonne zur falschen Zeit am falschen Ort scheint. Sicher werden Solarzellen weiter perfektioniert, bessere Verfahren zur chemischen Speicherung von Sonnenenergie entwickelt oder neue Brennstoffzellen gebaut. Dazu braucht man aber seriöse Grundlagenforschung in Festkörperphysik, Optik, Elektro- und Thermochemie. – Wunder wird es keine geben.

7 AUSBLICK

Realistisch betrachtet muss man auf der Bedarfsseite mit einem weiteren, beträchtlichen Ansteigen rechnen, vor allem als Folge des rasanten Bevölkerungswachstums. Daran werden wohl auch alle Bemühungen zur Plafonierung des Verbrauchs wenig ändern. Aufrufe zum freiwilligen Energiesparen oder Steuern

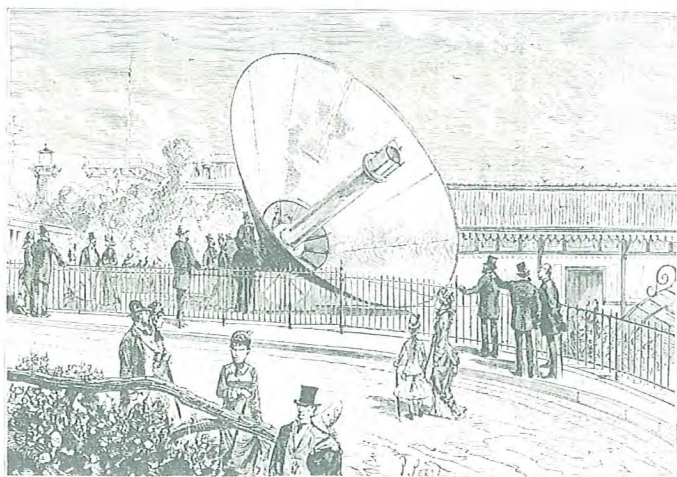


Abb. 3. Dieser Sonnenspiegel an der Weltausstellung von 1878 in Paris (5) unterscheidet sich wenig von demjenigen, der 1991 an der «Heureka» in Zürich als modernste Technologie gezeigt wurde. Schon vor über hundert Jahren gab es solar betriebene Pumpen, Dampfmaschinen und sogar Versuche zur Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, um Energie zu speichern.

auf Energie oder CO₂ werden viel geringere Wirkung haben als erhofft. Einen spontanen Verzicht der technologisch fortgeschrittenen Länder auf einen Teil ihres Wohlstandes zugunsten der Entwicklungsländer wird es wohl auch kaum in genügendem Umfang geben.

Ferner wird es eine weitere Verschiebung des Verbrauchs zur Elektrizität hin geben. Sie ist die eigentliche Schlüsselenergie für die technische Entwicklung. Ihr Anteil an der Endenergie beträgt heute 19%, d. h. mit Berücksichtigung ihrer höheren Wertigkeit effektiv schon etwa 40%.

Die mit dem Energieverbrauch korrelierenden Beeinträchtigungen der Umwelt und des Klimas werden zunehmen. In welchem Moment diese schwer genug werden, um die Menschheit aufzurütteln, ist schwer zu sagen, zu spät wird es ohnehin sein. Eher ist zu befürchten, dass die Immissions- und Verknappungseffekte zu Verteilungskämpfen zwischen den Völkern führen werden.

Auf der Produktionsseite muss man damit rechnen, dass in der Grössenordnung von einem Jahrhundert das Ende der Ära der fossilen Energie kommt, aus welchen Gründen auch immer: echte Verknappung, Klimaeffekte oder politische Vernunft. Was hat man dann noch als dauerhafte Primärenergien? Eben nur die Sonne und die Kernenergie, letztere auch nur, wenn Brütertechnologie oder Fusion verfügbar sind.

Objektiv würden diese beiden Energien sich für eine nachhaltige Entwicklung vortrefflich ergänzen. Die Sonne, zur Erzeugung von Brenn- und Treibstoffen in Grossanlagen an geeigneten Orten der Erde, zudem lokal so weit wie möglich genutzt. Zur lokalen Elektrizitätserzeugung im grossen Umfang, wozu die Sonne absolut ungeeignet ist, wäre die Kernenergie mit ihren äusserst geringen Mengen an Brennstoff und Abfall ideal. Gesellschaftliche und politische Fragen setzen aber die Grenzen, und die Aussichten, dass die Probleme überhaupt lösbar sein werden, sind schlecht.

Literatur

- (1) Energie und Umwelt. – Schriftenreihe der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft, August 1990 (vgl. Abb. 1).
- (2) Vom Menschen verursachte Klimaveränderungen. – Schriftenreihe der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft, 1990.
- (3) BARNOLA et al. 1987. Vostok ice core provides 160 000 year record of atmospheric CO₂. – Nature 329, 408 (vgl. Abb. 2).
- (4) FRITZ GASSMANN, 1993. Was ist los mit dem Treibhaus Erde? – Reihe «Einblicke in die Wissenschaft», Teubner.
- (5) AUGUSTIN MOUCHOT, 1879. Die Sonnenwärme und ihre industriellen Anwendungen. – Olynthus Verlag, Übersetzung 1987 (vgl. Abb. 3).