

## Modell Deutschland?

### Die Vergangenheit und die Zukunft der Energie

VON GERD GANTEFÖR

Hinter der Geschichte der Könige, Kriege und Revolutionen, die im Schulunterricht gelehrt wird, gibt es noch eine zweite Geschichte: Es ist die der Zivilisation. Diese Geschichte beginnt in der Steinzeit mit der Zähmung des Feuers. Eine höhere Kultur konnte sich aber erst entwickeln, als die Jäger und Sammler sesshaft wurden. Von dieser Zeit an lassen sich bis heute drei Entwicklungsphasen unterscheiden, die eng mit der Verfügbarkeit von Energie verknüpft sind. In jeder Phase kam eine neue Energieform hinzu, und als Folge davon sank die Arbeitsbelastung des Menschen, weil Maschinen immer mehr Arbeit übernahmen. Die Produktion lebensnotwendiger Güter wie Nahrungsmittel, Wohnung und Energie nahm immer weniger Arbeitszeit in Anspruch. Erst als neben den für das Existenzminimum notwendigen Arbeiten noch Zeit blieb, konnte sich eine höhere Zivilisation entwickeln.

In allen drei Phasen stiegen der Lebensstandard und der Energieverbrauch ständig an, doch heute besteht die Gefahr, dass diese Aufwärtsentwicklung ein Ende findet, sich vielleicht sogar umkehrt. Denn leicht verfügbare Energie, bisher die Grundlage dieser Aufwärtsentwicklung, droht zu verknappen. Die Nationen müssen nun entscheiden, wie sie dieser Verknappung entgegenzutreten wollen. Eine Entscheidung über die zukünftige Energieversorgung ist aber gleichzeitig eine Entscheidung über die Entwicklung der Zivilisation, wie ein Blick in die Vergangenheit zeigt.

In der ersten Phase gab es nur eine einzige Energiequelle, die heute mit dem Begriff Biomasse bezeichnet wird: Getreide, Feldfrüchte, Obst, Holz, Gras etc. Alle Arbeiten mussten die Menschen selbst verrichten, und zwar mit ihrer

Muskelkraft. Die Energie hierfür bezogen sie aus der Nahrung, also der Biomasse. Es gab Nutztiere, die den Menschen halfen, zum Beispiel Ochsen beim Pflügen. Aber bei weitem nicht jeder Bauer hatte Ochsen, und kaum jemand konnte sich ein Pferd leisten. Denn diese Tiere brauchten Weideflächen, und damit konkurrierten sie mit den Menschen um das kostbare Ackerland.

Das Leben der Menschen konzentrierte sich auf den täglichen Überlebenskampf. Alle Güter des täglichen Bedarfs wurden selber hergestellt. Eine besonders harte Arbeit war das Mahlen des Getreides: Eine Rotationsmühle wurde von zwei Arbeitern angetrieben, die tagein, tagaus im Kreis liefen und den Mühlstein drehten. Die Energie aus der Biomasse reichte zum Überleben aus, ein Mensch produzierte gerade genug für sich selbst. Ständig drohte eine Hungersnot, und über 90 Prozent der Bevölkerung arbeitete in der Landwirtschaft. Die Lebenserwartung lag unterhalb von fünfzig Jahren, die Säuglingssterblichkeit oberhalb von 50 Prozent.

Die zweite Phase begann um das Jahr 500 vor Christus herum mit der Erfindung der Wassermühle. Der Mensch erhielt Zugang zu einer neuen, zusätzlichen Energieform. Karl H. Metz schreibt dazu in *Ursprünge der Zukunft*, seiner *Geschichte der Technik in der westlichen Zivilisation*: »Der Kraftantrieb durch das Wasserrad ist eine menschliche Fundamentalerfindung, die wichtigste überhaupt in der Geschichte der Energie vor der Verwertung der Dampfkraft. Und die Erschließung dieser neuen, von der Biomasse unabhängigen Energiequelle ist vielleicht sogar der Beginn der Kultur des Abendlandes.«

Neuentwicklungen brauchten damals

lange, bis sie sich durchsetzten, und erst nach fünfhundert Jahren waren Mühlen weit verbreitet. Zunächst wurden sie nur zum Mahlen von Getreide verwendet, aber bald auch für andere Arbeiten. Die Ära der Mühlen dauerte mehr als tausend Jahre, und um 1800 erreichte sie ihren Höhepunkt mit hundert verschiedenen Typen. In Walkmühlen wurden Tuche verdichtet und geklopft und dadurch geschmeidiger gemacht: Sie ersetzten zehn oder mehr Arbeiter, die Tuche mit den Füßen stampften. In Schmiedemühlen wurde ein schwerer Hammer, den ein Mensch nicht hätte heben können, von einem Wasserrad angetrieben: Damit ließ sich die Eisenproduktion massiv erhöhen. Mühlen wurden im Bergbau eingesetzt, um Abraum, Erz und Grundwasser aus den Schächten zu transportieren.

Erst der Einsatz der Wasserkraft ermöglichte es, tiefere Lagerstätten auszu-beuten, denn ab einer gewissen Tiefe reichte Menschenkraft nicht mehr aus, das eindringende Grundwasser schnell genug heraufzupumpen. Gegen 1800 gab es einige hunderttausend Wasser- und Windmühlen in Europa, und an den Flüssen mit ihren Mühlen wuchsen die Städte.

Auch die Landwirtschaft wurde produktiver, zum Beispiel durch eine verbesserte Technik des Pflügens. Höhere Erträge ermöglichten den vermehrten Einsatz von Zugtieren. Während vorher nur eine flache Furche für das Saatgut gezogen wurde, konnte nun der Boden mit mehreren starken Zugtieren tief und gründlich gepflügt werden. Geheizt und gekocht wurde mit Holz. Aber auch die Eisenverhüttung verschlang große Mengen dieses Rohstoffs. Die Zahl der Menschen, die auf der Fläche des heutigen Deutschlands lebten, wuchs von vier Millionen zur Zeitenwende auf zwanzig Millionen im Jahr 1800 an. Nur noch die Hälfte der Menschen arbeitete in der Landwirtschaft, und die Lebenserwartung stieg auf über fünfzig Jahre. Die Kindersterblichkeit lag allerdings auch gegen Ende der Mühlenzeit immer noch

bei 35 Prozent. Ein Bauer konnte zwei oder sogar vier Menschen ernähren. Mit der zusätzlichen Energie aus der Wasserkraft ging es den Menschen erheblich besser als in der ersten Phase der Zivilisation. Gegen 1800 stieß die zweite Phase an ihre Grenzen, denn die Bevölkerung war stark gewachsen, und das Holz wurde knapp.

Um 1800 begann die dritte Phase mit der Erfindung der Dampfmaschine. Zuerst war es nur die Kohle, die es zusammen mit der Dampfmaschine ermöglichte, die menschliche Muskelkraft zu ver-hundertfachen. Später kamen Erdöl, Erdgas und Uran hinzu. Auch moderne Automotoren, Kohlekraftwerke und Kernkraftwerke beruhen letztlich auf dem Prinzip der Dampfmaschine. Die Verhundertfachung der Produktivität ermöglicht es, dass achtzig Millionen Menschen bequem auf der relativ kleinen Fläche Deutschlands leben können. Ein Bauer kann heutzutage hundertfünfzig Menschen ernähren, und nur noch 2 Prozent der Bevölkerung arbeiten in der Landwirtschaft.

Entscheidend für diesen im Vergleich zu früheren Phasen unvorstellbaren Wohlstand ist, dass nur wenig Arbeitskraft für die Produktion lebensnotwendiger Güter wie Nahrung, Kleidung, Wohnraum und Energie eingesetzt werden muss. Die Bürger haben Zeit, um Automobile, Fernseher und Telefone zu bauen. Der Mensch hat sich durch die Nutzung der fossilen Energien aus der Umklammerung des ständigen Energiemangels befreit. Die dramatische Verbesserung der Lebensumstände dieser »Faktor-Hundert-Gesellschaft« lässt sich am Beispiel des Arbeitsaufwands für das Pflügen eines Hektars veranschaulichen: Das Pflügen von Hand beanspruchte dafür hundert Stunden, das Pflügen mit Sechsspännern 4,5 Stunden, das Pflügen mit Traktoren 0,3 Stunden.

Bei diesem Beispiel ist die Arbeitseinsparung von einer Phase zur nächsten sogar noch größer als der Faktor Zehn. Und die Arbeit wird nicht nur weniger, sondern auch angenehmer: Die Traktorfah-

rer sitzen bequem auf der Zugmaschine. Im Vergleich zur ersten Phase ist die Produktivität ungefähr um den Faktor Hundert gestiegen. Dieser Faktor wird durch die hohe Energiedichte von Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran ermöglicht. Dafür liefert der Braunkohletagebau ein beeindruckendes Beispiel: In einer Stunde fördert ein einzelner Arbeiter sechzig Tonnen Braunkohle. Der Energieinhalt dieser Kohlemenge würde dazu reichen, einen 350-PS-Motor tausend Stunden lang anzutreiben.

Doch die dritte Phase nähert sich ihrem Ende, denn das Erdöl, die wichtigste Energiequelle, auf der die Faktor-Hundert-Gesellschaft beruht, geht langsam zur Neige. Hinzu kommt, dass Kernenergie und Kohle von weiten Teilen der Bevölkerung in Deutschland abgelehnt werden, da sie die Umwelt zu stark belasten. Die Staaten stehen vor der Entscheidung, wie sie dem zu erwartenden Energiemangel begegnen wollen. Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten: den Weg nach vorne zur Erschließung neuer, vielleicht noch leistungsstärkerer Energiequellen; den Weg der vorläufigen Kontinuität, bei dem der Status quo so lange wie möglich aufrecht erhalten wird; den Weg zurück zu einer Energiespargesellschaft, die auf Biomasse, Wind- und Sonnenenergie basiert.

Die Frage, welche weiteren Energiequellen für eine denkbare vierte Phase zur Verfügung stehen, kann die Physik beantworten. Viele physikalisch mögliche Methoden der Energiegewinnung sind allerdings leistungsschwach. Dazu gehören Meeresströmungskraftwerke, Meereswärmekraftwerke, Osmosekraftwerke und Aufwindkraftwerke. Diese Methoden liefern auch im Idealfall nur wenig Leistung und werden auf viele Jahrzehnte hinaus nicht merklich zur Energieversorgung beitragen. Hingegen kann die Fusion wirklich viel Energie liefern, eine Faktor-Tausend-Gesellschaft wäre damit denkbar. Die Fusion ist die Energiequelle der Sonne selbst, und es ist sehr schwierig, diese Energie auf die Erde zu holen und zu zählen.

Aber mit dieser Energie wären sogar Reisen zu anderen Planeten und aktive Klimakontrolle möglich. Allerdings wird es noch Jahrzehnte dauern, bis es einen funktionsfähigen Fusionsreaktor geben wird.

Eine zweite, sehr leistungsstarke Energiequelle ist der Schnelle Brüter, eine besondere Form eines Kernreaktors. Auch der Schnelle Brüter verspricht nahezu unbegrenzte Energie zu einem bezahlbaren Preis. Aber hier ist das Risiko eines Unfalls noch höher als bei der Technik der heutigen Kernreaktoren. Trotzdem investieren einige Länder in diese Technologie. Ob dies jedoch so bleiben wird, nach der Katastrophe von Fukushima, ist noch nicht abzusehen.

Die meisten Länder der Erde, insbesondere die Schwellenländer mit ihren expandierenden Volkswirtschaften, setzen auf die etablierten Technologien und die Erhaltung des Status quo. Sie haben auch keine Alternative, denn die regenerativen Energien reichen nicht für die Versorgung ihrer stark wachsenden Bevölkerung aus, und sie sind zu teuer. Also investieren sie in Kohle- und Kernkraftwerke, denn Uran und Kohle wird es noch für viele hundert Jahre geben. Für den Betrieb ihrer Fahrzeuge sind diese Länder zunächst noch auf Erdöl angewiesen, das aber in der Zukunft knapper werden wird. Heftige Preisausschläge sind programmiert. Einen Ausweg bietet das Erdgas, das noch mindestens hundert Jahre lang reichen wird. Diesen Weg der Fortsetzung der Faktor-Hundert-Gesellschaft der dritten Phase gehen neben den Schwellenländern auch die USA und einige europäische Länder.

Deutschland ist das einzige hochindustrialisierte Land, das sich dem dritten Weg, dem Rückbau auf die regenerativen Energien, verschrieben hat. Deutschland hat eine sinkende Bevölkerung, und das ist eine Voraussetzung für einen solchen Rückbau. Massive Energiesparmaßnahmen sind nicht mit einem starken Bevölkerungswachstum vereinbar. Die Energieversorgung Deutschlands soll langfristig auf Bio-

masse, Wind- und Sonnenenergie basieren. Allerdings wird Biomasse wohl kaum ernsthaft dazu beitragen können, da diese Energieform bereits für die zwanzig Millionen Menschen am Ende der zweiten Phase der Zivilisation knapp wurde. Heute würde zum Beispiel die gesamte Ackerfläche nicht ausreichen, um auch nur den Treibstoffbedarf der vielen Millionen Fahrzeuge auf den deutschen Straßen zu decken. Ernsthafte Beiträge sind also nur von Sonne und Wind zu erwarten.

Eine Möglichkeit, den Beitrag der Sonnenenergie um Größenordnungen zu steigern, ist der Bau von Solarkraftwerken in der Sahara. Der hohe Anteil direkter Sonnenstrahlung in der Wüste ermöglicht den Einsatz von Parabolrinnenkraftwerken, die den Strom günstiger liefern können als die blauen Siliziummodule der Fotovoltaik. Aber die sozialen und moralischen Probleme einer Stromerzeugung in der Sahara sind enorm. In den Ländern südlich der Sahara wird sich die Bevölkerung bis zum Jahr 2050 verdoppeln, und diese Menschen benötigen dringend preiswerte Energie. Unter diesen Umständen erscheint es als unwahrscheinlich, dass man Energie, die in Afrika erzeugt wird, den zwei Milliarden Menschen, die 2050 dort leben werden, vorenthalten kann. Ein solches Solarkraftwerk würde militärischer Schutzmaßnahmen bedürfen, um den Stromexport in das reiche Europa zu sichern. Sonnenenergie in Deutschland kann wegen des hohen Anteils an diffuser Sonnenstrahlung eines häufig bewölkten Himmels nur mit Fotovoltaikmodulen erzeugt werden. Fotovoltaik und Windenergie scheinen also die beiden Energiequellen der Zukunft in Deutschland zu sein.

Der Übergang zu diesen beiden regenerativen Energien bedeutet allerdings eine Rückkehr in die zweite zivilisatorische Phase, denn die für die Energieerzeugung aufzubringende Arbeitsleistung wird sich verzehnfachen. Deutschland verbraucht rund 3600 Terawattstunden an Primärenergie. Möglicher-

weise können 10 oder 20 Prozent davon durch eine Erhöhung der Energieeffizienz eingespart werden, aber das Sparpotential ist begrenzt, solange Deutschland eine der führenden Exportnationen bleibt. Für jede der Energieerzeugungsmethoden lässt sich berechnen, wie viel menschliche Arbeitskraft notwendig ist, um damit 3600 Terawattstunden zu produzieren: bei Braunkohlekraftwerken 120 000 Arbeitsjahre; bei Erdöl 200 000 Arbeitsjahre; bei Kernkraftwerken 200 000 Arbeitsjahre; bei Windenergie 2 400 000 Arbeitsjahre; bei Fotovoltaik 10 000 000 Arbeitsjahre.

Im Fall von Braunkohle, Erdöl und Uran sind Gewinnung, Verarbeitung und Transport nach Deutschland in dieser Modellrechnung mitberücksichtigt worden. Für die Abschätzung des Arbeitsaufwands beim Erdöl wurde angenommen, dass ein Liter Diesel oder Benzin etwa zehn Kilowattstunden an Energie enthalten. Heute arbeiten rund hundertdreißigtausend Menschen in der deutschen Fotovoltaikindustrie. Die Fotovoltaik trägt aber nur mit 0,2 Prozent zur Primärenergieversorgung bei. Eine genaue Analyse, die auch den Export und Import von Fotovoltaikmodulen und die mittlere Standzeit der Module berücksichtigt, ergibt, dass die Arbeitskraft von zehn Millionen Menschen notwendig wäre, um Deutschland allein aus heimischer Fotovoltaik zu versorgen. Bei der Windenergie ist der Arbeitsaufwand etwas geringer, und 2,5 Millionen Menschen würden für die Installation und Wartung der unzähligen Windkraftanlagen genügen.

Zwei bis zehn Millionen Menschen für die Versorgung mit lebensnotwendigen Gütern – und dazu gehört die Energie – einzusetzen ist gleichbedeutend mit dem Schritt zurück in die zweite zivilisatorische Phase. In anderen Bereichen bliebe die Produktivität natürlich immer noch sehr viel höher als in der mittelalterlichen Gesellschaft der zweiten Phase. Allerdings würde die Energie so knapp und teuer werden, dass auch dort die Produktivität gegenüber dem heutigen

Standard zurückginge, denn Energie ist die Grundlage zu jeglichem Betrieb von Maschinen. In der Folge dieser Entwicklung werden die Menschen wieder mehr und härter arbeiten müssen. Die Wochenarbeitszeit wird steigen, der Lebensstandard sinken. Ein positiver Effekt ist, dass es mehr Arbeitsplätze geben wird: Bei rund vierzig Millionen Werktätigen in Deutschland würde jeder vierte mit der Energieversorgung beschäftigt sein. Dieser hohe Anteil erinnert an die Zeit der Mühlen, als jeder zweite in der Landwirtschaft arbeitete.

Bisher werden in Deutschland noch 90 Prozent der Primärenergie aus Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran gewonnen, und daher ist von dieser sich anbahnenden Veränderung noch nichts zu bemerken. Aber wenn der Ausbau von Fotovoltaik und Windenergie so massiv weiter betrieben wird wie in den letzten Jahren, werden die Konsequenzen unübersehbar. Da die meisten Länder der Erde nicht diesen Weg beschreiten, wird Deutsch-

land seine Stellung als Exportnation kaum behaupten können. Um konkurrenzfähig zu sein, braucht man entweder niedrige Lohnkosten oder eine hohe Produktivität. Also werden die Löhne sinken müssen.

Vielleicht ist es eine Ironie der Geschichte, dass diese Entwicklung ausgerechnet in der Wachstumsbranche der Solarenergie heute schon erkennbar wird: Knapp 90 Prozent der Fotovoltaikmodule, die im Jahr 2010 in Deutschland installiert wurden, stammen aus dem Ausland, denn die Module werden in Ländern wie China erheblich preiswerter produziert. Die zu geringe Produktivität der deutschen Solarfirmen kann den Lohnunterschied nicht kompensieren, und in einigen Firmen werden bereits Hungerlöhne von nur acht Euro pro Stunde bezahlt. Vielleicht sollten die Bürger und Politiker in Deutschland noch einmal darüber nachdenken, ob sie einen energiepolitischen Sonderweg wirklich beschreiten wollen.