

1 Unser Hunger nach Energie

Wer kennt sie nicht, die TV-Kultserie Raumschiff Enterprise. Dank ihr wissen wir bereits heute, dass man sich in nicht allzu ferner Zukunft aufmachen wird, die unendlichen Weiten des Weltraums zu erforschen. Die Energiefrage ist dann längst gelöst. Der im Jahr 2063 erfundene Warpantrieb liefert unbegrenzt Energie, mit der Captain Kirk sein Raumschiff Enterprise mit Überlichtgeschwindigkeit zu neuen Abenteuern steuern kann. Energie ist im Überfluss vorhanden, auf der Erde herrschen Friede und Wohlstand und Umweltprobleme gibt es nicht mehr. Doch vollkommen gefahrlos ist auch diese Art der Energieversorgung nicht. Einen Warpkerbruch schaut man sich am besten aus sicherer Entfernung an, wie seinerzeit den Super-GAU eines antiken Kernkraftwerks. Und auch das Warpplasma ist eine nicht ganz ungefährliche Materie, wie der regelmäßige Fernsehserienzuschauer zu berichten weiß.

Leider – oder manchmal auch zum Glück – sind die Fiktionen der Traumfabriken weit vom wirklichen Leben entfernt. Die Erfindung des Warpantriebs erscheint aus heutiger Sicht recht unwahrscheinlich, auch wenn dies eingefleischte Star-Trek-Fans anders sehen mögen. Derzeit ist man noch nicht einmal ansatzweise in der Lage, die vergleichsweise simple Kernfusion zu beherrschen. Somit müssen wir zur Lösung unseres Energieproblems auf heute bekannte und auch funktionierende Techniken mitsamt ihren Problemen zurückgreifen.

In der Realität hatte die Energienutzung schon immer spürbare Einflüsse auf die Umwelt. Die aus heutiger Sicht mangelhafte Verbrennung von Holz und die damit verbundenen gesundheitsschädlichen Abgase rund um die Feuerstätten haben beispielsweise die Lebenserwartung unserer Ahnen deutlich reduziert. Eine schnell steigende Weltbevölkerung, zunehmender Wohlstand und der damit verbundene Energiehunger haben den Bedarf an Energie sprunghaft ansteigen lassen. Waren die durch den Energiebedarf ausgelösten Umweltprobleme bislang stets regional begrenzt, haben die Auswirkungen unseres Energiehungers mittlerweile eine globale Dimension erreicht. Das globale Klima droht chaotische Verhältnisse anzunehmen. Unser Energieverbrauch ist dabei Hauptauslöser der weltweiten Klimaerwärmung. Resignation oder Furcht sind aber die falschen Antworten auf die immer größer werdenden Probleme. Es gibt Alternativen zur heutigen Energieversorgung. Es ist möglich, eine langfristig sichere und bezahlbare Energieversorgung aufzubauen, die nur

minimale und beherrschbare Umweltauswirkungen haben wird. Dieses Buch beschreibt, wie diese Energieversorgung aussehen muss und welchen Beitrag jeder Einzelne leisten kann, damit wir doch noch gemeinsam das Klima retten können. Zuerst ist es aber erforderlich, die Ursachen der heutigen Probleme näher zu betrachten.

1.1 Energieversorgung – gestern und heute

1.1.1 Von der französischen Revolution bis ins 20. Jahrhundert

Zu Zeiten der französischen Revolution, also gegen Ende des 18. Jahrhunderts war in Europa die tierische Muskelkraft die wichtigste Energiequelle. Damals standen 14 Millionen Pferde und 24 Millionen Rinder mit einer Gesamtleistung von rund 7,5 Milliarden Watt als Arbeitstiere zur Verfügung [Köni99]. Dies entspricht immerhin der Leistung von mehr als 100 000 Mittelklasseautos.



Leistung und Energie oder andersherum

Die Begriffe Leistung und Energie hängen untrennbar zusammen. Obwohl alle die Unterschiede schon mal im Physikunterricht gehört haben sollten, werden beide Begriffe gerne verwechselt und fehlerhaft verwendet.

Die *Energie* ist die gespeicherte Arbeit, also die Möglichkeit Arbeit zu verrichten. Energie heißt auf Englisch „energy“ und trägt das Formelzeichen E . Die Arbeit heißt auf Englisch „work“ und wird mit dem Formelzeichen W abgekürzt.

Die *Leistung* (engl.: „power“, Formelzeichen: P) gibt an, in welcher Zeit die Arbeit verrichtet oder die Energie verbraucht wird.

$$P = \frac{W}{t} \quad \left(\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}} \right)$$

Wenn zum Beispiel eine Person einen Eimer Wasser hochhebt, ist dies eine Arbeit. Durch die verrichtete Arbeit wird die Lageenergie des Wassereimers vergrößert. Wird der Eimer doppelt so schnell hochgehoben, ist die benötigte Zeit geringer, die Leistung ist doppelt so groß, auch wenn die Arbeit die gleiche ist.

Die Einheit der Leistung ist Watt (Abkürzung: W). Für die Abkürzung der Einheit Watt wird der gleiche Buchstabe wie für das Formelzeichen der Arbeit verwendet, was die Unterscheidung nicht gerade erleichtert.

Die Einheit der Energie ist Wattsekunde (Ws) oder Joule (J). Daneben werden noch andere Einheiten verwendet. *Anhang A.1* beschreibt eine Umrechnung zwischen verschiedenen Energieeinheiten.

Da die benötigten Leistungen und Energien oft sehr groß sind, werden häufig Vorsatzzeichen wie Mega (M), Giga (G), Tera (T), Peta (P) oder Exa (E) verwendet (vgl. *Anhang A.1*).

Das zweite Standbein der damaligen Energieversorgung war Brennholz, und zwar mit strategischer Bedeutung. Heute geht man davon aus, dass die Verlagerung des Machtzentrums aus dem Mittelmeerraum in die Gebiete nördlich der Alpen unter anderem auf den dortigen Waldreichtum und die damit verbundenen Energiepotenziale zurückzuführen ist. Nachdem die islamische Welt noch bis ins 15. Jahrhundert auf der iberischen Halbinsel eine Vormachtstellung bewahren konnte, schwand ihr Einfluss unter anderem durch Holzmangel. Es fehlte zunehmend an Brennholz zum Einschmelzen von Metall für Schiffskanonen und andere Waffen. Energiekrisen sind also nicht erst eine Erfindung des späten 20. Jahrhunderts.



Abbildung 1.1 Brennholz, Arbeitstiere, Wind- und Wasserkraft deckten noch im 18. Jahrhundert weitgehend die weltweite Energieversorgung.

Neben Muskelkraft und Brennholz wurden bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts auch andere erneuerbare Energien intensiv genutzt. Ende des 18. Jahrhunderts waren in Europa zwischen 500 000 und 600 000 Wassermühlen im Einsatz. Die Windkraftnutzung fand vor allem in flachen Gegenden mit hohem Windangebot Verbreitung. In den vereinigten Niederlanden waren zum Beispiel Ende des 17. Jahrhunderts rund 8 000 Windmühlen in Betrieb.

Fossile Energieträger waren lange Zeit nur von untergeordneter Bedeutung. Steinkohle aus Lagerstätten unter der Erdoberfläche war als Energieträger zwar durchaus bekannt, wurde jedoch weitgehend gemieden. Erst als der Mangel an Holz in einigen Gebieten Europas zu Energieengpässen führte, begann man, die Kohlevorkommen zu erschließen. Die höhere Energiedichte der Steinkohle erwies sich außerdem als vorteilhaft bei der Stahlherstellung. Ihr Vormarsch ließ sich nicht mehr bremsen: Während um das Jahr 1800 noch 60 Prozent der Steinkohle in Haushalten für Heizzwecke diente, überwog bereits 40 Jahre später der Einsatz in Eisenhütten und in der Produktion.



Fossile Energieträger – gespeicherte Sonnenenergie

Fossile Energieträger sind konzentrierte Energieträger, die in sehr langen Zeiträumen aus tierischen oder pflanzlichen Überresten entstanden sind. Zu den fossilen Energieträgern zählen Erdöl, Erdgas, Steinkohle, Braunkohle und Torf. Die Ausgangsstoffe fossiler Energieträger konnten nur durch Umwandlung von Sonnenstrahlung über Jahrtausende entstehen. Somit sind fossile Energieträger eine Form von gespeicherter Sonnenenergie.

Chemisch gesehen basieren fossile Energieträger auf organischen Kohlenstoff-Verbindungen. Bei der Verbrennung mit Sauerstoff entsteht daher nicht nur Energie in Form von Wärme, sondern immer auch das Treibhausgas Kohlendioxid sowie weitere Verbrennungsprodukte.

Um 1530 förderten Kohlebergwerke in Großbritannien ungefähr 200 000 Tonnen, um 1750 etwa 5 Millionen Tonnen und im Jahr 1854 bereits 64 Millionen Tonnen. Hauptkohleförderländer waren neben Großbritannien die USA und Deutschland, die um das Jahr 1900 gemeinsam einen Anteil von 80 Prozent an der Weltproduktion besaßen [Köni99].



Erneuerbare Energien – gar nicht so neu

Die Vorkommen an fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas oder Kohle sind begrenzt. Sie werden in einigen Jahrzehnten verbraucht und damit einfach weg sein. Erneuerbare Energieträger „erneuern“ sich hingegen von selbst. Entzieht ein Wasserkraftwerk beispielsweise einem Fluss die Kraft des Wassers, hört dadurch der Fluss nicht auf zu fließen. Der Energiegehalt des Flusses erneuert sich von selbst, indem die Sonne Wasser verdunstet und der Regen den Fluss wieder speist.

Erneuerbare Energien werden auch als regenerative Energien oder alternative Energien bezeichnet. Andere erneuerbare Energieformen sind beispielsweise Windenergie, Biomasse, Erdwärme oder Sonnenenergie. Auch die Sonne wird in rund 4 Milliarden Jahren einmal erloschen sein. Verglichen mit den wenigen Jahrzehnten, die uns fossile Energieträger noch zur Verfügung stehen, ist dieser Zeitraum aber nahezu unendlich groß.

Übrigens werden erneuerbare Energien bereits wesentlich länger genutzt als fossile Energieträger, obwohl zwischen traditionellen und heutigen Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien technologische Quantensprünge liegen. Neu sind erneuerbare Energien deshalb dennoch nicht – nur die Erkenntnis, dass erneuerbare Energien langfristig die einzige Option für eine sichere und umweltverträgliche Energieversorgung sind.

Ende des 20. Jahrhunderts stieg die weltweite Kohleförderung schließlich auf annähernd 4 Milliarden Tonnen an. Die Kohleförderung in Deutschland und in Großbritannien hat mit einem Anteil von unter drei Prozent am Weltmarkt ihre einstige Vormachtstellung verloren. Kraftwerke zur Stromerzeugung nutzen heute einen Großteil der Kohle. Hauptförderländer sind derzeit mit deutlichem Abstand China und die USA.

1.1.2 Die Epoche des schwarzen Goldes

Wie Kohle besteht Erdöl aus Umwandlungsprodukten von tierischen und pflanzlichen Stoffen, der Biomasse der Urzeit. Über einen Zeitraum von Millionen von Jahren lagerten sich Plankton und andere Einzeller in wenig durchlüfteten Meeresbecken ab und wurden eingeschlossen. Aufgrund von Sauerstoffmangel konnten sie sich nicht zersetzen. Chemische Umwandlungsprozesse machten aus ihnen schließlich Erdöl und Erdgas. Die ursprünglich eingelagerte Biomasse hat wiederum ihren Ursprung in der Sonne, sodass die fossilen Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas nichts anderes als Langzeitkonserven der Sonnenenergie sind. Die ältesten Öllagerstätten sind etwa 350 Millionen Jahre alt. Das Gebiet um den Persischen Golf, wo heute das meiste Öl gefördert wird, lag noch vor 10 bis 15 Millionen Jahren vollständig unter dem Meeresspiegel.

Die Erschließung von Erdölvorkommen erfolgte wesentlich später als die der Steinkohlevorkommen. Heute kaum mehr vorstellbar, doch lange Zeit mangelte es an sinnvollen Anwendungen für den flüssigen Energieträger. Anfangs schmierte man Erdöl auf die Haut, um Hauterkrankungen zu heilen. Seine leichte Entzündlichkeit im Vergleich zu Stein- und Holzkohle gaben Erdöl den Ruf eines äußerst gefährlichen Brennstoffs. In kleinen Mengen wurde Erdöl bereits vor Jahrtausenden als Heil- und Beleuchtungsmittel verwendet. Die Petroleumlampe und später die Erfindung von Verbrennungsmotoren brachten Ende des 19. Jahrhunderts schließlich den Durchbruch.

Der eigentliche Beginn der industriellen Mineralölförderung war im August 1859. In diesem Jahr stieß der Amerikaner Edwin L. Drake in der Nähe von Titusville im amerikanischen Bundesstaat Pennsylvania bei einer Bohrung in etwa 20 Metern Tiefe auf Erdöl. Besonders ein Name verbindet sich mit der weiteren Erdölförderung in Amerika: John Davison Rockefeller. Er gründete 1862 im Alter von 23 Jahren eine Erdölfirma, aus der die Standard Oil und später die Exxon Corporation hervorgingen, und vereinigte große Bereiche der amerikanischen Ölwirtschaft.

Es dauerte dennoch bis ins 20. Jahrhundert hinein, bis fossile Energieträger und speziell das Erdöl den Energiemarkt beherrschten. Im Jahr 1860 wurden weltweit gerade einmal 100 000 Tonnen Öl gefördert. 1895 waren es bereits 14 Millionen Tonnen. Nach einer Gewerbestatistik des Deutschen Reichs aus dem Jahr 1895 waren 18 362 Windmotoren, 54 529 Wassermotoren, 58 530 Dampfmaschinen und 21 350 Verbrennungskraftmaschinen im Einsatz [Gas05]. Die Hälfte der Antriebsaggregate wurde selbst damals noch mit regenerativen Energieträgern betrieben.