

WACHSTUMSGRENZEN DURCH ENERGIEKNAPPHEIT ODER ENERGIENUTZUNG?

von Alfred Voß

A. ABGRENZUNG DES PROBLEMS

Im Zentrum der nachfolgenden Ausführungen wird nicht die Frage stehen, ob Energie - ihre vermeintliche Nichtverfügbarkeit und ihre enormen Preissprünge seit Beginn der siebziger Jahre - eine wesentliche Ursache der konjunkturellen und strukturellen Wachstumsprobleme der jüngsten Vergangenheit war, oder welche Rolle der Energie bei der Bewältigung der Wachstumskrise auf mittlere Frist zukommt, und welche Probleme in diesem Kontext, angesichts begrenzter Reserven an fossilen Energieträgern und der Umweltbelastung durch die Energienutzung von der Energiewirtschaft zu lösen sind, sondern es wird der mehr grundsätzlichen Frage nachgegangen, ob Energie in einer langfristigen Perspektive ein wachstumsbegrenzender Faktor für die Entwicklung des Weltsystems sein kann. In diesem Zusammenhang geht es zum einen um die Frage, ob wir für eine wachsende Weltbevölkerung ausreichend Energie für ein menschenwürdiges Leben bereitstellen können und zum anderen um die Frage, ob die unerwünschten Nebeneffekte des Energieeinsatzes, z.B. die Schadstoffbelastung der Luft, eine weitere Zunahme des Energieeinsatzes begrenzen.

Obwohl die Energiefragen im Vordergrund stehen werden, sollen diese nicht isoliert diskutiert sondern integriert werden in eine allgemeinere Diskussion der globalen, langfristigen Wachstumsproblematik. Dabei wird die These vertreten, daß die oft beschworene Erschöpfung der materiellen Ressourcen oder die begrenzte Belastbarkeit des Öko-Systems mit dem eigentlichen langfristigen Wachstums-

problem, also mit der Frage nach den Grenzen des Wachstums, nur wenig zu tun haben.

B. WACHSTUMSGRENZEN DES WELTSYSTEMS

Die Vorstellungen über die langfristige Zukunft der Menschheit werden heute von zwei grundsätzlich konträren Visionen beherrscht.

Die einen, die Neo-Malthusianer, glauben, daß die aus einer weitersteigenden Weltbevölkerung resultierenden Ernährungsprobleme sowie die durch ein weiteres Wirtschaftswachstum sich verschärfenden Umweltprobleme und die Erschöpfung der Rohstoff- und Energiereserven dieser Erde zu einer Katastrophe mit kaum vorstellbaren Folgen führen werden, wenn nicht unverzüglich drastische und weitreichende Maßnahmen zur Beendigung des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums eingeleitet werden und wir unsere zivilisatorischen Ansprüche nicht erheblich zurücknehmen.

Die anderen, die technologischen Optimisten, argumentieren, daß die Vorräte unbegrenzt sind, und daß die durch Förderung von Forschung und Wissenschaft mögliche Entwicklung neuer Techniken uns in die Lage versetzen wird, auch eine um ein Vielfaches größere Weltbevölkerung zu ernähren und mit einem materiellen Lebensstandard auszustatten, der den der westlichen Industrienationen um ein Mehrfaches übertrifft.

Der Bericht des Club of Rome "Die Grenzen des Wachstums" ist die wohl bekannteste Vision einer Wachstumskatastrophe, die bei weiterem exponentiellen Wachstum von Bevölkerung, Nahrungsmittelbedarf und Industrieproduktion infolge schwindender Rohstoffvorräte und Überbelastung der natürlichen Öko-Systeme unmittelbar bevorsteht. Nach den Untersuchungen des Club of Rome läßt sich die weltweite Katastrophe durch singuläre Maßnahmen wie z.B. die Reduzierung der Umweltverschmutzung oder durch einen schonenden Umgang mit den vorhandenen Rohstoffen nicht vermeiden, sondern nur hinausschieben. Notwendig seien vielmehr weitreichende einschneidende Maßnahmen. Nur unter der Voraussetzung einer sofort wirksam werdenden Geburtenkontrolle, eines schonenden Umgangs mit nicht rege-

nerierbaren Rohstoffen einschließlich ihrer Rezyklierung sowie einer drastischen Minderung der Umweltbelastung wäre nach den Rechnungen des Club of Rome ein Gleichgewichtszustand des Weltsystems möglich, der durch eine Bevölkerungszahl von 6,5 Milliarden Menschen (heute 4,7 Milliarden) und einem materiellen Lebensstandard gekennzeichnet wäre, der etwa 50 % über dem heutigen Welt-durchschnitt liegt. Damit wäre aber die Tragfähigkeit des Raumschiffs Erde erreicht.

Eine der pessimistischen Zukunftsbeurteilung des Clubs of Rome konträre Zukunftsvision hat der Zukunftsforscher Hermann Kahn. Seine Zukunftsprojektion geht von Weltbevölkerung von mehr als 15 Milliarden Menschen aus, deren materieller Lebensstandard mit einem Bruttoweltprodukt von 20 000 \$/Kopf in heutigen Preisen etwa fünfzehnmal höher ist als heute. Gegründet ist diese optimistische Sicht der Zukunft auf einem Glauben an eine stetig fortschreitende Weiterentwicklung der Technik, wobei, wie Kahn betont, die enormen Möglichkeiten, die sich durch eine Kolonisierung des Weltalls ergeben, in seinem Szenario noch nicht berücksichtigt worden sind.

In beiden Zukunftsvisionen, der der Propheten der Grenzen des Wachstums und der der technologischen Optimisten spielt die Verfügbarkeit von Ressourcen, sei es nun von Energie und sonstigen Rohstoffen oder der Ressource Umwelt, eine ergebnisbestimmende Rolle. Das den Aussagen der Propheten der Grenzen des Wachstums zugrundeliegende Argumentationsmuster läßt sich dabei wie folgt charakterisieren: Man geht von begrenzten Ressourcen einerseits und einer wachsenden Beanspruchung der Ressourcen durch uns Menschen andererseits aus und zeigt dann auf, daß die Leistungsfähigkeit des Ressourcenpotentials bei stetig steigenden Ansprüchen überschritten werden muß, was dann notwendigerweise den Zusammenbruch des Systems bedeutet. Aus dieser Sicht erscheint ihnen eine Zurücknahme unserer zivilisatorischen Ansprüche die einzig angemessene Handlungsweise. Die technologischen Optimisten hingegen unterstellen, daß wie in der Vergangenheit, sich die Ressourcenbasis durch technischen Fortschritt stetig erweitern wird, so daß auf absehbare Zeit Wachstumsbegrenzungen hier nicht zu erwarten sind.

Beiden Visionen ist gemeinsam, daß sie die langfristigen Wachstumsprobleme im wesentlichen in Zusammenhang mit

der Nutzung nicht erneuerbarer und/oder begrenzter Ressourcen sehen, sei es nun bezogen auf die Rohstoffe, die wir zur Befriedigung der Grundbedürfnisse und für die Bereitstellung zivilisatorischer Annehmlichkeiten nutzen oder in bezug auf die Belastbarkeit der Natur. Dies ist aber eine zu vereinfachte und zu enge Sicht der Wachstumsproblematik, die an dem eigentlichen Problem vorbeigeht. Zwar gibt es ohne Zweifel unvermehrte Ressourcen, mit deren Erschöpfung wir rechnen müssen. Ebenso wenig kann aber bezweifelt werden, daß es auch vermehrbare, immaterielle Ressourcen gibt, die es uns erlauben, erschöpfbare und begrenzte Ressourcen zu erschließen. Wissen und Information gehören dazu. Sie erlauben uns die Verfügbarmachung von Schöpfungsenergie, wie Knizia formuliert hat, als eine der Grundvoraussetzungen, um zivilisatorische Ordnungszustände materieller und immaterieller Art zu erhalten und aufzubauen. Hierauf wird später noch ausführlicher einzugehen sein. Zuvor soll aber zunächst einmal die Frage nach der Verfügbarkeit von Ressourcen für die menschliche Zivilisation, und in diesem Zusammenhang die besondere Bedeutung des Rohstoffs Energie, eingehender diskutiert werden.

C. ENERGIE, EINE SPEZIELLE RESSOURCE

Im Zusammenhang mit der hier zu diskutierenden Frage nach der Energie als möglichem wachstumsbegrenzenden Faktor, sind zunächst einmal zwei Fragenkomplexe zu unterscheiden, nämlich

- 1) ob nach dem heutigen sowie zukünftig absehbaren Stand von Wissenschaft und Technik ausreichend Energie bereitgestellt werden kann, um eine steigende Weltbevölkerung zu ernähren und mit einem gewissen materiellen Wohlstand auszustatten und
- 2) ob die negativen Nebeneffekte einer steigenden Energienutzung zu einer Zerstörung der natürlichen Lebensgrundlagen, durch eine übermäßige Inanspruchnahme der Ressource Umwelt führen muß.

Bei der Beantwortung der ersten Frage ist dabei darauf einzugehen, wie denn der weltweite Energieeinsatz sich entwickeln kann und welche Energieressourcen denn der Menschheit zur Verfügung stehen.

Die Mengen und Arten an Energie, die den Menschen zur Verfügung standen, haben ihre Lebensweise ganz entscheidend geprägt. Je mehr Energie sie sich nutzbar machen konnten, desto größer waren ihre Leistungen und ihr Wohlstand. Die Verfügbarmachung neuer Energiequellen war eine der Voraussetzungen zur Realisierung einer neuen, höheren Zivilisationsstufe. Die Nutzbarmachung des Feuers führte zu einer Erweiterung der Nahrungsbasis und die Nutzung der Windenergie ermöglichte den Aufbau eines Tauschhandels zwischen den Kontinenten. Die erste industrielle Revolution, die man allgemein in einem ursächlichen Zusammenhang mit der Erfindung der Dampfmaschine bringt, wäre ohne die Nutzbarmachung der Kohle ebensowenig möglich gewesen, wie die durch die Erfindung des Verbrennungsmotors möglich gewordene mobile Gesellschaft, die an die Erschließung des Erdöls als Energieträger gebunden war und ist. Ohne auf Einzelheiten hier näher einzugehen, kann es vor diesem Hintergrund nicht verwundern, daß der Weltenergieverbrauch wesentlich stärker gewachsen ist als die Bevölkerung. So hat in den letzten hundert Jahren der weltweite Energieverbrauch von weniger als 1 Mrd. tSKE/a auf heute rd. 10 Mrd. tSKE/a zugenommen. An der Deckung dieses Verbrauchs hat dabei das Mineralöl einen Anteil von 40 %, die Kohle von 28 %, das Erdgas von 19 %, und den Rest teilen sich die Kernenergie, die Wasserkraft und die sonstigen Energieträger.

Ob der weltweite Energieverbrauch auch in Zukunft wie in der Vergangenheit weiter wachsen wird, oder allgemeiner gesprochen, wie die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs aussehen wird, ist heute nicht vorhersehbar. Die Prognosen weisen erhebliche Differenzen auf. Es kann hier nicht auf die Ursachen der bestehenden Prognoseunsicherheit näher eingegangen werden. Sie hängt aber nicht zu einem unerheblichen Teil damit zusammen, daß wir über die Bestimmungsfaktoren dessen, was wir im allgemeinen Sprachgebrauch Energiebedarf oder Energieverbrauch nennen, heute nur eine völlig unzureichende Kenntnis haben. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß wir Energie ja gar nicht verbrauchen, denn es gilt ja der Energieer-

haltungssatz der Thermodynamik und daß wir ja im eigentlichen Sinn des Wortes keinen Bedarf an Strom, Steinkohle, Benzin oder noch allgemeiner ausgedrückt an Energie (sieht man einmal von der Ernährung ab) haben, sondern wir haben einen Bedarf an Licht, Mobilität, wohltemperierten Räumen und an Produkten sowie Dienstleistungen, für deren Erzeugung und Bereitstellung ein mehr oder weniger großer Energieträgereinsatz notwendig ist. In diesem Sinne ist die Energie, oder genauer gesagt, die mit ihrer Nutzung verbundene Arbeitsfähigkeit, ein Produktionsfaktor, der in einem Substitutionswettbewerb mit anderen Produktionsfaktoren steht. Seien es nun die in der ökonomischen Produktionstheorie verwendeten Produktionsfaktoren Kapital und Arbeit oder andere wie Wissen, Information, Materie, Zeit oder Kreativität, die verschiedentlich als die wirklichen primären Produktionsfaktoren bezeichnet werden. Hierauf wird später noch einmal zurückzukommen sein. Hier sei diese Problematik nur angesprochen, um zu verdeutlichen, daß die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen der Energienachfrage und ihren Determinanten heute noch keineswegs verstanden und geklärt sind, was natürlich Aussagen über die zukünftige Entwicklung der weltweiten Energieträgernachfrage nicht gerade erleichtert.

Trotz dieser Einschränkungen bezüglich der Prognostizierbarkeit der Entwicklung der weltweiten Energienachfrage sollen im folgenden einige weitergehende Überlegungen zur Energienachfrage angestellt werden, die als grobe Orientierungen für die hier anstehende Frage nach der Energieverbrauchsentwicklung dienen können. Es ist bereits angemerkt worden, daß Energieverbrauch kein Selbstzweck ist, sondern daß er der Erzeugung von Nahrung, der Bereitstellung einer Fülle von Produkten und Dienstleistungen sowie der Verbesserung der natürlichen Umweltbedingungen dient. Die hierzu einzusetzende Energiemenge ist somit in erster Näherung abhängig von der Art und Menge der Nahrungsmittel, Güter und Dienstleistungen sowie dem Umfang der Umweltgestaltung. Verkürzt gesagt, sie ist abhängig von der Bevölkerungszahl und ihrem materiellen Lebensstandard. Darüberhinaus wird sie natürlich noch mitgeprägt durch den spezifischen Aufwand an Energie für die Bereitstellung einer Nahrungs- oder Produkteinheit, wobei letzterer wiederum von dem Energieaufwand für

die Gewinnung und Verarbeitung der Rohstoffe beeinflusst wird.

Die meisten nicht organischen Rohstoffe, die die Menschheit heute nutzt, finden wir in der Erdkruste in mehr oder weniger fein verteilter sowie meist in oxydierter Form, also in einem Zustand hoher Entropie vor. Mit Reserven bezeichnet man gemeinhin solche Rohstofflagerstätten, die eine hohe Konzentration des zu gewinnenden Rohstoffs aufweisen. Wie aus Tab. 1 ersichtlich, sind die Reserven wichtiger metallischer Rohstoffe durchaus begrenzt. So würden z.B. die Ressourcen an Eisenerzen bei konstanter Produktion noch für rd. 200 Jahre reichen. Wenn es nun aber gelänge, die Lagerstätten mit niedriger Konzentration, die sog. Ressourcen, zu erschließen, dann stehen uns, selbst wenn man die Möglichkeiten der Rohstofffrezyklisierung einmal außer acht läßt, praktisch unerschöpfliche Rohstoffressourcen zur Verfügung (siehe Tab. 1). Nun ist es aber so, daß mit abnehmender Lagerstättenkonzentration der Aufwand, d.h. auch der Energieaufwand für die Gewinnung der Rohstoffe steigt, wobei allerdings der gesamte Energieaufwand für die Verfügbarmachung metallischer Rohstoffe auch wesentlich vom Verhüttungsprozeß bestimmt wird. Für jeden einzelnen Rohstoff ergibt sich somit eine unterschiedliche funktionale Abhängigkeit des notwendigen Gesamtenergieaufwandes von der Lagerstättenkonzentration. Beim Aluminium z.B. bedeutet eine Verschlechterung der Lagerstättenkonzentration um den Faktor vier eine Zunahme beim Energieaufwand um 50 %, während der Energieaufwand beim Kupfer um 250 % steigen würde. Unabhängig von diesen rohstoffspezifischen Gegebenheiten läßt sich aber aus dem zuvor beschriebenen Sachverhalt die Schlußfolgerung ableiten, daß die Erschöpfung der mineralischen Rohstoffreserven dann keine Katastrophe darstellt, wenn es uns gelingt, ausreichende Energie für die Rohstoffgewinnung aus Niedrigkonzentrationslagerstätten bereitzustellen. Darüberhinaus besteht natürlich noch die Möglichkeit, durch die Rezyklisierung von Grundstoffen, z.B. Metallen, einen Beitrag zur Sicherung der Rohstoffversorgung zu leisten, wobei auch dies einen Einsatz von Energie erfordert.

Ein erstes Zwischenfazit in bezug auf die zukünftige Entwicklung des weltweiten Energieverbrauchs läßt sich folgendermaßen ziehen. Eine aus einer Zunahme der Weltbe-

völkerung und der industriellen Produktion resultierende steigende Inanspruchnahme der Rohstoffvorräte der Erde wird infolge des Übergangs auf Niedrigkonzentrationslagerstätten tendenziell zu einem überproportional wachsenden Energieeinsatz für die Rohstoffbereitstellung führen. Die Verfügbarkeit von mineralischen Rohstoffen wird dann kein das Wachstum des Weltsystems begrenzender Faktor sein, wenn ausreichend Energie zur Verfügung steht.

Wenden wir uns nun dem Ernährungsproblem zu. 10 % der Weltbevölkerung, dies sind fast 500 Mio. Menschen, leiden heute an akuter Unterernährung. Trotz der landwirtschaftlichen Überproduktion in einigen Industrieländern steigt allein wegen der Zunahme der Weltbevölkerung in den nächsten Jahrzehnten der Bedarf an Nahrungsmitteln erheblich an. Im Prinzip läßt sich die Nahrungsmittelproduktion durch eine Vielzahl von Maßnahmen wie die Nutzbarmachung neuer Anbauflächen, die Züchtung neuer leistungsfähiger Pflanzensorten, die Verbesserung der Anbaumethoden, die künstliche Bewässerung, die Beseitigung eines Nährstoffmangels durch Düngung sowie durch die Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten durch Herbizide, Insektizide und Pestizide erhöhen. Die meisten dieser Maßnahmen sind aber mit einem zusätzlichen Aufwand an Energie verbunden. Vergleicht man den Energieaufwand zur Erzeugung von einem kg Protein einer intensiven, mechanisierten Landwirtschaft mit dem einer wenig mechanisierten Landwirtschaft, wie wir sie heute in vielen Entwicklungsländern vorfinden, so ist er etwa dreimal höher. Eine Steigerung der Nahrungsmittelproduktion durch künstliche Bewässerung erfordert je nach den örtlichen Gegebenheiten z.B. der Verfügbarkeit von Grund-, Oberflächenwasser oder Meerwasser, welches zuvor zu entsalzen wäre, erhebliche zusätzliche Energieaufwendungen. Ohne auf weitere Details hier einzugehen, läßt sich auch im Zusammenhang mit der Ernährungsproblematik feststellen, daß der weltweit wachsende Nahrungsmittelbedarf tendenziell zu einer überproportional wachsenden Energienachfrage führen wird, und daß das Ernährungsproblem im Prinzip lösbar ist, wenn wir ausreichende Energie bereitstellen können.

Versucht man vor dem Hintergrund der zuvor dargestellten Zusammenhänge eine Aussage zur künftigen Entwicklung der weltweiten Energienachfrage zu machen, so muß sie etwa wie folgt lauten. In Anbetracht der zu erwartenden

Zunahme der Weltbevölkerung auf acht oder mehr Milliarden Menschen, sowie zur Sicherung der für diese Weltbevölkerung notwendigen Ernährungs- und Rohstoffversorgung, müssen wir uns darauf einstellen, daß der weltweite Energieverbrauch langfristig erheblich, d.h. um einen Faktor 3 bis 5 zunehmen kann. Wenn wir also von einem wachsenden Energieeinsatz auszugehen haben, dann gewinnt natürlich die Frage nach verfügbaren Energievorräten eine besondere Bedeutung.

Die Energiequellen, die uns im Prinzip zur Verfügung stehen, kann man einteilen in die erschöpflichen Energievorräte und die quasi unerschöpflichen Energieströme, die von der Sonne bzw. der Erdwärme gespeist werden. Zu den erschöpflichen Energievorräten zählen die fossilen und nuklearen Energieträger. Tab. 2 gibt einen Überblick über die nach heutiger Kenntnis gewinnbaren fossilen Energiemengen. Die mit heutiger Technologie wirtschaftlich gewinnbaren und nachgewiesenen Mengen an fossiler Energie betragen rd. 100 Mrd. tSKE. Dies ist etwa hundertmal mehr als der gegenwärtige weltweite Verbrauch an Energie. Zählt man zu den nachgewiesenen Reserven noch die zusätzlichen Ressourcen hinzu, so würden allein die Vorräte der fossilen Energieträger ausreichen, um den gegenwärtigen Weltenergieverbrauch für tausend Jahre zu decken.

Das Energiepotential der nuklearen Brennstoffe Uran und Thorium hängt sehr stark davon ab, in welchem Typ von nuklearem Spaltungsreaktor diese Brennstoffe eingesetzt werden. Würde man die heute bekannten und vermuteten Uranreserven nur mittels der heute gängigen Leichtwasserreaktoren nutzen, so wäre ihr Energiepotential nicht größer als das der Erdölreserven. Die Umwandlung derselben Uranmenge in sog. Brutreaktoren würde aber ein Energiepotential erschließen, das dem der gesamten fossilen Energievorräte entspricht, ohne daß dabei eine Nutzung von Uranvorkommen mit niedrigen Konzentrationen berücksichtigt ist. Das Potential der zweiten nuklearen Energiequelle, der Kernfusion, ist mindestens um einen Faktor drei größer anzusetzen als das der Kernspaltung. Es erscheint damit gerechtfertigt davon zu sprechen, daß allein mit den fossilen und nuklearen Energievorräten uns Energiemengen zur Verfügung stehen, die auch einen wachsenden Energieverbrauch auf lange Zeit decken könnten. Für die hier zur Diskussion stehenden Zeiträume, kann man

sie als quantitativ, praktisch nicht begrenzte Energievorräte betrachten.

Das theoretische Potential der unerschöpflichen oder regenerativen Energieströme, wie der Wasserkraft, der Wind- und Wellenenergie, der Erdwärme und der solaren Strahlungsenergie, ist etwa 20.000 mal größer als der gegenwärtige weltweite Energieverbrauch. Selbst wenn man bedenkt, daß von diesem Potential nur ein Bruchteil technisch nutzbar sein wird, so stellen diese regenerativen Energieströme dennoch eine gewaltige Energiequelle dar, die uns im Prinzip zur Nutzung zur Verfügung steht.

Diese zugegebenermaßen etwas vereinfachende Betrachtung der Energiequellen der Menschheit, macht deutlich, daß Energie im eigentlichen Sinne des Wortes nicht knapp ist, sondern daß uns mit den fossilen und nuklearen Energievorräten sowie mit den regenerativen Energieströmen ressourcenseitig praktisch unerschöpfliche Energiemengen zur Verfügung stehen, die auch einen erheblich steigenden Energieverbrauch befriedigen können. Das gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, daß wir auch die entsprechenden Techniken zur Nutzung dieser Energiequellen entwickeln und verfügbar machen können.

Basierend auf diesen vornehmlich quantitativen d.h. mengenmäßigen Betrachtungen zum Energieverbrauch, seiner Entwicklung und zu den verfügbaren Energiepotentialen läßt sich die Feststellung treffen, daß die Energie kein begrenzender Faktor für ein Wachstum des Weltsystems sein muß, sondern daß uns im Prinzip ausreichende Energiequellen zur Verfügung stehen, mit deren Hilfe auch die Ernährungs- und Rohstoffprobleme gelöst werden können. Die Frage, die sich nun natürlich aufdrängt ist, ob bei einem mehrfach höheren Energieverbrauch als heute dann aber nicht die unerwünschten Nebeneffekte der Energienutzung, z.B. die Belastung der Umwelt und Natur so zunehmen, daß von dieser Seite Wachstumsgrenzen manifest werden.

D. UMWELTBELASTUNG DURCH ENERGIENUTZUNG

In weiten Teilen der wohlhabenden Industriegesellschaften besteht heute die Besorgnis, daß wir unsere zivilisatorischen Annehmlichkeiten mit einer Belastung unserer Umwelt

und der Natur erkaufte haben, die so groß geworden ist, daß wir Gefahr laufen, unsere natürlichen Lebensgrundlagen zu zerstören. Dabei ist es, zumindest im Bereich der Luftverschmutzung so, daß der überwiegende Teil der Luftbelastung aus Emissionen im Zusammenhang mit der Energienutzung resultiert und es kann kein Zweifel bestehen, daß wir es hier mit einem ernststen und dringenden Problem zu tun haben. In diesem Zusammenhang darf aber nicht unerwähnt bleiben, daß die mangels Verfügbarkeit anderer Energieträger in den Ländern der Dritten Welt stattfindende Nutzung des Brennholzes als wesentliche Energiequelle und die damit verbundene Abholzung der Waldbestände ein Umweltproblem darstellt, das das in den Industrieländern bei weitem übertrifft. Die Lösung dieses Problems kann nur durch die Bereitstellung anderer Energieträger, die ja im Prinzip ausreichend vorhanden sind, wie wir im vorangegangenen Kapitel erläutert haben, erfolgen.

Aber auch die Umweltprobleme im Zusammenhang mit der Energienutzung, denen wir uns in den Industriestaaten gegenübersehen, stellen keine technischen Ausweglosigkeiten dar, die, wie oft behauptet wird, nur durch eine Rücknahme des Energieverbrauchs zu lösen sind.

Im Kontext der hier zur Diskussion stehenden grundsätzlichen Fragen von Energienutzung und Umweltgefährdung scheint es mir notwendig zu differenzieren zwischen Umweltbelastungen, die durch technischen Maßnahmen vermeidbar oder auf ein verträgliches Maß zu reduzieren sind und solchen, die im Zusammenhang mit der Energienutzung nicht vermeidbar sind, weil die Schadstoffe Endprodukte der Energieumsetzung sind. Zu der ersten Kategorie zählen alle die Schadstoffe, wie das Schwefeldioxid, der Staub, die Stickoxide oder die Kohlenwasserstoffe, die heute im Mittelpunkt der Umweltdiskussion stehen. Sie alle sind durch technische Maßnahmen z.B. Entschwefelungs- und Entstickungsanlagen auf ein umweltverträgliches Maß reduzierbar und sollen deshalb im folgenden nicht weiter betrachtet werden.

Zu den unvermeidbaren, aber auch unerwünschten Nebeneffekten der Energienutzung, die für die hier anzustellenden grundsätzlichen Betrachtungen von Bedeutung sind, zählen das Kohlendioxid als Endprodukt jeder Verbrennung fossiler Energieträger, die Radioaktivität der bei der Kernspaltung entstehenden Spaltprodukte und die Abwärme.

Sie sollen im folgenden ein wenig genauer betrachtet werden.

Die gesamte Energie aus fossilen und nuklearen Quellen, die wir nutzen, wird letztlich als Abwärme an die Umgebung abgegeben und als langwellige Strahlung über die Atmosphäre abgestrahlt. Der anthropogene Energieumsatz belastet somit den Wärmehaushalt der Erde. Diese zusätzliche Belastung beträgt heute etwa 0,005 % der natürlichen Energieströme des Wärmehaushalts der Erde. Dies heißt, daß selbst bei einer Verhundertfachung des Weltenergieverbrauchs, der anthropogene Energieeintrag immer noch kleiner als 1 % der natürlichen Energieströme wäre. Er wäre damit auch immer noch kleiner als die Einflüsse natürlicher Klimaschwankungen auf den Wärmehaushalt der Erde. Diese Zahlen verdeutlichen, daß auch bei weiter steigendem Energieverbrauch globale Abwärmeprobleme nicht zu erwarten sind.

Das zentrale Problem im Zusammenhang mit der bei der Kernspaltung entstehenden radioaktiven Abfallprodukte ist ihre sichere Lagerung. Die meisten künstlich erzeugten radioaktiven Stoffe verlieren durch natürlichen Zerfall in einem Zeitraum von 500 Jahren ihre Gefährlichkeit. Durch die im Rahmen der Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente erfolgende Abtrennung des Plutoniums kann die Zeit, in der die Gesamtaktivität der zu entsorgenden nuklearen Abfallstoffe größer ist als die natürliche Radioaktivität des zur Herstellung der Brennelemente verwendeten Natururans auf weniger als 1000 a verkürzt werden. Benutzt man das natürliche Radioaktivitätsniveau des aus der Erdkruste entnommenen Urans als einen Orientierungsmaßstab, so bedeutet dies, daß wir die künstlich erzeugten Spaltprodukte für einen Zeitraum von etwa 1000 Jahren sicher aufbewahren müssen, ehe sie wieder das Aktivitätsniveau des natürlichen Ausgangsstoffes erreicht haben. Für unsere menschlichen Zeitvorstellungen sind tausend Jahre sicher ein gewaltiger Zeitraum, in geologischen Zeiträumen gemessen, sind sie jedoch vergleichsweise klein und überschaubar.

Nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens und der Technik sind Verfahren der Endlagerung nuklearen Abfalls verfügbar oder in der Entwicklung, die einen sicheren Einschluß der radioaktiven Stoffe für weit längere Zeiträume gewährleisten. Damit wäre im Hinblick auf die noch fol-

genden Generationen, die wohl wesentlichste Bedingung für eine verantwortbare Nutzung der Kernspaltungsenergie erfüllt.

Kohlendioxid ist das unvermeidbare Endprodukt der Verbrennung fossiler Energieträger zur Nutzung ihrer chemischen Energie. Das so erzeugte Kohlendioxid tritt über die Atmosphäre in den natürlichen Kohlenstoffkreislauf der Erde ein, der zwischen der Biosphäre, Atmosphäre und den Ozeanen besteht. Die mit der anthropogenen Kohlendioxidfreisetzung verbundene Erhöhung des CO_2 -Gehalts in der Atmosphäre hemmt die Abstrahlung langwelliger Strahlung und führt damit über den sog. Treibhaus-Effekt zu einem Temperaturanstieg in den unteren Schichten der Atmosphäre. Es muß wohl heute als gesichert angesehen werden, daß eine Zunahme der Temperatur der Atmosphäre zu einer Veränderung des globalen und regionalen Klimas führt, wobei je nach der Höhe der Temperaturveränderung weitreichende Folgen, wie die Veränderung und geographische Verschiebung von Vegetationszonen mit heute kaum absehbaren Folgen für die Nahrungsmittelproduktion zu erwarten sind. Obwohl die genauen Auswirkungen einer CO_2 -Erhöhung in der Atmosphäre heute noch nicht berechenbar sind, muß man davon ausgehen, daß das Kohlendioxidproblem eine Grenze für die Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern darstellt, wobei sich allerdings der Grenzwert für die Höhe einer klimaverträglichen Verbrennung fossiler Energieträger heute noch nicht angeben läßt.

Trotz dieser möglichen klimatisch bedingten Grenze für die Nutzung fossiler Energie - deren Wirksamwerden sich durch den Übergang auf andere Energieträger vermeiden läßt - läßt sich aus der Diskussion der unvermeidbaren Nebeneffekte der Nutzung der uns zur Verfügung stehenden Energievorräte ableiten, daß eine weitere Zunahme des Energieverbrauchs, in der zuvor diskutierten Größenordnung, durch die begrenzte Belastbarkeit der Natur und Umwelt nicht limitiert sein muß.

E. WISSEN UND ENERGIE - DIE WESENTLICHEN RESSOURCEN

Die bisherigen Ausführungen haben deutlich gemacht, daß die von den Malthusianern vertretene Auffassung, daß die Begrenztheit der natürlichen Ressourcen sowie die Belastbarkeit der Umwelt ein weiteres Wachstum des Weltsystems nicht zulassen, und daß unverzüglich drastische Maßnahmen zur Reduktion des industriellen Wachstums und des Bevölkerungswachstums sowie zur Begrenzung zivilisatorischer Dienstleistungen eingeleitet werden müssen, um eine weltweite Katastrophe zu vermeiden, nicht haltbar ist. Uns stehen praktisch nicht erschöpfbare Energievorräte zur Verfügung, die einen weitersteigenden Verbrauch befriedigen können. Damit ist auch eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Ausweitung und Sicherung der Rohstoff- und Nahrungsmittelversorgung gegeben. Und auch die Umweltbelastung kann im einem für die Natur verträglichen Rahmen gehalten werden.

Mit dieser Feststellung wird dennoch nicht die Auffassung der technologischen Optimisten geteilt, daß die Grenzen des Wachstums nicht existent sind, weil die erschöpfbaren Ressourcen so groß sind und die Ressourcenbasis mit fortschreitender Technik ständig erweitert wird. Denn die eigentlichen Grenzen des Wachstums sind woanders zu finden, außer des zu engen, nur auf die begrenzten Ressourcen berichteten Betrachtungshorizonts der Malthusianer und der technologischen Optimisten.

Um Güter und zivilisatorische Dienstleistungen bereitzustellen und um natürliche Ökosysteme nicht überzubeanspruchen oder noch allgemeiner ausgedrückt, um materielle, geistige und kulturelle Leistungen oder Ordnungszustände zu erhalten und aufzubauen, muß wie Knizia es formuliert hat "dem Einzelnen wie Gemeinschaften etwas zugeführt werden, was dieses nicht selbst geschehende Aufbauen oder Erhalten von Ordnungen ermöglicht, was die Entropiezunahme oder die Desorganisatin in abgegrenzten Systemen aufhält oder rückgängig macht".

Die Ökonomie betrachtet bisher die Produktionsfaktoren Kapital, Arbeit und Boden als das was einzusetzen ist, um Güter und Dienstleistungen, oder im weiteren Sinne Ordnungen zu schaffen. Es erscheint aber fraglich, ob dies die eigentlichen primären Produktionsfaktoren sind, die in den hier angedeuteten Sinn zivilisatorische Ordnungen schaffen.

Ausgehend von einer Verallgemeinerung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, der besagt, daß in einem geschlossenen System die Entropie nur dann abnehmen kann, oder im Sinne dieser Betrachtungen Ordnung zunehmen kann, wenn Energie zugeführt wird, ist es wohl die Energie, oder genauer, die mit ihr verbundene Arbeitsfähigkeit, die einzusetzen ist, um zivilisatorische Ordnungen zu schaffen.

Arbeitsfähigkeit allein ist aber nicht ausreichend, sondern sie muß ergänzt werden durch die Fähigkeit, die Energie sinnvoll und zielgerichtet einzusetzen. Information und Wissen sind vielleicht die beiden Begriffe, die die zweite Ressource umschreiben, die eingesetzt werden muß, um materielle und immaterielle Leistungen und Ordnungen zu erbringen.

Wissen und Information sind ihrer Qualität nach wohl begrenzte, aber keine erschöpfbaren Ressourcen. Im Gegenteil, sie sind vermehrbar und der Mensch selbst, seine Kreativität und sein Forschungsdrang, ist die Quelle, daß diese Ressource "Wissen" nicht beliebig schnell vermehrbar und erweiterbar ist. Und hierin liegt wohl die eigentliche Grenze des Wachstums.

Dies aber heißt, bezogen auf die Frage nach den Wachstumsgrenzen des Weltsystems, daß die zentrale Herausforderung, der wir uns gegenübersehen darin besteht, ob wir unser Wissen, unser geistiges Potential so schnell ausweiten und vermehren können, daß wir die im Prinzip vorhandenen Energiequellen und Rohstoffe auch einer wachsenden Weltbevölkerung zugänglich machen können und daß wir diejenigen Maßnahmen zum Schutz der Umwelt und Natur rechtzeitig und im nötigen Umfang einleiten, bevor die Belastbarkeit überschritten ist.

Energie, d.h. die mit ihr verbundene Arbeitsfähigkeit, und Wissen sind die wesentlichen Schlüssel zum Wachstum der Grenzen, um die scheinbaren Grenzen des Wachstums, wie sie die Malthusianer sehen, zu überwinden.

Die vor uns liegende Herausforderung zu meistern wird aber nur möglich sein, wenn wir die Vorstellung von den nahen Grenzen des Wachstums nicht zur Richtschnur unseres Handelns machen, sondern wenn wir uns verantwortlich von der Vorstellung der erweiterbaren Horizonte leiten lassen und wenn wir erkennen, wie Carl Friedrich von Weizäcker es ausgedrückt hat, daß "alle Gefahren, die wir vor uns

sehen, keine technischen Ausweglosigkeiten, sondern eher umgekehrt die Unfähigkeit unserer Kultur ist, mit den Geschenken ihrer eigenen Erfindungskraft vernünftig unzugehen“.

LITERATUR

MEADOWS, D. et al., The Limits of Growth, Universe Books, 1972.

KNIZIA, K., Innovationen und das Zusammenspiel zwischen Technik und Wissenschaft, Vortrag vor der Gesellschaft der Freunde der Universität Dortmund, 1983.

GLOBAL 2000, Der Bericht an den Präsidenten, Zweitausendeins, 1980.

ANHANG

Tabelle 1: Weltproduktion, Reserven und Ressourcenbasis ausgewählter mineralischer Rohstoffe

	Produktion	Reserven	Ressourcenbasis (Erdrinde)
	Mio. t	Mio. t	103 Mio. t
Eisen	495	93 100	1 392 000 000
Aluminium	17	5 200	1 990 000 000
Kupfer	8	456	1 510 000
Chrom	3	780	2 600 000
Mangan	10	2 200	31 200 000
Nickel	0,7	54	2 130 000

Quelle: Global 2000

Tabelle 2: Fossile Reserven und Ressourcen

	Nachgewiesene Gewinnbare Reserven		Zusätzliche Ressourcen	
	Mrd. t SKE	%	Mrd. t SKE	%
Steinkohlen	599	57,0	9 150 ¹⁾	82,0
Braunkohlen	88	8,5	848 ¹⁾	7,0
Torf	6	0,5	100 ¹⁾	1,0
Erdöl (Konv.)	127	12,0	305 ¹⁾	3,0
Ölsande	58	6,0	110 ²⁾	1,0
Ölschiefer	66	6,5	420 ²⁾	4,0
Erdgas	99	9,5	260 ²⁾	2,0
Fossile Energieträger	1 043	100,0	11 193	100,0

1) Institut

2) Gewinnbar