

Döpel, Robert :

***Über die geophysikalische Schranke der industriellen
Energieerzeugung***

Zuerst erschienen in:

Wissenschaftliche Zeitschrift // Technische Hochschule Ilmenau. -
Ilmenau : Techn. Hochschule. - Bd. 19 (1973), 2, S. 37-52

ROBERT DÖPEL

Über die geophysikalische Schranke der industriellen Energieerzeugung

DK 620.91/2:550.35/6

1. Steigerung der Produktion und globale Energievorräte
2. Notwendige und hinreichende Bedingungen der permanenten Produktionssteigerung
3. Geophysikalisches Modell des Energieaustausches zwischen Erde und Kosmos
4. Globaler Temperaturanstieg als Folge einer ständig wachsenden industriellen Energieerzeugung
5. Eventuelle Beeinflussung des Temperaturanstieges durch Sekundärprozesse oder technische Eingriffe
6. Perspektiven
7. Zusammenfassung

1. Steigerung der Produktion und globale Energievorräte

Eines der markantesten Kennzeichen unserer Zeit ist die ständige Steigerung der materiellen Produktion und Konsumtion in allen industriell entwickelten Ländern. Diese Erscheinung wird gelegentlich geradezu als Ausdruck einer biologischen Gesetzmäßigkeit betrachtet: Jedem Organismus ist die Tendenz zum Wachstum naturnotwendig immanent, und tatsächlich wird zunächst wohl fast jeder die gesunde Vitalität dieses Prozesses als etwas Anerkennenswertes begrüßen. Vom Gesichtspunkt bestimmter Gestaltungsabsichten wird man diese Frage freilich weniger naiv beurteilen. Jeder Gärtner weiß, daß nicht jedes „gesunde Wachstum“ seiner Kulturabsicht förderlich ist. Ursprünglich diente jede Produktion der Befriedigung biologisch unabdingbarer Bedürfnisse. Heute scheint sich diese Beziehung in manchen Ländern allmählich umzukehren. In kapitalistischen Ländern hat sich in krassen Fällen der Produktion von Konsumgütern heute bereits folgende Reihenfolge herausgebildet: Erarbeitung einer besonders zugkräftigen Reklame in speziellen Reklameinstituten, Herstellung eines zu dieser Reklame passenden Konsumtionsproduktes in einem industriellen Unternehmen, das sich jene Reklame gekauft hat, und schließlich bewußte Entfachung des für den Verkauf des Produktes erforderlichen Konsumtionsbedürfnisses.

Wenn es sich dann dabei sogar noch um Produkte handelt, die sowohl für das Individuum als auch für die Gesellschaft schädlich sind, dann wird kein vernünftiger Mensch einer unkontrollierten, unbegrenzten Steigerung der industriellen Produktion das Wort reden wollen.

Weitere Bedenken gegen eine unbegrenzte Steigerung der industriellen Produktion könnten sich mit noch stärkerer Objektivität aus der Frage nach den verfügbaren Energievorräten ergeben. Wenn man dabei allgemeine Gesetzmäßigkeiten erkennen will, wird es notwendig sein, sich nicht an die für eine solide Buchhaltung erforderliche Genauigkeit zu binden. Man kann dann ohne wesentlichen Fehler sagen, daß die Erhöhung der industriellen Produktion eine Erhöhung des Energieaufwandes erfordert, dessen Prozentsatz dem der Produktionssteigerung ungefähr gleich kommt, und kann dann leicht überblicken, wie lange die vorhandenen und verfügbaren Energievorräte jenen ständig gesteigerten Energieaufwand ermöglichen.

Von der großen Zahl der vorhandenen Energiequellen sind für unser Problem nur einige von Interesse. Der gewaltigen von der Sonne auf die Erdoberfläche eingestrahlten Leistung fehlt die für die energiewirtschaftliche Ausnutzung erforderliche Flächendichte; das gleiche gilt von den Energien der bewegten Luft- und Meerwassermassen. Die potentiellen Energien der Wasserstauwerke haben zwar große lokale Bedeutung, aber auch die Gesamtleistung aller überhaupt verfügbaren Energiequellen dieser Art würden nur wenige Prozent des z. Z. bereits erforderlichen Weltbedarfes befriedigen können. Ausschlaggebend sind z. Z. nur die in langen geologischen Epochen akkumulierten Vorräte an Kohle, Erdöl und Erdgas, von denen aus energieökonomischen Gründen allerdings nur etwa die Hälfte ausnutzbar ist. Je nach dem Anstieg des Energieverbrauches würden diese Vorräte zwischen den Jahren 2100 und 2200 zu Ende gehen [1]. Das hat aber nur vorübergehend zu pessimistischen Beurteilungen der Energiesituation geführt; denn im Jahre 1939 entdeckten *O. Hahn* und *F. Straßmann* die neutroneninduzierte Uranspaltung, bei der die pro Kernprozeß freierwerdende Energie den Bereich der chemischen Energien um viele Größenordnungen überschreitet; da bei diesem Prozeß gleichzeitig wieder Neutronen frei werden, so ergab sich daraus eine allerdings vage Hoffnung auf die Möglichkeit eines Kernkettenprozesses für technische Energieerzeugung. Etwa drei Jahre danach konnte in Deutschland der experimentelle Beweis für die Erfüllbarkeit jener Hoffnung tatsächlich erbracht werden [3] und kurz danach auch in Amerika [4]. Die hierauf begründete Uran-Reaktor-Technik hat in den darauffolgenden Jahren eine sehr breite effektive Entwicklung erfahren. Die Schätzungen der verwendbaren „Kern-Brennstoffe“ lassen sich natürlich nur ungefähr durchführen; nach der niedrigsten Schätzung beträgt der Energievorrat der spaltbaren Kerne etwa das Dreißigfache der gegenwärtigen Vorräte an Kohle, Erdöl und Erdgas. Das bedeutet, daß die Frist, die durch den Verbrauch der letzteren gesetzt wird, durch Verwendung der Kernenergie weiterhin um etwa ein Jahrhundert verlängert werden kann. Bekanntlich wird nicht nur bei der Spaltung schwerer Kerne Energie frei, sondern ebenso bei der Fusion von leichten Kernen. Solche Kernprozesse (z. B. die Deuterium-Reaktion $D^2 + D^2 \rightarrow H^3 + H^1$) waren mikrophysikalisch sogar bereits vor der Kernspaltung bekannt [5]. Ihre makroskopische Intensivierung für den Zweck der Energiegewinnung im technischen Ausmaß ist freilich bis jetzt noch ein Problem. Indessen kann man wohl mit großer Wahrscheinlichkeit erwarten, daß die durch die weiter oben angeführten Energievorräte gegebene Frist von mehreren hundert Jahren ausreicht, um auch diese Energiequellen im technischen Sinn zu erschließen. Obgleich nur ca. 0,2 Promille des gesamten Wasserstoffes aus Deuterium besteht, würde eine 10 cm

dicke Schicht des Weltmeeres ausreichen, um eine Energiemenge zu liefern, die etwa das Tausendfache der jetzigen Kohlenvorräte beträgt. Noch intensivere Energiequellen liegen in der Fusion von Protonen zu D-Kernen, ein Vorgang, der freilich vorläufig nur im Innern der Fixsterne realisiert ist. Und darüber hinaus kann man wohl glauben – ermutigt durch einen Blick auf die Geschichte der Physik –, daß wir vielleicht auch in Zukunft noch auf neue Möglichkeiten der Energieerzeugung stoßen werden, vielleicht sogar solche, für die die uns geläufigen physikalischen Vorstellungen ebenso wenig ausreichen, wie etwa die Begriffe eines mittelalterlichen Scholastikers genügt hätten, ihm zu einer Vorstellung von innerkorpuskularen Energien zu verhelfen. Aber auch wenn wir solche Spekulationen vermeiden, eines steht jedenfalls fest: Von Seiten der heute bereits verfügbaren Energievorräte ergibt sich für mehrere hundert Jahre keine Schranke für die gegenwärtig sich vollziehende Steigerung des industriellen Energieverbrauches.

2. Notwendige und hinreichende Bedingungen der permanenten Produktionssteigerung

Nach dem Vorangegangenen könnte man meinen, jede weitere Diskussion über die naturwissenschaftlichen Bedingungen der Produktionssteigerung sei überflüssig und nichts als Zeitverschwendung. Die folgenden Zeilen sollen darauf hinweisen, daß eine solche Meinung falsch ist, daß vielmehr eine andauernde Steigerung der Produktion unumgänglich zu globalen Erscheinungen führen muß, die nicht nur das akademische Interesse des Geophysikers erregen werden, sondern deren Sachzwänge vielmehr das Lebensinteresse der gesamten Menschheit und ihre gesamte künftige Entwicklung berühren. Der Zwang zu jener Perspektive liegt in folgendem: Das Vorhandensein entsprechend ergiebiger Energiequellen ist selbstverständlich eine notwendige, aber keineswegs eine hinreichende Bedingung für eine Jahrtausende anhaltende Steigerung der Produktion. Man hat nicht nur zu fragen, woher nehmen wir jene Energien, wir haben auch zu fragen, wohin mit jenen Energien, wenn wir sie aus potentiellen Existenzformen befreit haben und sie benutzen, der Produktion zu dienen.

Bekanntlich geht bei allen energetischen Prozessen mindestens ein Teil der umgeformten Energie in Wärme über (von den mitspielenden Zwischenprozessen können wir dabei absehen). Diese Wärme kann zwar teilweise wiederum in potentielle Energie zurückgeführt werden; es geht aber aus thermodynamischen Erfahrungen bzw. Prinzipien einwandfrei hervor, daß es unter terrestrischen Bedingungen im Bereich des Makroskopischen keine Möglichkeit gibt, den allmählichen Übergang aller technisch ausgelösten Energien in die Energieform der Wärme aufzuhalten bzw. rückgängig zu machen. Während aber die potentiellen Energieformen nur in seltenen Ausnahmefällen negativ auf das biologische Geschehen einwirken können, ist bei der Energieform der Wärme ausnahmslos das Gegenteil der Fall, sobald ihre Intensität einen gewissen Grad überschreitet. Aber gerade in Richtung auf diesen Zustand steuert die fortschreitende Steigerung der industriellen Produktion hin. In einem quasi-geschlossenen System, wie es unser Planet darstellt, kann Wärme nach außen in ausschlaggebendem Umfang nur abgegeben werden in Form von Wärmestrahlung. Der Grad dieser Abgabe aber ist eine Funktion der Temperatur des abstrahlenden Körpers. Die Frage ist also: Könnte die auf Grund der Energievorräte physikalisch und tech-

nisch mögliche Energieproduktion zu einer globalen Temperaturerhöhung führen, deren Folgen geophysikalisch oder sogar direkt biologisch für die Menschheit bedrohlich werden, und könnte das vielleicht sogar in Zeiten eintreten, die nicht nur für den Wissenschaftler interessant sind?

3. Geophysikalisches Modell des Energieaustausches zwischen Erde und Kosmos

Die Gesetze der Wärmeüberführung sind zwar physikalisch gut bekannt; ihre quantitative Anwendung auf die Wärmeabgabe der Erde wird jedoch durch die ungenügende Kenntnis der entsprechenden zeitlich und räumlich veränderlichen Parameter sehr erschwert. Hätte die Erde nur eine unverdampfbare Oberfläche und eine für unser Problem vernachlässigbare Atmosphäre, dann ließe sich die Temperatur, auf die die Erdoberfläche und die Atmosphäre kommen müßten, um eine bestimmte Leistung abzustrahlen, sehr einfach aus dem empirisch bestimmbaren mittleren Ausstrahlungsvermögen der Erdoberfläche und dem Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetz berechnen.

So einfach liegen aber die Verhältnisse nicht. Nur etwa 12 % der Wärmeabgabe der Erdoberfläche erfolgt durch direkte Ausstrahlung in den Kosmos, der Rest der Wärmeabgabe erfolgt zunächst an die durchaus nicht vernachlässigbare Atmosphäre. In dieser Atmosphäre aber vollzieht sich der weitere Energietransport in einer sehr komplizierten, durch spezielle geographische Bedingungen beeinflussten und zum Teil sehr turbulenten Wechselwirkung zwischen sehr unterschiedlichen Prozessen (Verdampfung von Wassermassen und deren Kondensation an anderen Orten, Meeresströmungen, konvektive und advektive Luftströmungen, Absorption und Reemission von Strahlung und ähnliche Prozesse). Wollte man all jene Vorgänge im einzelnen in Rechnung setzen, um auf diese Weise den gesamten Energietransport durch die Atmosphäre zu erhalten, dann würde die Durchführbarkeit dieser Absicht durch das komplizierte Ineinandergreifen jener Prozesse sehr bald zum Scheitern gebracht werden. Diese Komplikationen sind fast identisch mit denen, die bei Betrachtungen über die Bilanz der Sonnenstrahlung bei ihrem Durchgang durch die Atmosphäre und Einfall auf die Erdoberfläche die genaue Durchrechnung unmöglich machen. Bei solchen Betrachtungen kann man aber in erster Näherung mit einem sehr vereinfachten Bilanzmodell auskommen [6], bei dem unter pauschalem Ein-schluß aller Zwischenprozesse die Strahlungsabsorption überwiegend am Erdboden, die Emission der Strahlung jedoch vorzugsweise in hohen Schichten der Atmosphäre stattfindet, die dabei fiktiv als „schwarze“ Strahler betrachtet werden. Gleichgewicht zwischen der in die Atmosphäre und auf die Erdoberfläche einfallenden Strahlung und der in jenen hohen Schichten der Atmosphäre wieder emittierten Strahlung erhält man theoretisch nach dem Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetz bei einer effektiven Strahlungstemperatur von 250 °K, also -23 °C. Dieser Wert entspricht tatsächlich dem Mittel der Temperaturen, wie sie im Bereich über der oberen Wolkgrenze der Erde in etwa 6000 m Höhe empirisch festgestellt wurden. Auf diesen niedrigen Wert müßte auch die Oberflächentemperatur der Erde absinken, wenn deren Ausstrahlung bei Abwesenheit von Wolken und Atmosphäre unmittelbar in den Kosmos erfolgen könnte. In Wirklichkeit jedoch wird diese Ausstrah-

lung zum großen Teil durch Reflektion an den Wolken dem Erdboden wieder zugeführt, so daß dort gemessen und gemittelt über alle Breiten und Zeiten eine Temperatur von ca. $+15^{\circ}\text{C}$ zustande kommt.

Im ganzen erscheint jenes Modell als ein brauchbares Hilfsmittel, mit dem man trotz vieler unübersichtlicher, in die Strahlungsbilanz eingehender Zwischenprozesse unter einfacher Anwendung des Strahlungsgesetzes zu Resultaten kommt, die gut mit der Wirklichkeit in Einklang zu bringen sind.

Man darf daher wohl hoffen, daß das Modell sich auch auf Energien übertragen läßt, die etwas höher liegen als die Beträge der an der Erdoberfläche absorbierten Sonnenstrahlenenergien – wenigstens innerhalb eines Bereiches, in dem die durch zusätzliche Energieerzeugung erhöhten absoluten Temperaturen die im bisherigen Anwendungsbereich des Modells liegenden Temperaturen um weniger als 20 % überschreiten.

4. Globaler Temperaturanstieg als Folge einer ständig wachsenden industriellen Energieerzeugung

Die mit der industriellen Produktion zwangsläufig verbundenen Energieumwandlungen erfolgen z. Z. an der Erdoberfläche praktisch auf Meeresniveau. Von dort aus wird sie in einem komplizierten Wechselspiel verschiedener Prozesse der höheren Atmosphäre zugeführt. Um die mit diesem Transport verbundenen theoretischen Schwierigkeiten zu vermeiden, bedienen wir uns des in [3] skizzierten geophysikalischen Energietransportmodells, d. h., wir betrachten zunächst eine Schicht der Atmosphäre, die so hoch liegt, daß sie zwar die aus den unteren Schichten stammende Wärme aufnimmt, im übrigen aber von den dort sich abspielenden turbulenten Prozessen nur noch in vernachlässigbarem Maße beeinflußt wird; andererseits muß diese Schicht jedoch noch dicht genug sein, um als quasi-schwarzer Strahler wirken zu können. Die Temperatur, auf die diese Schicht kommen muß, um außer der von der Sonne auf die untere Atmosphäre und die Planetenoberfläche eingestrahlte Energie auch noch die von der Industrie freigesetzte Energie ausstrahlen zu können, läßt sich dann auf sehr einfache Weise mit Hilfe des Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetzes bestimmen. Dagegen würde der Übergang von der Temperatur dieser etwa 6000 m hohen Atmosphärenschicht auf die hier interessierende Temperatur der Erdoberfläche natürlich wiederum auf die mehrfach erwähnten theoretischen Schwierigkeiten stoßen. Indessen wissen wir von der Differenz zwischen beiden Temperaturen auch ohne Rechnung eines: Sie muß auf Grund der geophysikalischen Erfahrung im Mittel *mindestens* $15 + 23 = 38^{\circ}\text{C}$ betragen.

Ob diese Tatsache genügt, um zu praktisch wesentlichen Ergebnissen zu kommen, läßt sich freilich nicht von vornherein sagen, sondern entscheidet sich erst nach der Durchführung der numerischen Rechnung.

Bezeichnen wir mit $L_{J,0}$ die globale industrielle Industrieleistung im Ausgangsjahr t_0 , mit q deren Steigerungskoeffizienten pro Jahr, dann beträgt diese Leistung im Jahr t

$$L_{J,t} = L_{J,0} \cdot q^{\Delta t}; \quad \Delta t = t - t_0.$$

Bezeichnen wir andererseits mit L_S die von der Erde aus der Sonnenstrahlung entnommene Leistung, so ergibt sich nach Stefan-Boltzmann für die Ausstrah-

lungstemperaturen der als quasi-schwarzer Strahler wirkenden atmosphärischen Schicht in 6000 m Höhe

$$\frac{T_t \text{ [}^\circ\text{K]}}{T_0 \text{ [}^\circ\text{K]}} = \sqrt[4]{\frac{L_S + L_{J,0} \cdot q^{\Delta t}}{L_S + L_{J,0}}} \quad (1)$$

Aus den auf der Genfer Atomkernenergie-Konferenz mitgeteilten Daten folgt für das Jahr 1970 $L_{J,0} \sim 8 \cdot 10^{12}$ Watt. Dieser Betrag ist klein gegenüber der aus Sonnenstrahlung aufgenommenen Leistung $L_S = 1,15 \cdot 10^{17}$ Watt*); er kann daher im Nenner des obigen Ausdrucks vernachlässigt werden. Nehmen wir zunächst eine Leistungssteigerungsrate von 7 0/10 pro Jahr an, so erhalten wir mit dem geophysikalisch bestimmten $T_0 = 250$ °K

$$T_t \text{ [}^\circ\text{K]} = 250 \text{ [}^\circ\text{K]} \sqrt[4]{1 + \frac{8 \cdot 10^{12} \cdot 1,07^{\Delta t}}{1,15 \cdot 10^{17}}}$$

Die Auswertung jener Formel ergibt für den Temperaturanstieg der in etwa 6000 m Höhe liegenden Strahlungsschicht der Atmosphäre für die nächsten Jahrzehnte folgenden zeitlichen Temperaturverlauf (Tab. I).

Tabelle I

Theoret. Temperatur in der als quasi-schwarzer Strahler wirkenden, höheren Atmosphärenschicht als Folge industrieller Energieerzeugung für $q = 1,07$

Jahr	1970	1990	2010	2030	2050
T_t °C	-23	-23	-23	-22,7	-21,9

Die Temperaturänderung beträgt also in den ersten 40 Jahren auch bei stark anwachsender Produktion insgesamt weniger als 0,1 °C, steigt dann langsam an, erreicht aber aber auch bis zum Jahre 2050 nur ungefähr 1° Temperaturerhöhung. Dieser geringe Temperaturanstieg liegt sogar noch innerhalb des Fehlerbereiches, der sich bei der empirischen Bestimmung der mittleren Temperatur jener Ausstrahlungsschicht zwangsläufig ergibt. Praktisch ist jedenfalls diese theoretische, durch die industrielle Produktion bedingte Temperaturerhöhung zunächst ohne Bedeutung. Das dürfte durchaus den gefühlsmäßigen Erwartungen entsprechen, und das dürfte auch der Grund sein, weshalb man diesen Fragen bisher offenbar wenig aktives Interesse gewidmet hat.

Betrachten wir jedoch spätere Jahre, dann verliert jener Temperaturanstieg sehr bald seine Harmlosigkeit. Das liegt daran, daß bei einer Funktion, die im Zähler eine Exponentialfunktion enthält, oft die Möglichkeit besteht, daß die Gesamtfunktion an einer zunächst unerwarteten Stelle sehr große Werte annehmen kann, und es liegt ferner daran, daß alles organische Leben an sehr enge Bedingungsbereiche gebunden ist.

*) Die Gesamtleistung der auf den Erdquerschnitt fallenden Sonnenstrahlung ist etwa 50 % höher als die oben angegebene Zahl; davon wird aber etwa ein Drittel ohne Absorption reflektiert, trägt also gar nicht zur Erwärmung der Erde bei. Der Wärmestrom L_R aus radioaktiven Energiequellen in der Erdrinde geht zwar in die Strahlungsbilanz ein, kann aber aus quantitativen Gründen $\left(\frac{L_R}{L_S} \sim 10^{-4}\right)$ vernachlässigt werden.

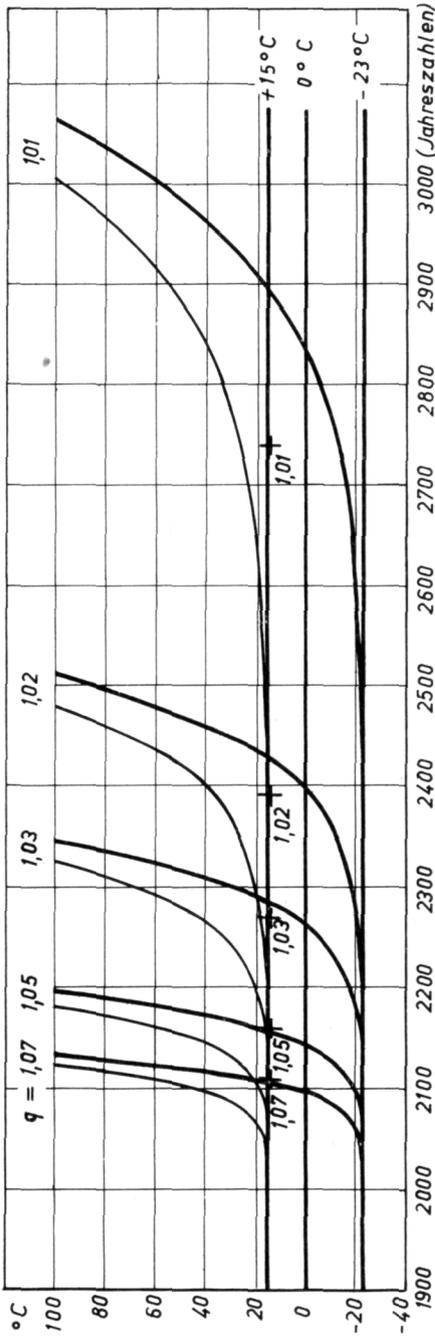


Bild 1 Resultate der Temperaturberechnung für die nächsten Jahrhunderte unter Zugrundelegung der Koeffizienten $q = 1,01 \dots 1,07$ der Steigerung der industriellen Produktion. Zu jedem q gehören zwei Kurven. Die stark ausgezogenen Kurven stellen die Temperaturen in einer etwa 6000 m hoch liegenden Schicht dar, die als quasi-schwarzer Strahler wirkt; die schwach ausgezogenen Kurven geben die unteren Grenzen der Temperaturen wieder, die an der Erdoberfläche bei den betreffenden q zu den angegebenen Zeiten erreicht würden. Alle Temperaturen wurden gemittelt über alle Tages- und Jahreszeiten und alle Orte der betreffenden Schicht. — Bedeutung der bei $T = 14^\circ\text{C}$ eingezeichneten Kreuze +++ siehe Abschnitt 5.2.

Bild 1 zeigt in grafischer Form die Resultate der Fortführung der Temperaturberechnung für die nächsten Jahrhunderte, und zwar für den ganzen Bereich der in Frage kommenden Koeffizienten der Steigerung der industriellen Energieerzeugung ($q = 1,01 \dots 1,07$ [stark ausgezogene Kurven, die alle bei -23°C beginnen]). Bei dieser Art der Darstellung verschwindet der geringe Temperaturanstieg während der ersten Jahrzehnte praktisch im Ungenauigkeitsbereich der Zeichnung; danach aber steigt die Temperatur der etwa 6000 m hoch liegenden Ausstrahlungsschicht der Atmosphäre von Jahr zu Jahr immer steiler an. Bei $q = 1,07$ würde diese Temperatur etwa im Jahre 2100 bereits den Gefrierpunkt überschreiten, und zwar mit einem Gradienten von etwa $1,5^\circ\text{C}$ pro Jahr. Von größerem praktischen Interesse ist natürlich der zeitliche mittlere Temperaturverlauf am Erdboden etwa in Meereshöhe. Zur Zeit beträgt diese Temperatur ca. 15°C , liegt also 38° über der mittleren Temperatur der quasi als schwarzer Strahler wirkenden atmosphärischen Schicht in ca. 6000 m Höhe. Da diese Temperaturdifferenz den Transport der vorzugsweise in Bodennähe absorbierten Sonnenstrahlenenergie bis zur Ausstrahlungsschicht bewirkt, so kann dieser Temperaturunterschied auf keinen Fall geringer werden, wenn jener Energietransport zusätzlich durch die industrielle Energieabgabe erhöht wird. In Ermangelung genauerer Einsicht in die Einzelheiten jenes Energietransportes wurde daher in Bild 1 über der Temperaturkurve für die hohe ausstrahlende Schicht der Atmosphäre noch eine zweite (schwächer ausgezogene) Kurve eingetragen, die lediglich durch eine Vertikalverschiebung der ersten Kurve um 38° entstanden ist. Diese höher liegende Kurve stellt die untere Grenze dar, bis zu der die Temperatur in Bodennähe mindestens ansteigen muß, um im Gleichgewicht neben der absorbierten Sonnenenergie zusätzlich die Energie abführen zu können, auf die bei $q = 1,07$ die industrielle Energieerzeugung in dem betreffenden Jahr angestiegen ist. Das mit dieser Kurve beschriebene Phänomen ist nun keineswegs noch harmlos: Bei einer Steigerung der Energieerzeugung um 7% pro Jahr würde sich die mittlere Temperatur unseres Lebensraumes zwar in den nächsten 50 Jahren praktisch überhaupt nicht ändern, aber noch 50 Jahre später würde sich die Änderung doch bereits allgemein bemerkbar machen, und bis zum Jahre 2100 hätte diese Temperatur mit 45°C bereits eine Höhe erreicht, die zu tief eingreifenden Klimaänderungen führen müßte.

Nun ist eine jährliche Steigerung der Energieproduktion um je 7% vielleicht zu hoch gegriffen. Um einen Überblick über die Wirkungen geringerer Steigerungen der Energieerzeugung zu gewinnen, wurden daher in das Bild 1 auch die entsprechenden Kurven für $q = 1,05; 1,03; 1,02$ und $1,01$ eingetragen. Man ersieht daraus: Je niedriger die jährliche Zuwachsrate der Energieerzeugung liegt, um so günstiger werden die Verhältnisse. Nicht nur, daß die Aufheizung der Erde bis zu katastrophalen Temperaturen immer weiter hinausgeschoben wird, auch die Zeitspanne zwischen dem wirklichen Eintreten einer die Öffentlichkeit alarmierenden Temperaturerhöhung und dem theoretischen Eintreten einer alles gesellschaftliche Leben blockierenden Temperatur wird immer größer. Bei $q = 1,07$ würde diese Zeit weniger als 40 Jahre betragen, dagegen bei $q = 1,01$ etwas über 300 Jahre. Je größer diese Zeitspanne gewählt werden kann, um so leichter wird die materielle, psychische und physiologische Anpassung an Verhältnisse sein, die sich von den z. Z. denkbaren Verhältnissen grundsätzlich unterscheiden werden. Aber auch wenn die Zuwachsrate der Energie-

erzeugung bis auf 1 0/0 pro Jahr herabgedrückt würde, müßte jener Zustand zwangsläufig eintreten, und zwar nach einer Zeit, die zwar lang ist gegenüber der Lebenszeit einer Generation, aber sehr kurz gegenüber der Lebensdauer, die die Menschheit bei vernünftiger Lebensweise erhoffen könnte, ja sogar kurz gegenüber der historisch bekannten Zeit, die der Mensch bisher durchlaufen hat.

5. Eventuelle Beeinflussung des Temperaturanstieges der Erdoberfläche durch Sekundärprozesse oder technische Eingriffe

Natürlich wird niemand erwarten, daß die Temperaturerhöhung mit der Präzision eintritt, wie man sie aus den berechneten, in Bild 1 wiedergegebenen Kurven ablesen könnte. Da aber die vorstehenden Überlegungen fast ausschließlich auf einer geophysikalisch geprüften Anwendung des Strahlungsgesetzes beruhen, ist ein wesentlicher, bisher nicht angeführter Einfluß, der etwa den „Schrankencharakter“ des Temperaturanstieges außer Kraft setzen könnte, äußerst unwahrscheinlich. Dagegen könnten gewisse Sekundäreffekte sehr wohl zu geringen Deformationen bzw. Verschiebungen der in Bild 1 wiedergegebenen Resultate führen, z. B. solche, die mit den riesigen Wassermassen der Ozeane verbunden sind.

5.1. Verdampfung des Wassers der Weltmeere

Von der in den Ozeanen absorbierten Sonnenstrahlenenergie wird ein großer Teil für die Verdampfung von ca. $3,5 \cdot 10^5$ km³ Wasser pro Jahr verbraucht (der Rest dient der direkten Erwärmung der angrenzenden Luft in kälteren Gebieten). Mit steigender Temperatur würde diese Verdampfung und damit der entsprechende Energieaufwand natürlich zunehmen. Da aber der Wasserdampf nicht in den Kosmos entweichen kann, sondern sich irgendwo in der Erdatmosphäre wieder kondensieren muß, so hat diese gewaltige Energietransformation wohl große territoriale Bedeutung, aber keinen direkten Einfluß auf die Wärmebilanz Erde-Kosmos. Ein gewisser indirekter Einfluß ist in der Weise möglich, daß eine erhöhte Verdampfung zu einer dichteren Wolkendecke führen könnte und damit (infolge Erhöhung der Albedo) zu einer geringeren Einstrahlung der Sonnenenergie in die untere Atmosphäre. Die Wirkung der erhöhten industriellen Energieerzeugung könnte dadurch anfangs in gewissen Grenzen kompensiert werden. Das würde natürlich die Kurven des Bildes 1 etwas nach rechts verschieben, ihren „Schrankencharakter“ aber nicht aufheben. Selbst wenn die Sonnenstrahlung infolge ihrer steigenden Reflexion vom Eintritt in die untere Atmosphäre restlos abgehalten würde — eine natürlich fiktive Annahme — auch dann wäre bei $q = 1,07$ nur eine zusätzliche Zeitspanne von wenigen Jahrzehnten erforderlich, um die Erde allein durch die industriell erzeugte Energie auf eine katastrophale Temperatur zu bringen, da jene dichte Wolkendecke ja nicht nur die Einstrahlung der Sonnenenergie, sondern auch die Ausstrahlung der industriell erzeugten Energie behindern würde.

5.2. Ausnutzung der Wärmekapazität der Ozeane

Bekanntlich werden etwa 70 0/0 der Erdoberfläche vom Wasser der Ozeane bedeckt bei einer mittleren Beckentiefe von rund 4 km. Würde die von der Sonne in die Meere eingestrahlte Energie einer gleichmäßigen Erwärmung der gesamten Wassermassen dienen, dann würde sich trotz der hohen absorbierten Energiebeträge doch nur eine mittlere Temperaturerhöhung des Ozeanwassers von

weniger als $\frac{1}{2}^\circ$ pro Jahr ergeben. Nun ist aber die gegenwärtige industrielle Energieerzeugung rund 4 Größenordnungen kleiner als die in den Ozeanen absorbierte Sonnenstrahlenenergie. Sollte es daher nicht doch vielleicht möglich sein, durch Speicherung der industriell erzeugten Wärme in den Wassermassen der Ozeane die katastrophale Temperaturerhöhung um so lange Zeiträume zu verschieben, daß dadurch das ganze Problem seine Aktualität verliert?

Um alle Wasserschichten konvektiv an dieser Wärmespeicherung zu beteiligen, müßte man natürlich die gesamte industrielle Produktion unter den Meeresgrund verlegen. Die Realisierung dieser Bedingung liegt z. Z. gewiß außerhalb des Bereiches ernsthafter technischer Perspektiven; als Fiktion kann aber dieser Gedanke dazu dienen, entfernte Möglichkeiten abzutasten.

Infolge der relativ starken Absorption der Sonnenstrahlen bereits in den ersten 50 bis 100 Metern unter der Wasseroberfläche kann man in den unter 500 m liegenden Wasserschichten (trotz der Wirkung von Strömungen) mit einer konstanten mittleren Temperatur von etwa 4°C rechnen. Diese Temperatur würde sich bei Zuführung der gesamten industriellen Energie und Verteilung auf die gesamten Wassermassen der Ozeane erhöhen um folgenden mit t ansteigendem Betrag:

$$T_t = \frac{T_0}{\ln q} \int_0^t e^{t \ln q} dt ; \quad (2)$$

T_0 = Temperatur des Meerwassers im Jahre $t = 0$,

q = jährliche Zuwachsrate der industriellen Energieerzeugung.

Der mit Gleichung (1) beschriebene Temperaturanstieg war bedingt durch ein Gleichgewicht zwischen Energieeinstrahlung und industrieller Energieerzeugung einerseits und Energieausstrahlung in den Kosmos andererseits. Die zur Gleichung (2) führenden Prozesse dagegen enthalten zunächst keine planetarische Energieabgabe; hier ist der Temperaturanstieg lediglich bedingt durch die Akkumulation der industriellen Energie in den Weltmeeren. Auch im Fall (1) wird natürlich ein gewisser Teil der in der Nähe der Erdoberfläche auftretenden Energie in der Atmosphäre und in den oberen Schichten der Erde und der Meere gespeichert; bei den beiden letzteren ist aber die Eindringtiefe so gering, daß die Gesamtkapazität aller absorbierenden Schichten nur wenige Promille der Kapazität der gesamten Wassermassen der Ozeane beträgt und daher außer acht gelassen werden kann. Von daher ist sofort verständlich, daß bei Speicherung der industriellen Energie im Meerwasser dessen zeitlicher Temperaturanstieg zunächst viel langsamer erfolgt als der Temperaturanstieg im Fall (1). Ferner ergibt sich daraus, daß die Erwärmung der unteren Wasserschichten auf die Temperatur der Atmosphäre erst dann einwirken kann, wenn die Temperatur der anfangs kalten Wasserschichten bis in die Nähe der Temperatur der oberen Wasserschichten angestiegen ist. Dann aber würden die Ozeane ihre energiespeichernde Eigenschaft allmählich verlieren, und infolge einer immer stärker ansteigenden Verdampfung würden Verhältnisse eintreten, wie sie in (5.1.) bereits skizziert wurden. Wenn wir als mittlere Temperatur der Oberflächen der Weltmeere rund 15°C annehmen, dann genügt eine Erhöhung ihrer mittleren

Tiefentemperatur um etwa 10° , um jene Verhältnisse anzubahnen. In Tabelle II sind die Zeiten wiedergegeben, in denen bei Speicherung der jährlich um den Faktor q ansteigenden industriellen Energie in den gesamten Wassermassen der Ozeane deren Temperatur um 10°C erhöht werden würde. Daß diese Zeiten für $T = 10^\circ$ angegeben werden, hat noch einen anderen Grund: Gemäß dem Exponentialcharakter der Gleichung (2) ist die jährliche Temperaturerhöhung der bereits erreichten Temperaturerhöhung proportional. Daher wird der anfänglich geringe Zuwachs nach einer erreichten Temperaturzunahme von 10° bereits bedrohlich. Bei $q = 1,07$ würde ein nochmaliger Anstieg um 10°C (also von 14 auf 24°) theoretisch schon nach weiteren 12 Jahren eintreten, und selbst bei einer Reduzierung der jährlichen Zuwachsrates des industriellen Energieverbrauches auf $1 \frac{0}{10}$ würde sich jene Zeit nur auf 70 Jahre verlängern.

Tabelle II

Aufheizungszeiten Δt der Ozeane um $\Delta T = 10^\circ$ bei Speicherung der industriellen Energie als Funktion der jährlichen Energiesteigerungsquote q

q	1,07	1,05	1,03	1,02	1,01
Δt Jahre	140	190	300	420	770

Nach Ablauf dieser Fristen würden die Ozeane kaum noch als Energiespeicher wirken können. Es wird sich ein Gleichgewicht zwischen Energieerzeugung und Energieabstrahlung aus der hohen Atmosphäre einstellen, d. h., Anstiegskurven der Temperatur werden nach jenen Zeitabschnitten ähnlich verlaufen wie die in Bild 1 angeführten Kurven bei ausgeglichener Strahlungsbilanz.

In der Jahreszahlenabszisse jenes Bildes wurden die zu den verschiedenen q gehörigen Fristen (gerechnet gegen das Jahr 1970) durch Kreuze (+++) markiert. Man kann abschätzen, daß die Temperaturverläufe ungefähr durch Kurven gekennzeichnet werden, die von den Kreuzen aus nach oben ansteigen mit einem Gradienten, der etwa in der Mitte liegt zwischen den Gradienten der beiden für das betreffende q eingezeichneten T -Kurven und sich dem Gradienten der unteren Kurve mehr und mehr nähert.

Daraus ergibt sich folgendes:

Während die Zeiten, nach denen eine Beeinflussung der Temperatur unserer Umgebung durch die industrielle Energieerzeugung theoretisch überhaupt erst eintreten kann, sich bei Verlagerung der Industrie unter den Meeresboden gemäß Tab. II um anderthalb bis acht Jahrhunderte verschieben würden, sind alle anderen praktisch wichtigen Fristverlängerungen, die durch jene ungeheure, nur fiktiv angenommene Industrieverlagerung möglich werden könnten, beträchtlich kleiner. So würde z. B. für $q = 1,07$ die Zeit, in der eine Erhöhung der mittleren Oberflächentemperatur der Erde von 15°C auf 20°C erfolgen könnte, durch jene Industrieverlagerung nur noch um 50 Jahre verschoben und selbst bei $q = 1,01$ auch nur um etwa 150 Jahre. Für noch höhere Temperaturen aber verringern sich jene Zeitunterschiede überhaupt zur Belanglosigkeit: So ergeben sich bei Annäherung an die bereits bedrohliche mittlere Umgebungstemperatur von 40° für alle q zwischen 1,07 und 1,01 mit und ohne Industrieverlagerung nur noch Zeitunterschiede von 30 ... 40 Jahren.

Aus dieser, auf der fiktiven Voraussetzung einer Verlagerung der industriellen Energieumsetzung unter den Meeresgrund beruhenden Betrachtung ergibt sich also, daß selbst durch solche Eingriffe die mit steigender Energieerzeugung verbundene Temperaturerhöhung nur in Bereichen einflußbar ist, die praktisch ohne unmittelbares Interesse sind; in den biologisch schicksalhaften Temperaturbereichen dagegen würden auch jene gewaltigen, z. Z. gar nicht ernsthaft diskutablen Maßnahmen keine wesentliche Wirkung haben. Der Schrankencharakter des betreffenden Temperaturanstieges bleibt natürlich in beiden Fällen bestehen und läßt sich auch nicht in Zeiträume verschieben, die für die Menschheit ohne Bedeutung wären.

5.3. Intensivste technische Ausnutzung der eingestrahelten Sonnenstrahlenenergie

So lange wir die industriell erforderliche Energie nur aus der Energie bestreiten würden, die uns von der Sonne sowieso zugestrahlt wird, käme natürlich eine Temperaturerhöhung der Oberfläche unseres Planeten überhaupt nicht in Frage; mit jener Absicht ist dann aber auch von vornherein die Begrenzung der Steigerung der industriellen Energieerzeugung festgelegt durch die Solarkonstante und die betreffenden Ausnutzungsfaktoren. Sobald aber jene Grenze erreicht ist, würde die Temperatur, die bis dahin konstant bliebe, bei weiterer Steigerung des Energieaufwandes quantitativ mit derselben Funktion ansteigen, die dem betreffenden Steigerungskoeffizienten q entspricht (Bild 1). Es bleibt nur die Frage zu klären, ob durch jene Maßnahme ein Zeitraum konstanter Temperatur erreicht werden kann, der praktisch von Interesse wäre. Es ist leicht abzuschätzen, daß das nicht der Fall ist.

Auffänger, die die Sonnenstrahlenenergie in elektrische Energie umwandeln, wird man nur auf dem Festland aufstellen können, also nur auf etwa 30 % der Oberfläche unseres Planeten; auch bei der Festlandfläche kommen wohl nur etwa 10 % für jenen Zweck in Frage, und die Effektivität solcher Energietransformationen wird sich kaum auf 20 % bringen lassen. Das gibt insgesamt einen Ausnutzungskoeffizienten von $K = 0,3 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 6 \cdot 10^{-3}$. Man braucht also nur auszurechnen, nach welchen Zeiten die Gleichung besteht:

$$\frac{L_{J,t}}{L_S} = \frac{L_{J,0} \cdot q^{4t}}{L_S} = 6 \cdot 10^{-3}. \tag{3}$$

Das würde für $q = 1,07$ bereits nach 65 Jahren (also etwa im Jahre 2040) eintreten und für $q = 1,01$ in etwa 450 Jahren (gerechnet gegen 1970). Nach diesen Zeiten müßte man, wenn q beibehalten werden soll, zusätzlich industriell entsprechende Energie erzeugen, was einem Temperaturanstieg gemäß der betreffenden $\{T = f(t) \parallel q\}$ -Kurve entspräche (Bild 1). Wie aber aus jenen Kurven zu ersehen ist, hätten sich auch bei einem Energieverbrauch lediglich aus industriellen Quellen bis zu jenen Zeiten auch nur Temperaturerhöhungen von weniger als 1 °C ergeben.

Auch die intensivste Ausnutzung der Sonnenstrahlenenergie ändert also praktisch nichts an der in Bild 1 wiedergegebenen Sachlage.

6. Perspektiven

Die unmittelbare Folge einer andauernden Temperaturerhöhung wäre natürlich eine fortschreitende Klimaänderung, wobei sich die klimatischen Verhältnisse der äquatornahen Landmassen allmählich nach höheren Breiten verlagern, die äquatorialen Landstriche aber mehr und mehr Wüstencharakter annehmen würden. Wenn jene Änderungen sich nur im Laufe von Jahrhunderten vollziehen, dann könnten sich die meisten Menschenrassen zunächst bis zu einem gewissen Maß an Temperaturerhöhungen gewöhnen; aber für die Völker der jetzt bereits heißen Zonen würde die Grenze bald erreicht sein, und eine Völkerwanderung nach Nord und Süd unabdingbar einsetzen müssen.

Eine weitere Folge der fortschreitenden globalen Temperaturerhöhung wäre das allmähliche Abschmelzen der Gletschereismassen. Allein das Abschmelzen der Eismassen der Antarktis würde nach geophysikalischen Schätzungen das Niveau der Ozeane um etwa 50 m erhöhen. Damit ginge eine Überflutung weiter Gebiete Hand in Hand; sie würde vor allem die breiten meeresnahen Niederungen der großen Flüsse und Nordwestsibirien und Nordeuropa betreffen. Magdeburg z. B. würde von dieser Anhebung des Meeresspiegels noch erreicht, Berlin bereits vollkommen überflutet.

Natürlich werden die Völker dieser Temperaturerhöhung nicht mehr interesselos gegenüberstehen, sobald diese Entwicklung ihren Latenzbereich überschreitet und der allgemeinen Beobachtbarkeit zugänglich wird. Ehe es zu katastrophalen Auswirkungen jener Temperaturerhöhungen kommt, wird es der gesamten technischen Kulturwelt selbstverständlich vollkommen klar, daß es nur einen einzigen Weg zur Vermeidung jener Katastrophe gibt: Die rechtzeitige globale Drosselung der Zuwachsrate der industriellen Energieerzeugung bis auf $q = 1$. In dieser Hinsicht wird es sehr bald nur eine einzige Meinung geben, in bezug auf die praktisch zu ergreifenden Maßnahmen dagegen werden die Meinungen weit auseinandergehen, bedingt durch die unterschiedliche Bedeutung der Energiefrage für die einzelnen Völker und bedingt durch die großen Unterschiede der politischen Machtstellungen der einzelnen Staaten und der Mentalität ihrer Bewohner. So wird z. B. auf Grund der geschichtlichen Entwicklung im letzten Jahrhundert niemand annehmen, daß die USA in einer kritisch werdenden Energiesituation ohne weiteres einem eventuellen UNO-Beschluß Folge leisten würden, ihre Produktion so weit zu drosseln, daß auch den technisch noch unterentwickelten Völkern – ohne globale Gefahr – die Möglichkeit gegeben werden kann, das mittlere energetische Niveau der anderen Völker zu erreichen. Aber auch innenpolitisch werden die Staaten, in denen die Steuerung des wirtschaftlichen Geschehens nicht im Allgemeininteresse erfolgt, sondern einem ungehemmten Profitstreben mächtiger Konzerne überlassen bleibt, großen sozialen Wirren entgegengehen, z. B. bei der Verteilung der energetischen Prioritäten u. a. Große unvermeidbare Umstellungen stoßen nicht nur auf technische Schwierigkeiten, sondern auch auf Schwierigkeiten der erforderlichen Wandlung der Mentalität. Länder, in denen Begriffe wie „freie Marktwirtschaft“, „Profitökonomie“, „Leistungs- und Konsumgesellschaft“ u. ä. eine geradezu sakrale Bedeutung bekommen haben, solche Länder sind am wenigsten vorbereitet, um die Schwierigkeiten der kommenden energetischen Krisenzeit ohne innere Machtkämpfe zu überwinden. Da aber in Zukunft nur die Alternative besteht: „Ener-

getische Ordnung oder Untergang“, so ist vorauszusehen, daß die Überwindung jener Schwierigkeiten auch in jenen Ländern in ähnlicher Weise versucht werden wird wie die Überwindung der aus der steigenden Verkehrsdichte sich ergebenden Schwierigkeiten: durch Einführung einer strengen „Verkehrsordnung“, die die Freiheit des Individuums soweit einschränkt, wie das Interesse des Ganzen das erfordert. Letzten Endes ergibt sich das energetische Problem aus derselben Sachlage, aus der sich auch alle anderen „Umweltprobleme“ ergeben: Aus der Endlichkeit der Oberfläche unseres Planeten. Gerade von daher kommt seine Unvermeidbarkeit und die biologische Notwendigkeit seiner Überwindung. Auf dem Wege zu diesem Ziel werden die kapitalistischen Staaten einsehen müssen, daß ihre Struktur prinzipiell ungeeignet ist, die künftigen Schwierigkeiten zu überwinden. Das Wesentliche werden sie dabei von den Gesellschaftsformen lernen müssen, in denen jene sakralen Begriffe kapitalistischer Mentalität bereits heute nur noch Museumswert haben (ähnlich etwa wie die Ritterrüstungen des Mittelalters in unserer Zeit). Sie werden von den Gesellschaften lernen müssen, die der wirtschaftlichen Willkür des einzelnen durch das vorherrschende Interesse am Allgemeinwohl eine sachnotwendige Schranke gesetzt haben, um eine wahrhaft menschliche Gesellschaft aufbauen zu können.

Könnte es wohl sein, daß manchen Menschen jene kommende Zeit, in der eine weitere Zunahme des Energieaufwandes für immer ausgeschlossen ist, geradezu in düsteren Farben erscheint? Das könnte wohl sein; aber nur bei solchen Menschen, die sich von ihrer gegenwärtigen Wunschwelt nicht trennen können und die so wenig geschichtlich orientiert sind, daß sie ihr Mißbehagen für das Mißbehagen aller künftigen Generationen halten. Gewiß wird es nicht so sein, daß jeder, der sich heute ein privates Kraftfahrzeug leistet, sich nach dem Eintritt in jene energetische Krisenzeit auch den Wunsch nach einem privaten Hubschrauber erfüllen könnte. Es werden wahrscheinlich sogar manche Wünsche, deren Erfüllung wir gegenwärtig als etwas ganz Selbstverständliches betrachten, für die aber ein relativ hoher Energieaufwand nötig ist, gestrichen werden müssen zugunsten anderer unabdingbarer Energieanforderungen. Wer aber meint, daß darunter auch die weitere Entwicklung aller Kultur zu leiden habe, der sollte sich doch mal fragen, wie viele Kilowattstunden nötig waren, um z. B. die Kultur der Zeit von Beethoven und Goethe zu schaffen! Gewiß hat uns die Erhöhung des Energieaufwandes Ziele erreichen lassen, die in jener Zeit noch weit unterhalb des Horizontes der Möglichkeiten lagen, und auf nicht wenige dieser Siege wird man auch in späteren Jahrhunderten noch stolz sein können. Solche sachlich gerechtfertigten Unternehmen werden aber auch in Zukunft möglich sein, selbst wenn die mittlere jährliche Energieerzeugung nicht mehr gesteigert werden kann; erforderlich ist nur eine vernünftige, zweckmäßige Verteilung der Energie auf eine Rangordnung der einzelnen Anforderungen. Daß aber der erhöhte Energieaufwand der letzten 100 Jahre der Menschheit in jeder Beziehung kulturell oder auch bloß biologisch nur Positives gebracht hätte, das wird wohl niemand behaupten wollen. Oft scheint es sogar, als ob gerade die Fülle an glitzerndem Tand, die vor allem die Menschen der westlichen Hemisphäre tagtäglich umschwirrt, geradezu blendend die Augen verschließt vor dem gesamten weiten Bereich innerer Werte und Zielsetzungen. In diesem Bereich tritt das Quantitative immer mehr zurück vor der Entfaltung des Qualitativen, und dort wird nichts zu einer Situation führen, die dieser Entfaltung eine unüberschreitbare Schranke setzt. Man wird dort leicht einsehen, daß ein Geschwindigkeits-

messer nicht gleichzeitig ein Gradmesser sein kann für die Qualität des Lebens. Dort werden sich die Menschen immer weniger unterscheiden durch die Zahl der Kilowattstunden, die ihnen persönlich zur Verfügung stehen, wohl aber werden sie sich unterscheiden durch die Entfaltung innerer Eigenschaften und Energien und im friedlichen Wettbewerb versuchen, diese Unterschiede auszugleichen. Und vor allem wird es in jenen Bereichen einem weitsichtigen Egoismus immer leichter werden, einzusehen, daß die Interessen des Individuums und die Interessen der Gesellschaft, die zwar eng miteinander verbunden sind, z. Z. aber sich auch noch manchmal gegeneinander aufbäumen, in Zukunft immer mehr in einem zusammenfließen werden: in einem harmonischen Wechselspiel gegenseitiger Ergänzung.

Die unabänderliche Schranke der Steigerung der technischen Energieerzeugung wird einer vernünftigen Entfaltung der menschlichen Möglichkeiten keine Grenze setzen; sie wird jedoch die Menschen veranlassen, das Dunkel ihrer Wünsche, deren Wurzeln oft noch bis in die Tiefen unbewußter tierischer Vergangenheit hinabreichen, immer bewußter zu durchdringen und auf ihre Realisierbarkeit zu prüfen. Die Erkenntnis aber, daß das Feld dieser Realisierbarkeit ausgespannt ist zwischen zwei Randbedingungen – der Endlichkeit unseres Planeten und dem unendlichen Existenzwunsch der gesamten Menschheit – diese Erkenntnis wird die Menschen nicht bedrücken; sie wird sie vielmehr hinweisen auf neue Qualitäten des Lebens, die sich zwar in der Morgendämmerung unseres Horizontes vorerst nur in Umrissen abzeichnen, die aber die Menschheit befähigen werden, immer bewußter auf einem Weg voranzuschreiten, auf dem sie sich unbewußt schon seit Jahrhunderten vorwärts getastet hat: dem schweren Weg vom fressenden Tier zu einem Wesen, für das die Bezeichnung „Mensch“ eine Auszeichnung bedeuten könnte!

7. Zusammenfassung

1. Obgleich der industrielle Energieverbrauch gegenwärtig ungefähr exponentiell ansteigt, ist im Hinblick auf die vorhandenen und mit großer Wahrscheinlichkeit noch zu erschließenden Energiequellen keine prinzipielle Grenze zu erkennen, die nach einer praktisch noch interessierenden Zeit jene Entwicklung zum Abschluß bringen könnte.

2. Dieser Umstand enthält aber noch keine hinreichende Bedingung für eine andauernde konstante Zuwachsrate des industriellen Energieaufwandes, da die fast ausschließlich in Wärme übergehende Energie zu ihrer Abstrahlung eine Erhöhung der globalen Temperatur erfordert, die zu einem biologischen Gefahrenherd werden könnte.

3. Um die mit der Beurteilung des komplizierten Energietransportes durch die Atmosphäre verbundenen Schwierigkeiten zu umgehen, wird ein geophysikalisch bewährtes Energietransportmodell verwendet, bei dem die Absorption der von der Sonne eingestrahelten Energie an der Erdoberfläche, ihre Abstrahlung in den Kosmos aber in hohen Atmosphärenschichten erfolgt; diese Schichten wirken praktisch wie ein schwarzer Strahler, dessen Temperatur sich genügend genau aus dem Betrag der abstrahlenden Wärmemenge ergibt.

4. Die bei verschiedenen Wachstumsraten des industriellen Energieverbrauches sich ergebenden zeitlichen Temperaturanstiege an der Erdoberfläche werden grafisch wiedergegeben. Daraus ist zu ersehen, daß bei einer Anstiegsrate des Energieverbrauches pro Jahr von $q = 1,07$ die Temperatur unserer Umgebung zwar in den nächsten 100 Jahren um weniger als 4° ansteigt, in 140 ... 150 Jahren jedoch theoretisch bereits 70° erreicht; bei $q = 1,01$ dagegen würde ein Anstieg um ca. 4° zwar erst in etwa 600 Jahren erfolgen, jener katastrophale Anstieg auf 70° aber in etwa 1000 Jahren natürlich ebenfalls eintreten.

5. Diese Temperaturanstiege lassen sich durch keinerlei technische Maßnahmen wesentlich abändern, insbesondere bleibt ihr biologischer Schrankencharakter unter allen Umständen erhalten.

6. Auch eine langsame Erhöhung der mittleren globalen Temperatur auf Werte, an die sich die Menschen in höheren Breiten vielleicht noch gewöhnen könnten, würde bereits zu einschneidenden Veränderungen unserer Umwelt führen (Völkerwanderungen infolge Wüstenbildungen in den jetzt bereits heißen Zonen; Überflutung weiter Gebiete vor allem in Nordwest-Sibirien und Nord-Europa infolge des Abschmelzens der polaren Eismassen u. a.). Die einzige Möglichkeit, jenen bedrohlichen Temperaturanstieg zu verhindern, liegt in einem globalen, allmählichen Übergang zur völligen Konstanz der gesamten Energieerzeugung.

7. Die Durchführung der entsprechenden Maßnahmen wird zu schwerwiegenden wirtschaftspolitischen Problemen führen, sowohl international in bezug auf die erforderlichen Übereinkommen zwischen den einzelnen Völkern als auch innerstaatlich bei den Staaten, deren Wirtschaft z. Z. noch nach privatem Ermessen einzelner Machtgruppen gesteuert wird. Der einzige Weg, auf dem eine dauerhafte harmonische Lösung jener unumgänglichen Probleme gefunden werden kann, ist identisch mit dem Weg zu einer weltweiten sozialistischen Orientierung der gesamten Menschheit.

Literatur

- [1] Peaceful Use of Atomic Energie. International Conf. Geneva Aug. 1955
- [2] Hahn, O. u. Straßmann, F.: Naturwissenschaft 1939
- [3] Döpel, K. u. R. und Heisenberg, W.: „Der experimentelle Nachweis der effektiven Neutronenvermehrung in einem Kugelschichtensystem aus D_2O und Uran-Metall“. Referiert von Heisenberg, W. in „Über die Arbeiten zur technischen Ausnutzung der Atomkernenergie in Deutschland“. (Naturwissenschaften, Heft 11, S. 327, Dez. 1946)
- [4] Smith, H. W.: Atomic Energy for Military Purposes. 1945, Princeton University Press USA
- [5] Oliphant, M.; Harteck, P.; u. Rutherford, E.: Proc. Roy. Soc. 144, S. 692, (1934)
- [6] Möller, F.: Hdb. d. Physik XLVIII (Geophysik II)

Eingang des Manuskripts: 15. November 1972

Verfasser:

Prof. em. Dr. phil. habil. Robert Döpel, 63 Ilmenau, Gartenstr. 44.