

## Die Lebensbedingungen unserer Welt

Von Walther Gerlach, München

Vortrag zur Eröffnung der Winterarbeit der Volkshochschule Regensburg  
27. September 1953

„Die Naturforschung hilft uns vor allem, daß sie das Staunen, wozu wir von Natur berufen sind, einigermaßen erleichtere; sodann aber, daß sie dem immer gesteigerten Leben neue Fertigkeiten erwecke zur Abwendung des Schädlichen und Einleitung des Nützlichen.“

In diese Worte hat *Goethe* die (ich möchte sagen) humanistische Bedeutung der Naturwissenschaften in ihrem ganzen Umfang gefaßt. Unsere heutige Feier soll uns ganz in den Bereich des Staunens führen, abseits von den Gebieten des menschlichen Nutzens, hin zu den wunderbaren geheimnisvollen Ordnungen in unserer Welt, fern von den materiellen Werken unserer Kultur. Nur in einem Ausblick wollen wir die Bedeutung der neuen Erkenntnisse für das zukünftige Wohl der Menschen betrachten. So segensreich sich geistige Werke in unserem täglichen Leben auswirken, so undenkbar unser soziales Leben ohne die dauernde Hilfe der Wissenschaft ist, so wichtig es uns erscheint, daß so viele Menschen wie nur irgend möglich auch diese wissenschaftlichen Grundlagen, die unser tägliches Leben formen, der Heilkunde, der Technik, des Verkehrs, der Ernährung verstehen lernen und daß es zu den Aufgaben aller Schulen gehört, hierfür zu wirken —; niemals darf der geistige Fortschritt vergessen werden, die Erweiterung unseres Blickes in die Tiefen der Welt. Schritt für Schritt wurden die Bereiche erweitert, in welche der Verstand der Menschen eindringen kann, und mehr und mehr führt uns unser Wissen aus einem naiven Wunderglauben zu einer tiefen demütigen Ehrfurcht vor dem letzten, dem echten Geheimnis unserer Welt.

Wir wollen von den Voraussetzungen sprechen, von denen wir erkannt haben, daß sie gegeben sind und gegeben sein müssen, damit das organische Leben sich abspielen kann; vieles davon ist erst seit der neueren Entwicklung der Physik uns verständlich geworden. Wir verzichten auf metaphysische und philosophische Betrachtungen, etwa wie das Leben entstanden sein mag und welchen Sinn das Leben hat. Die Existenz des organischen Lebens, so wie es sich auf unserer Erde abspielt, nehmen wir als gegeben hin.

Unsere Erde nennen wir einen Teil des Sonnensystems. Diese Bezeichnung geht auf die von *Nicolaus Kopernikus* im Anfang des 16. Jahrhunderts begründete, von *Johannes Kepler* zu Ende des gleichen Jahrhunderts gesetzmäßig formulierte Anschauung zurück, daß die Erde wie die anderen Planeten in regelmäßigen Bahnen die Sonne umlaufen, und daß von der Sonne eine Kraft ausgeht, welche diesem „Sonnensystem“ Ordnung und Bestand verleiht.

Rund 50 Jahre nach *Keplers* Tod, 1686, erkannte *Isaak Newton*, daß diese Kraft, welche die Planeten auf ihren Bahnen hält, identisch ist mit der Kraft, welche einen Stein oder den Regen oder einen Meteor auf die Erde fallen läßt oder welche den Mond an die Erde fesselt. Alle Massen ziehen einander an, zwischen allen Massen wirkt die Gravitationskraft, ihrer Stärke nach abhängig nur von ihren Größen und von ihrem Abstand. Die Sonne ist das Kraftzentrum, weil sie die weitaus größte Masse hat.

Für unser Leben spielt aber die Sonne eine ganz andere Rolle: sie ist das **Energiezentrum** für die Heizung unserer Erde und für alle auf der Erde ablaufenden Prozesse, welche zu ihrem Ablauf Energie benötigen — ganz gleichgültig, ob diese Energie ohne unser Zutun wie etwa beim Wachsen der Pflanzen verbraucht wird oder ob wir für unser kulturelles Leben, für technische Zwecke die Sonnenenergie mit Maschinen in eine geeignete Form bringen. Während das Kraftzentrum durch die Masse der Sonne gegeben ist, liegt das Energiezentrum in der hohen Temperatur der Sonne. Konstante Dynamik des Sonnensystems verlangt konstante Masse, konstante Energetik eine konstante Temperatur der Sonne.

Die Oberfläche unserer Sonne hat eine Temperatur von rund  $6000^{\circ}$  C. Die Temperatur ist eine Folge der Wärmeenergie. Wir wissen, daß sie leuchtet, d. h. physikalisch gesprochen Strahlungsenergie aussendet. Nach dem berühmten Gesetz der Erhaltung der Energie von *Julius Robert Mayer* setzt sich in der Sonne also Wärmeenergie in Strahlungsenergie um. In der Sonne kann also energetisch betrachtet nichts anderes geschehen als in jedem Ofen oder in jeder Glühbirne: es muß irgendeine Energie in Wärmeenergie umgesetzt werden wie wir es bei der „chemischen“ Verbrennung von Kohle im Ofen oder beim Durchgang eines elektrischen Stroms durch den Lampenglühdraht kennen. In der Sonne sind nun diese beiden Vorgänge unmöglich: z. B. gibt es bei  $6000^{\circ}$  keine chemischen Reaktionen mehr. Wir wollen aber die Frage nach der Herkunft der Sonnenenergie vorerst offen lassen und interessieren uns zunächst für das unmittelbar wahrnehmbare, für ihre Übertragung von der Sonne zur Erde und für die Wirkungen, welche sie da hervorbringt.

Während die Wärmeenergie nur durch Materie übertragen werden kann, ist die Strahlung eine Energieform, welche sich auch durch den luft-, also materiefreien Weltenraum fortpflanzt. Kommt nun Sonnenstrahlung auf die Erde, so findet die umgekehrte Umsetzung wie in der Sonne statt: Strahlungsenergie wird teils schon in der hohen Atmosphäre, teils im Wasser, teils in der festen Erde in Wärmeenergie umgewandelt. Wir kennen ja die verstärkte Wärmeempfindung, wenn wir aus dem Schatten in das Sonnenlicht treten; wir wissen auch aus Erfahrung, daß ein dunkler Anzug wärmer wird, als ein weißes Kleid: jener nimmt mehr Strahlung auf, wird also wärmer, während dieses einen großen Teil der Strahlung zurückwirft — deshalb sehen wir ja das Weiß als „hell“, das Schwarz als „Dunkel“! Nun ist unsere Erde nicht vollkommen schwarz; sie wird also einen Teil der auffallenden Strahlung wieder in den Weltenraum zurückwerfen, auf solche Weise kommt ja das Licht von Mond und Planeten zu uns. Ein nicht unbeachtlicher Teil wird in der hohen Atmosphäre absorbiert, wodurch diese warm wird. Und schließlich strahlt die **erwärmte** Erde auch wieder in den kalten Weltenraum hinaus. Es wird also nur ein Teil der Sonnenstrahlung sich in der Temperatur der Erde auswirken.

Wenn wir von Energie sprechen, so wollen wir auch wissen wie groß diese ist. Wir benützen das Energiemaß, das uns geläufig ist aus den Rechnungen des Elektrizitätswerkes, die Kilowattstunde. Wenn die Sonne eine Stunde lang strahlt, so fällt auf jeden Quadratmeter der äußersten Atmosphäre 1,4 KWh. Berücksichtigen wir, daß in der Atmosphäre schon ein Teil der Sonnenstrahlung absorbiert, ein Teil zerstreut wird und daß auch die Erde einen Teil derselben in den Weltenraum hinaus reflektiert, bedenken wir ferner, daß es manchmal regnet und manchmal Nacht ist und daß die Sonne manchmal höher und manchmal tiefer steht (— und begnügen wir uns mit runden Zahlen —), so erhält jeder Quadratmeter der Erdoberfläche immer noch so viel Energie, daß man mit ihr dauernd eine 100 Watt-Glühlampe brennen könnte; müßten wir also der Sonne das bezahlen, was wir wirklich bekommen, so lautete die Jahresrechnung für jeden benutzten Quadratmeter auf rund 1000 Kilo-

wattstunden! Mitteln wir das über die ganze Erde, so liefert die Sonne für jeden auf ihr lebenden Menschen dauernd an die 30 000 Kilowatt! Das ist die Leistung von tausend 40 PS-Motoren!

Diese Leistung der Sonne wirkt sich zunächst in der Temperatur der Erde aus — ihre mittlere Temperatur ist  $14^{\circ}\text{C}$  — und über diese wirkt sie in den Vorgängen, welche sich im Leben abspielen und die Vorgänge, welche einen Teil unserer Energieversorgung ermöglichen. Die Lebensvorgänge verlangen an sich eine bestimmte Temperatur, und vor allem muß das Wasser in der flüssigen Form vorliegen; es darf nicht dauernd Eis und nicht dauernd Wasserdampf sein.

Aber die Wärmeenergie, welche die Sonne der Erde liefert, muß nicht nur die für das Leben erforderliche Temperatur liefern und dafür sorgen, daß das Wasser im Mittel flüssig ist: sie muß auch die Verteilung des Wassers besorgen, seinen dauernden Kreislauf. Denn es genügt ja nicht, daß die Meere flüssiges Wasser enthalten. Ohne eine dauernde Zufuhr von Energie zur Aufrechterhaltung des Kreislaufes des Wassers müßte alles Wasser schon längst sich an den tiefsten Stellen gesammelt haben, alles höher gelegene Land wäre trocken, es gäbe insbesondere keine Quellen, keine Flüsse. Ein Teil der Strahlung der Sonne wird, wie wir schon sagten, im Wasser, z. B. im Meer absorbiert und dort in Wärmeenergie umgewandelt. Diese Wärmeenergie wird verbraucht, um einen Teil des Wassers zu verdunsten, also vom flüssigen Zustand in den gas- (oder dampf-) förmigen überzuführen.

Da das von der Sonne erwärmte Wasser auch die über dem Wasser liegende Luft erwärmt, steigt diese in die Höhe und nimmt dabei den Wasserdampf mit. Da die höheren Luftschichten kälter sind (— und die aufsteigenden Gase sich außerdem noch aus anderen Gründen abkühlen —), wird der Wasserdampf sich wieder zu Tröpfchen flüssigen Wassers kondensieren und schließlich zu Eis-Kriställchen erstarren; so entstehen die Wolken. Wenn die Erde an verschiedenen Stellen verschieden stark erwärmt ist, allein schon durch den Tageszeitenwechsel, entstehen die Winde, welche die Wolken über das Land bringen. Die von der warmen Erde aufsteigende Luft trägt zunächst die Wolke. Sind die Eiskriställchen aber genügend groß d. h. schwer geworden, so fallen sie als Schnee oder auch als Regen, wenn die Schneekristalle beim Durchfallen wärmerer Schichten wieder schmelzen; das Regenwasser läuft von Felsen und Abhängen herunter, bildet Bäche und Flüsse und gelangt schließlich wieder zu dem Meere. Die Sonnenenergie hat also das Wasser vom Meer auf das hohe Land gebracht; beim Rückfluß gibt es diese Energie wieder ab. Sie wird im allgemeinen durch die Reibung auf Felsen, in Spalten oder in Bächen in Reibungswärme umgesetzt oder auch auf Sand und Gerölle übertragen. Wir benützen diesen Kreislauf, wenn wir das Wasser in Talsperren sammeln und dann die Energie des aus ihnen frei oder in weiten Röhren fallenden Wassers in die Drehenergie von Turbinen umsetzen, welche dann die elektrischen Generatoren antreiben: es ist Sonnenenergie, mit der wir beleuchten und heizen, elektrische Maschinen und Eisenbahnen betreiben. Und alles Verbrauchswasser, möge es aus Quellen oder aus Talsperren kommen, ist durch Sonnenenergie aus dem Meere in sie gebracht worden. Diese mußte es erst einmal aus flüssigem Wasser (oder auch aus Eis) in Dampf verwandelt haben; gleichzeitig muß aber die Sonnenenergie die Erde so stark — und doch wieder nicht zu stark — erwärmt haben, daß auf ihr flüssiges Wasser, d. h. Flüsse möglich sind.

Natürlich tritt dieser Verdampfungsvorgang durch Sonnenenergie auch in den Bächen und Flüssen ein, selbst Eis und Schnee verdampfen ja, wie wir bei längeren Kälteperioden am Verschwinden des Schnees auf Feldern merken. Warum kommt aber doch so viel Wasser flüssig ins Meer zurück und warum gefrieren selbst bei anhaltender Kälte Seen und Ströme so langsam? Diese doch auffallenden Erschei-

nungen beruhen auf ganz besonders anomalen Eigenschaften des Wassers; diese sind ein ungemein wichtiger Faktor in den Lebensbedingungen unserer Welt. Das Wasser braucht schon relativ viel Wärme, damit seine Temperatur sich um  $1^{\circ}$  Celsius erhöht, nämlich rund eine Calorie für 1 Kilogramm Wasser. Damit aber ein Kilogramm verdampfen kann, werden 600 Calorien benötigt. Die vorhin angegebene mittlere Strahlungsleistung der Sonne pro 1 Quadratmeter liefert aber diese Wärmeenergie erst in 7 Stunden, unter der Voraussetzung, daß die ganze Sonnenenergie vom Wasser aufgenommen wird — es wird aber nur ein kleiner Bruchteil absorbiert. Und die gleiche Menge Eis braucht 80 Calorien, um geschmolzen zu werden. Diese anomalen thermischen Eigenschaften von Eis und Wasser bedingen die lange Lebensdauer des flüssigen Wassers trotz großer Wärmezufuhr oder -abfuhr; ihnen verdankt man die relativ große Konstanz des Klimas, die langsamen Temperaturänderungen, besonders in der Nähe von Küsten der Meere und Seen. Im Sommer steigt die Temperatur langsam an, im Winter nimmt sie langsam ab; es dauert lange bis ein See gefriert und bis er wieder auftaut. Die schroffen Temperaturwechsel zwischen Tag und Nacht in Wüstengegenden sind die Folge der Wasserlosigkeit.

Die Temperaturspanne zwischen Eis und Dampf ist nun sehr klein, sie beträgt bekanntlich nur  $100^{\circ}$  C. Daher liegt die Frage nahe, wie die mittlere Temperatur der Erde sich ändern würde, wenn die Sonnenstrahlung stärker oder schwächer wäre. (Wir begnügen uns mit größenordnungsmäßigen Zahlenangaben). Die Strahlung eines erhitzten Körpers hängt von seiner Temperatur ab, und zwar überaus stark. Diese Gesetze sind so gut bekannt, daß wir zuverlässig berechnen können, wie sich die Strahlung der Sonne und damit auch die Erdtemperatur ändern würde, wenn die Sonnentemperatur sich änderte oder überhaupt eine andere wäre. Das Ergebnis ist überraschend: Wäre die Sonnenoberfläche nur  $5000^{\circ}$  statt  $6000^{\circ}$  heiß, so würde die mittlere Temperatur der Erdoberfläche unter  $0^{\circ}$  liegen; das Wasser wäre meistens zu Eis erstarrt; und bei  $7000^{\circ}$  der Sonnenoberfläche würde die mittlere Temperatur schon über  $100^{\circ}$  ansteigen; der Siedepunkt des Wassers wäre überschritten. Das ist die erste Erkenntnis: das Leben ist an recht enge Bedingungen für die Sonnentemperatur geknüpft. So ist es doch wohl naheliegend zu fragen, ob denn nicht mit einer dauernden Temperaturabnahme der Sonne zu rechnen ist, denn wir wissen doch, daß ein heißer Körper sich abkühlen muß, wenn er — wie die Sonne es ja macht — Energie abgibt. Wieder werden wir auf die Frage nach der Heizungsquelle in der Sonne geführt.

Wir haben bisher immer nur generell von der Strahlung der Sonne gesprochen, also keinen Gebrauch davon gemacht, daß wir diese Strahlung sehen. Warum sehen wir die Sonnenstrahlung? Die Frage gewinnt an Bedeutung durch die Entdeckung von vielen Strahlenarten, die sich ihrem Wesen nach von dem, was wir Licht nennen, gar nicht unterscheiden und die dennoch unsichtbar sind. Ich will zunächst nur zwei solcher Strahlungsgruppen erwähnen: die Strahlen, mit welchen wir drahtlos Nachrichten übermitteln und die Röntgenstrahlen.

Die erste Gruppe wird kurz als „elektrische Wellen“ bezeichnet. Das Wort ist schlecht, es müßte elektromagnetische Wellen heißen; denn in dem Sender laufen periodische elektrische und magnetische Vorgänge miteinander gekoppelt ab, welche sich auf den Raum um den Sender auswirken und in ihm fortpflanzen, bis sie auf einen Empfänger treffen, in welchem sie dann zu Wirkungen veranlaßt werden, die uns als Schall oder auch als Licht erscheinen, Rundfunk und Fernsehen. Die Vorgänge sind Schwingungsvorgänge, sie werden, wie Sie in Rundfunknachrichten oft lesen und hören, durch ihre Frequenz gekennzeichnet. Es ist wohl nicht möglich, diese Begriffe und Vorgänge kurz physikalisch zu erklären; wir wählen eine leichter übersehbare

Analyse, wenn auch der Vorgang gänzlich anderer Art ist; es mag Ihnen aber vielleicht eine Erleichterung sein, wenn ich Sie bitte, einmal kurz an eine Stimmgabel oder an eine Saite eines Musikinstruments zu denken; je nach der Schwingungszahl, der Frequenz der Gabel oder der Saite, hören Sie einen tiefen oder einen hohen Ton. Die Schwingungen des Schallsenders erregen mechanische Änderungen z. B. Dichteänderungen in der umgebenden Luft; diese pflanzen sich mit der erzeugten Frequenz fort und treffen unser Trommelfell. Schwingt die Saite 15mal in der Sekunde hin und her und so auch unser Trommelfell, so hört man den tiefsten Ton. Schwingt sie etwa 20 000mal, so liefert sie den höchsten Ton, den unser Ohr wahrnehmen kann. Ist die Frequenz der Saite oder Stimmgabel kleiner als 15, so sind physikalisch gesehen, die Vorgänge ganz genau die gleichen, und auch dann, wenn ihre Frequenz mehr als 20 000 ist; aber das Ohr spricht nicht mehr an. Das liegt aber nur am Bau unseres Ohres, nicht an den physikalischen Vorgängen in der Saite oder in der Luft.

Der drahtlose Sender überträgt nun nicht mechanische Energie auf die Luft, sondern elektromagnetische Energie auf den umgebenden Raum; auch sie ist charakterisiert durch ihre Frequenz. Unser Auge, überhaupt alle Organe unseres Körpers sind für diese Frequenzen vollständig unempfindlich. Die von den „Licht“quellen ausgestrahlte Energie besteht nun aus genau denselben elektromagnetischen Vorgängen im Raum, nur ist ihre Frequenz viel, viel höher: durch diese Frequenzen wird in unserem Auge ein Vorgang bewirkt, der sich in das, was wir Helligkeit nennen, im Gehirn umsetzt. Im Auge selbst ist es eine chemische Reaktion, — das wollen wir für spätere Betrachtungen uns merken! — welche durch diese Frequenzen, die wir deshalb die „Lichtfrequenzen“ nennen, zum Ablauf gebracht wird.

Die Röntgenstrahlen sind wiederum genau der gleiche physikalische Vorgang wie Rundfunk- und Lichtstrahlen, aber ihre Frequenzen sind noch viel höher: das Auge sieht sie nicht. Aber — und das ist sehr wichtig — das Auge reagiert darauf; sie erzeugen wie die Lichtstrahlen einen chemischen Vorgang, aber dieser führt nicht zum Lichteindruck, zum „Sehen“ der Röntgenstrahlen, sondern zu einer Zerstörung der Sehsubstanz, zur Erblindung.

Von den Rundfunksendern und -empfängern wissen wir, daß man sie auf ganz verschiedene Frequenzen abstimmen kann. Gibt es auch Lichtstrahlung von verschiedenen Frequenzen? Die Physik konnte Methoden entwickeln, welche die Frequenz der Lichtschwingungen ermitteln ließen. Dabei ergab sich, daß das was wir als verschiedene Farben sehen, verschiedene Frequenzen sind; und zwar wird der Eindruck „Rot“ von kleineren, der Eindruck „Violett“ von höheren Frequenzen bewirkt. Sie kennen alle den Regenbogen: die Farbenfolge von rot über gelb, grün, blau bis violett wird aus dem weißen Sonnenlicht durch Lichtbrechung und eine Frequenzzerlegung des weißen Lichts in den Regentropfen hervorgebracht; die Frequenzen nehmen von rot bis violett stetig zu.

Wir wollen nun eine ganz bekannte Strahlungserscheinung bezüglich ihrer Frequenzen analysieren: die Strahlung eines mit Kohlen geheizten Ofens. Normalerweise sehen wir einem Ofen nicht an, ob er geheizt ist; aber wir empfinden seine Strahlung. Wir brauchen nur einen Ofenschirm aus Papier, Metall oder Glas zwischen Ofen und Körper zu setzen: die Zustrahlung von Wärmeenergie wird unterbrochen, wir empfinden keine „direkte Wärme“; die Temperatur der Luft um uns kann sich unmöglich momentan durch die Aufstellung des Ofenschirms ändern! Früher sagte man, der Ofen sende Wärmestrahlung aus. Die Physik hat gelehrt, daß ein erhitzter Körper unter 530° C. eine Strahlung aussendet, deren Frequenzen noch etwas kleiner sind als die von uns als rot empfundenen. Man nennt sie deshalb ultrarote Strahlung. Wir sehen sie nicht. Sie ist also nicht in der Lage, den chemischen Vorgang in der Netzhaut zu bewirken.

Wird der Ofen immer stärker geheizt, wobei seine innere und äußere Temperatur ansteigt, so wird schließlich die Außenwand glühend, und zwar zunächst dunkelrot, dann hellrot, dann gelbglühend. Bei einer Glühlampe kennen wir ähnliches: wenn durch eine Störung in der Elektrizitätsenergieversorgung die Spannung abfällt, so glüht der Faden nicht nur weniger hell, sondern auch nicht mehr weiß, sondern gelblich, oder gar nur dunkelrot. Die physikalische Analyse sagt nun, daß z. B. das gelbliche Licht aus den unsichtbaren ultraroten Frequenzen und den sichtbaren roten, gelben und grünen besteht, und daß im weißen Glühlampenlicht außerdem blaue und violette Frequenzen und dazu noch höhere Frequenzen enthalten sind, die ultraviolette Strahlung, die nun für unser Auge wieder unsichtbar ist. Und dennoch reagiert das Auge auf sie: es wird zerstört ebenfalls durch einen chemischen Vorgang. In diesen Analysen ist ein wichtiges Erkenntnis enthalten: je höher die Temperatur eines leuchtenden Körpers ist, desto höhere Frequenzen sendet er aus. Die Strahlung der Sonne besteht also aus einem breiten Frequenzband — ultrarot, rot bis violett und ultraviolett.

Diese Erkenntnis gibt uns Veranlassung, die Wirkung der Strahlung der Sonne auf unsere Erde nochmals zu diskutieren. Denn bisher haben wir nur von der Umsetzung der Strahlung in Wärmeenergie, in Erwärmung der Erde und des Wassers gesprochen. Sind dabei alle die Frequenzen beteiligt? Sieht die Erde — können wir fragen — alle diese Frequenzen? Die Antwort ist „ja“ — aber es gibt einige Besonderheiten.

Die erste und nicht unwichtigste ist, daß schon in der Atmosphäre ein großer Teil der unsichtbaren ultraroten Frequenzen absorbiert wird, also gar nicht auf die Erde kommt. Und zwar sind es nicht die Hauptgase, der Sauerstoff und der Stickstoff, welche diese ultrarote Strahlung absorbieren, sondern die nur in relativ kleinen Beträgen in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf- und Kohlensäuremengen, ganz besonders der Wasserdampf, dessen Erzeugung durch die Energie der sichtbaren Sonnenstrahlung aus dem Meer wir schon behandelten. Wegen ihres Wasserdampfgehaltes wird also die Atmosphäre warm, weil er die ultraroten Frequenzen der Sonnenstrahlung absorbiert, also in Wärmeenergie umsetzt.

Das ist schon von Wichtigkeit — aber es ist nicht das Wichtigste. Unsere Erde ist ja durch die aufgenommene (absorbierte) Sonnenstrahlung warm geworden: also strahlt sie in den kalten Weltenraum aus. Und da ihre Temperatur unter  $530^{\circ}$  ist, strahlt sie nur die niederen ultraroten Frequenzen aus. Wenn also während der Nacht die energiezuführenden Sonnenstrahlen aussetzen, so muß die Erde ihre Wärmeenergie in Form von ultraroter Strahlung abgeben, also sich abkühlen. Aber gerade diese Strahlung wird ja vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre absorbiert, also nicht in den kalten Weltenraum hinausgelassen. Sie wissen vielleicht aus Erfahrung, daß in sehr klarer, also wasserdampfarmer Luft die nächtliche Abkühlung viel stärker ist, als bei feuchter Luft oder gar bei bewölktem Himmel; man spricht ja im täglichen Leben von „Ausstrahlungsfrösten“. Die vorhin erwähnten kalten Wüstennächte beruhen auf der wegen der trockenen Atmosphäre ungehinderten Ausstrahlung.

Daß unsere Nächte nicht bitter kalt sind, daß die Erde nicht die beim Tag aufgenommene Sonnenenergie des Nachts als ultrarote Strahlung wieder abgibt, ist nur eine Folge ihrer Wasserdampf enthaltenden Atmosphäre. Dieses ist eine der wichtigsten irdischen Bedingungen für das Leben. Die Atmosphäre ist nicht nur für das Atmen da, sondern für die Verminderung der nächtlichen Ausstrahlung. Den hierfür erforderlichen Wasserdampf liefert aber wieder die Sonnenenergie während des Tages.

Die Sonnenenergie hat aber noch eine ganz andere Bedeutung für das Leben: sie liefert — zunächst einmal ganz grob gesagt — das Licht, welches z. B. für das Wachs-

tum der Pflanze unentbehrlich ist. Die Art dieser Wirkung ist erst durch die moderne Entwicklung der Physik der Strahlung, durch die Quantentheorie erkannt worden. Wir hatten bemerkt, daß der primäre Vorgang beim Sehen eine chemische Reaktion in der Netzhaut ist, welche durch Licht zum Ablauf gebracht wird; und wir wiesen darauf hin, daß die niederfrequente ultrarote Strahlung offenbar deshalb nicht gesehen wird, weil sie nicht in der Lage ist, die für diesen Prozeß erforderliche Energie zu liefern. Wohl aber tun das die höheren Frequenzen, die wir deshalb als Licht empfinden; und die noch höheren ultravioletten Frequenzen machen chemische Reaktionen, welche zu einer Zerstörung der Substanz führen, also offenbar zu viel Energie enthalten.

Diese chemischen Umsetzungen, welche die für sie erforderliche Energie aus dem Licht, aus der Strahlung erhalten, nennt man photochemische Reaktionen. Das ist eine ganz andersartige energetische Wirkung des Lichts, als die, welche wir bisher betrachteten. Die Sonnenstrahlungsenergie setzt sich bei dieser Absorption in gewissen Substanzen nicht in Wärme um, sondern verändert die chemische Zusammensetzung der absorbierenden Moleküle. Man spricht von der molekularen Arbeitsfähigkeit der Strahlung und erkennt, daß diese von der Frequenz der Strahlung abhängig ist.

Hier erkennen wir eines der Grundgesetze der Strahlung. Wir hatten abgeleitet, daß die von einem erhitzten Körper ausgesandten Frequenzen um so höher sind, je höher seine Temperatur ist, d. h. je größer seine molekulare Wärmeenergie. Jetzt sehen wir, daß die molekulare Arbeitsfähigkeit der Strahlung, also ihre molekulare Energie umso größer ist, je größer die Frequenz. Das ist die tiefe Erkenntnis der sogenannten Quantenenergie. Die Frequenz der Strahlung bedingt bei der *Wirkung* ihre molekulare Energie; die Höhe der Frequenz bei ihrer *Entstehung* ist durch die molekulare Energie der Lichtquelle gegeben.

Es gibt sehr zahlreiche photochemische Reaktionen. Am bekanntesten sind wohl der photographische Prozeß und das Ausbleichen, die Lichtunechtheit von Farbstoffen. In keinem Fall tritt eine Umsetzung des Lichtes in Wärme auf, sondern in chemische Reaktionsarbeit. Es gibt photographische Platten, d. h. Stoffe in ihrer Emulsion, welche durch das sichtbare Licht so verändert werden, daß man mit ihnen „photographieren“ kann; nimmt man Stoffe, welche eine höhere Energie für ihre Veränderung brauchen, so kann man mit ihnen nur die höheren ultravioletten Frequenzen photographieren. Niemals aber gelingt es, die kleineren ultraroten Frequenzen zu photographieren: ihre molekulare Arbeitsfähigkeit, ihre „Quantenenergie“ ist nicht mehr groß genug, um chemische Moleküle noch zu verändern. Sonnenstrahlung bräunt unsere Haut — wieder ein photochemischer Prozeß; aber zu viel ultraviolettes Licht, also höhere Frequenzen, erzeugen den Gletscherbrand: die erwünschte Reaktion der Pigmentbildung geht über in die Zerstörung des Gewebes.

Die sicherlich wichtigste photochemische Reaktion des Lebens ist das Wachsen der Pflanzen. Die Pflanze besteht (wie auch alle Gewebe unseres Körpers) im wesentlichen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Wasserstoff und Sauerstoff sind die Bestandteile des Wassers, Stickstoff (und auch Sauerstoff) sind in der Luft vorhanden. Woher kommt aber der wesentlichste Bestandteil, der Kohlenstoff? Im Boden, aus dem die Pflanze die Nährsalze aufnimmt, ist er meistens nicht enthalten. Er stammt aus dem kleinen Gehalt an Kohlensäure unserer Atmosphäre. Diese Kohlensäure wird mit Hilfe des Blattgrüns, des Chlorophylls, in ihre Bestandteile Kohlenstoff und Sauerstoff zerlegt, wenn die Frequenzen der sichtbaren Strahlung die hierfür erforderliche Energie liefern. Aus dem Kohlenstoff baut

sich dann das Gerüst der Pflanze auf, der Sauerstoff geht in die Luft, in der er dann Tier und Mensch das A t m e n , d. h. ihr Leben ermöglicht. Hierbei wird wieder organische Materie mit dem Sauerstoff zu Kohlensäure umgesetzt, welche ausgeatmet wird, und nun der Pflanze wieder zur Verfügung steht.

Diese Zerlegung der Kohlensäure durch Licht nennt man die *Assimilation* der *Kohlensäure* — ein Name, der noch aus der Zeit stammt, als man nur den Verbrauch von Kohlensäure zum Wachsen kannte, nicht aber den Verlauf der Reaktionen. Die Frequenzen, welche wir sehen, haben auch die „richtige“, d. h. die für diese Zerlegung erforderliche (Quanten)-Energie; die molekulare Energie der ultraroten Strahlung ist zu klein, die der ultravioletten Strahlung ist zu groß: sie verbrennen die Pflanze, so wie das Auge oder die Haut.

Nun bitte ich Sie, sich daran zu erinnern, was wir vorhin über die Strahlungsfrequenzen sagten, welche glühende Körper aussenden: daß mit steigender Temperatur die Emission der höheren ultravioletten Frequenzen immer (und zwar sehr schnell) stärker wird. Die quantitativen Zusammenhänge zwischen Temperatur des Strahlers und Frequenz der ausgesandten Strahlung kennt man durch Laboratoriumsversuche so genau, daß man sie auf beliebige Temperaturen ohne Bedenken extrapolieren kann. Auf die Sonne übertragen ergibt sich: Wäre die Sonne um 1000<sup>o</sup> kälter, so würde die Emission der die Assimilation bewirkenden „sichtbaren“ Frequenzen stark abnehmen: das Pflanzenwachstum würde erheblich geschwächt. Wäre die Sonne um 1000<sup>o</sup> heißer, so würde die Emission der ultravioletten Strahlung so stark zunehmen, daß die Pflanzen „verbrennen“.

Wiederum erkennen wir aus einem ganz anderen Grunde als vorhin, daß weder eine kältere noch eine heißere Sonne die erforderlichen Lebensbedingungen liefern könnte.

Aber eine Schwierigkeit ist noch in diesen Betrachtungen vorhanden: unsere Sonne von 6000<sup>o</sup> sollte auf Grund des in Laboratoriumsversuchen erschlossenen Strahlungsgesetzes viel mehr der zerstörenden ultravioletten Strahlung enthalten, als tatsächlich gemessen wird. Wiederum ist es unsere Atmosphäre, welche uns vor diesem zuviel schützt: diese und zwar jetzt besonders ihr Gehalt an Sauerstoff, absorbiert einen gerade genügenden Teil dieser für unser Leben zu energiereichen, photochemisch wirkenden Strahlung.

So erhalten wir das Ergebnis: unsere Sonne liefert gerade die für das Leben erforderliche Erdtemperatur, unsere Atmosphäre verhindert eine zu starke Strahlungsabkühlung unserer Erde. Unsere Sonne liefert bevorzugt die Frequenzen, welche die Energie enthalten, um die Kohlensäure der Luft in den Kohlenstoff für das Pflanzenwachstum und in den Sauerstoff für unsere Atmung zu zerlegen; und unsere Atmosphäre verhindert, daß zuviel der verbrennenden hohen ultravioletten Frequenzen der Sonnenstrahlung auf die Erde kommen. Zudem würde zu intensive und zu hochfrequente ultraviolette Strahlung eine große Änderung der Zusammensetzung unserer Atmosphäre bewirken.

Wir wollen nun fragen, ob unsere Überlegungen einen Anhaltspunkt darüber enthalten, daß an anderen Stellen der Welt ein organisches Leben — im wesentlichen dem unseren ähnlich — existiert, existieren kann oder nicht existieren kann. Die Einheitlichkeit der *Materie* in aller Welt führt zu der zwingenden Antwort, daß überall dort die gleichen Lebensprozesse wie auf unserer Erde ablaufen können, wo Planeten mit Sonnen mit ungefähr der Temperatur unserer Sonne als Energiezentren verbunden sind.

Dazu gehören als weitere Bedingungen, daß solche Planeten Massen und Atmosphären haben, welche sich von denen unserer Erde nicht allzu stark unterscheiden.

Da z. B. der Mond von diesen Bedingungen zu stark abweicht, ist ein Leben dort nicht möglich. Die Masse des Mondes ist nämlich zu klein, um eine Atmosphäre halten zu können; und die astronomische Beobachtung unseres Begleiters zeigt in der Tat, daß diese — wenn überhaupt vorhanden — nur einen äußerst kleinen Druck haben kann. Sonst wäre es z. B. unmöglich, solch scharfe Konturen und Schatten der Mondgebirge zu sehen. Wegen des Fehlens einer Atmosphäre genügender Dichte fällt am Montag die volle Sonnenstrahlung auf die Mondoberfläche auf, während unsere Erdoberfläche wegen der Absorption der Strahlung in der Atmosphäre nur einen Teil derselben erhält. Die Folge ist, daß am Montag die Temperatur auf einige hundert Grad ansteigt und alle Pflanzen durch die ultraviolette Strahlung verbrennen müßten. In der Mondnacht kühlt sich der Mond bis gegen den absoluten Nullpunkt durch Ausstrahlung ab, weil die wärmeisolierende Atmosphäre fehlt. Leben auf dem Mond ist also nicht möglich, weil die bei den Lebensbedingungen unserer Erde besprochenen und so wichtigen ausgleichenden Einflüsse der Atmosphäre nicht bestehen, und zwar sowohl die Verringerung der Gesamteinstrahlung als auch die Vernichtung der ultravioletten Strahlung, welche die organische Substanz zerstört, und die Verhinderung der Ausstrahlung. Wir wissen sicher, daß es auf dem Mond kein Wasser geben kann; in der Mondnacht wäre es gefroren, am Mondmorgen würde das Eis schmelzen, am Montag das Wasser verdampfen: wir sehen aber keine Wolken.

Auf der Venus könnte ein Leben durchaus möglich sein, sie hat eine dichte, vor allem aus Wasserdampf, Kohlensäure und Kohlenwasserstoffen bestehende Atmosphäre — diese allein sehen wir; die feste Oberfläche der Venus hat noch niemand gesehen. Andere Planeten, wie Uranus und Neptun, sind von der Sonne zu weit entfernt, bekommen also deswegen nicht genügend Strahlungsenergie, sind also zu kalt.

Nehmen wir einmal an, es gäbe ein organisches Leben auf der Venus — kann dieses mit dem unserer Erde in Zusammenhang stehen? Lebewesen, Lebenskeime, Bakterien und Pollen hat man in sehr hohen Schichten unserer Atmosphäre schon gefunden.

Können sie von einem zu anderen Planeten fliegen, sich aussäen, so wie sie sich auf der Erde über Meere und Kontinente verbreiten? Die tiefe Temperatur des Weltraumes ist wohl kein Hinderungsgrund, nachdem für manche Samen nachgewiesen ist, daß ihre Keimfähigkeit bei sehr tiefen Temperaturen viel länger erhalten bleibt als bei höheren. Aber ob sie nicht von der Sonnenstrahlung viel zu stark erwärmt und chemisch verändert („getötet“) werden — darüber weiß man noch nicht genügend Bescheid.

Eine andere Frage ist, ob so andersartige materielle Lebensvorgänge möglich sind (und nur von dem Materiellen sprechen wir), daß sie unter gänzlich anderen Verhältnissen der Temperatur und der Strahlung ablaufen können. Wir können dabei auch annehmen, daß es kein Wasser gäbe und somit auch kein Blut und keine Pflanzensäfte und auch die festen Stoffe sollten ganz anderer Art sein — Eiweiß, Fette, Kohlenhydrate, also die unser organisches Leben ausmachende Kohlenstoffchemie soll ausscheiden. Kurz, wir wollen ganz frei für unsere Antwort sein. Hier möchten wir doch mit einem recht gut begründeten Nein antworten. Die Lebensvorgänge brauchen eine von außen zugeführte Energie und bestehen in der Veränderung der Stoffzusammensetzung mit Hilfe, d. h. unter Verbrauch (Umwandlung) dieser Energie. Wären es energieliefernde Prozesse oder stünde nur ein einmal zugeführter Energiebetrag für die chemischen Umsetzungen zur Verfügung, so würden diese bis zu einem als Tod zu bezeichnenden Ende ablaufen. Die Energie kann als Wärmeenergie oder als Strahlungsenergie geliefert werden. Die Größe der erforderlichen Energien für chemische Reaktionen hängt aber von dem Bau der Atome ab. Nun

wissen wir, daß alle — d. h. die uns bekannte Welt aus den gleichen Atomen, den gleichen Bausteinen der Materie besteht. Deshalb müssen alle Umsetzungen, sowohl die aufbauenden wie die abbauenden überall die gleichen sein und damit auch die für die Bildung oder Umbildung von Molekülen erforderliche Energie und die zu ihrer Zerstörung führende Energie. Würde lediglich Wärmeenergie zugeführt werden, so müßte sich ein Gleichgewichtszustand einstellen, also das Gegenteil von Leben. Zufuhr von wesentlich höherer Strahlungsenergie im Sinn der Quantentheorie als wir sie von der Sonne bekommen, bewirkt aber — wenn sie von den Molekülen überhaupt aufgenommen wird — eine Zerstörung, eine *Photolyse* und nicht eine *Photosynthese*; und eine kleinere Strahlungsenergie reicht nicht aus, um die für einen chemischen Prozeß erforderliche Änderung im Elektronenaufbau der Atome zu bewirken.

Die Bedingungen für Lebensvorgänge sind also ziemlich eng; sie sind an bestimmte Temperaturen und an bestimmte Strahlungszuführung gebunden, die nicht viel anders sein dürfen, als sie auf unserer Erde herrschen. Diese Bedingungen aber — das sei nochmals betont — können vielerorts in der Welt gegeben sein.

Unsere Betrachtungen wären unvollständig, wenn wir nicht auf die Frage wenigstens noch kurz eingehen würden, woher eigentlich die Sonne ihre Energie erhält, so, daß sie ein — bezüglich Quantität (Energie) und Qualität (Frequenzen) — *k o n s t a n t e s* Energiezentrum ist. Wenn ein Ofen dauernd Wärme liefern, wenn eine Glühlampe dauernd leuchten soll, so muß die abgegebene Energie durch neues Heizmaterial, durch elektrische Energie immer wieder ersetzt werden. Der Heizofen zeigt uns aber noch etwas anderes: die Temperatur des Heizmaterials, überhaupt des Innern, ist höher als die Temperatur der Oberfläche. Also muß auch im Innern der Sonne eine höhere Temperatur als an ihrer Oberfläche herrschen. Man kann das ziemlich gut berechnen: es müssen dort etwa 20 Millionen Grad herrschen. Damit ist es ausgeschlossen, daß in der Sonne etwa Kohle verbrennt; man kann übrigens auch leicht aus der von der Sonne abgestrahlten Energie abschätzen, daß eine Kohlenmasse von der Masse der Sonne in einigen 1000 Jahren vollständig verbrannt wäre. Die Geschichte unserer Erde lehrt uns aber, daß sie schon mindestens einige hundert Millionen Jahre so heiß ist wie heute und daß sie vielleicht schon einige Milliarden Jahre alt ist. Das sind Größen, die wir uns zwar nicht „vorstellen“ können, — die aber für die wissenschaftliche Betrachtung durchaus reell sind, wenn wir stets uns vor Augen halten, welche *Extrapolationen* wir dabei vorgenommen haben. Man muß also warnen, hieraus allzu quantitative weltanschauliche Schlüsse zu ziehen!

Die Frage nach der Herkunft der Sonnenenergie ist erstmals — physikalisch begründet mit dem Gesetz der Erhaltung der Energie — in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts von *Julius Robert Mayer* gestellt worden; fast 100 Jahre später wurde sie beantwortet: die Heizung der Sonne erfolgt mit „*Atomenergie*“. Auch in ihr laufen energieliefernde Reaktionen ab, aber von ganz anderer Art als die chemischen Reaktionen. Bei letzteren setzen sich die Atome der chemischen Elemente wie Bausteine zu Molekülen zusammen, so etwa wenn in unserem Ofen aus Kohle und Sauerstoff Kohlensäure entsteht. In der Sonne aber bilden sich aus *E l e m e n t e n* andere *E l e m e n t e*, und zwar baut sich aus Wasserstoff das auch auf der Erde bekannte Element Helium auf. Diese Reaktion geht nur bei sehr hohen Temperaturen vor sich, wie man aus dem Studium derselben im Laboratorium weiß und liefert eine ungeheure Energie. Diese Energie stammt aus der *M a s s e*; das ist wohl die größte Entdeckung der letzten 50 Jahre: 4 Wasserstoffatome bilden ein Heliumatom und dieses ist leichter als die 4 Wasserstoffatome. Der Massenverlust tritt als Strahlung der Sonne auf; auch das, was wir *M a s s e* nennen, ist eine *E n e r g i e f o r m*. 1 Gramm Materie (ganz gleichgültig wel-

cher Art) entspricht einer Energie von 25 Millionen Kilowattstunden. Es ist fast unvorstellbar, daß *Robert Mayer* bereits hieran dachte: daß die Sonne durch ihre dauernde Energieabgabe leichter werden müsse! Heute wissen wir, daß das geschieht. Daß der Wasserstoffgehalt der Sonne sehr groß ist, weiß man lang, er beträgt mindestens 40 %, vielleicht sogar über 90 % der gesamten Sonnenmasse — dieser „verbrennt“ (wenn es gestattet sei, das so zu nennen) allmählich zu Helium; er wird also verbraucht; und da bei der Heliumbildung Masse in Form von Energie umgesetzt wird, wird die Sonne dauernd leichter.

Das Energiezentrum unseres Lebens ändert sich also dauernd in der Richtung der Erschöpfung: Masse, Energievorrat und Heizmaterial nehmen dauernd ab. Laboratoriumsmessungen — das sei immer betont! — lassen uns berechnen, daß unsere Sonne wegen ihrer Ausstrahlung pro Sekunde um 5 Millionen Tonnen leichter wird: 5 Millionen Tonnen „Heizmaterial“ wird sekundlich verbrannt und als Strahlungsenergie abgegeben. Ist das viel? Nun ja und nein. Im Jahre wären das 150 Billionen Tonnen; alle Kohlenkraftwerke der Erde verbrauchen in der gleichen Zeit nur einige Milliarden Tonnen Kohle! Aber die Sonnenmasse ist so groß, daß sie in einigen Milliarden Jahren nur einige Zehntausendstel ihrer Masse verbraucht hat, und der Brennstoff der Sonne, der Wasserstoff, ist so reichlich vorhanden, daß sie wohl noch 1000 mal so lange davon zehren, also Strahlung aussenden kann.

Immerhin: wenn wir das Grundsätzliche behandeln, so müssen wir mit Sicherheit sagen, daß ihre Masse als Kraftzentrum für das Sonnensystem und als Energiequelle für unser Leben einstmals erschöpft sein wird — aber das wird lange dauern!

Ich könnte mir denken, daß mancher von Ihnen kopfschüttelnd fragt: wie soll ich mir das vorstellen, daß Masse sich in Wärmeenergie, in Strahlung „verwandelt“. Seien wir nicht zu anspruchsvoll — oder seien wir ehrlich: Können Sie sich „vorstellen“, daß die abgebremste Bewegungsenergie eines Schnellzuges sich in die Erhitzung der angelegten Bremsen umwandelt? Hier haben wir es primär mit Naturerscheinungen, mit Äußerungen der Struktur unserer Welt zu tun. Und wenn die Umwandlung von Masse in Energie im Laboratoriumsversuch erwiesen, auch umgekehrt die Entstehung von Masse aus Strahlung nachgewiesen ist, so ist das offenbar ein Einblick in ein Urphänomen unserer Welt, also die Erkenntnis einer Grundlage für die Erklärung, für das „Verstehen“ anderer Vorgänge aus diesen Urphänomenen heraus.

Die theoretische Erkenntnis ist schon 1906 von *A. Einstein* in der speziellen Relativitätstheorie gegeben worden: die Energie einer Masse errechnet sich aus dem Produkt der Masse und dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. Man kann auch sagen, daß das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit das Energieäquivalent der Masse ist (so wie die bekannte Zahl 427 Meterkilogramm das Energieäquivalent der Calorie). Die Lichtgeschwindigkeit aber ist nach heutiger Kenntnis eine universelle Konstante unserer Welt; die Einstein'sche Masseenergie-Beziehung ist zahlenmäßig in vielen Reaktionen experimentell bewiesen.

Wir wollen aber auch noch einen Augenblick an eine nicht so ferne Zukunft denken. Manche unserer Betrachtungen zeigten uns, daß nicht nur unser Leben von der Größe und der Art der Sonnenenergie abhängt, sondern daß wir diese auch für die Gestaltung unseres Lebens verwenden, in Energieformen umsetzen, welche die Entwicklung der Kultur erst ermöglichten. Wir nehmen Sonnenenergie aus dem fallenden Wasser um Mühlen, Turbinen, Elektrizitätswerke zu betreiben, wir nehmen Sonnenenergie zum Betreiben von Windmühlen, wir nehmen Sonnenenergie aus Kohle und Öl, um Wärmeenergie für alle möglichen Zwecke zu gewinnen. Was in den letzteren die Sonnenenergie in hunderten Millionen von Jahren angehäuft hat, verbrauchen wir in hunderten von Jahren. Wir wissen sicher, daß

Kohle und Öl in gut überschaubaren Zeiten aufgebraucht sein werden. Unsere humane Verpflichtung verlangt also, nach anderen Energiequellen Umschau zu halten. Hier bietet sich uns der Vorgang an, welcher in der Sonne die Energie liefert: die Umwandlung von Materie in Energie, die als irdisch-technisches Verfahren in den Atomkernreaktionen der Uranmaschine schon vorliegt. Atomenergie ist eine unserer Hoffnungen für eine nahe Zukunft — unsere Hoffnung und unsere Rettung, wenn die Menschheit sich darüber einig geworden ist, ob sie sich mit diesem Geschenk des Himmels erhalten — oder lieber vernichten will.

Aber noch zu einer anderen Frage geben unsere Betrachtungen Anlaß, einer Frage, die Sie vielleicht schon am Anfang des Vortrages gerne gestellt hätten, als wir sagten, daß die Sonne jedem Menschen dauernd 30 000 Kilowatt liefert. Das ist die mittlere Leistung des oberbayerischen Walchenseewerks! Die Frage ist: Kann man denn die Strahlungsenergie der Sonne nicht unmittelbarer und besser für menschliche Zwecke ausnützen? Wie elend schlecht die Ausnutzung ist, möge eine einfache Rechnung zeigen: Die Fläche des Walchensees mit 16,2 Quadratkilometer erhält von der Sonne eine mittlere Leistung von 2 Millionen Kilowatt, das Werk liefert aber nur effektiv 30 000, d. h. 98,5 % gehen gewissermaßen verloren.

Das was die Pflanzen ausnützen — Obstbäume, Rüben und Gemüse, Getreide und Kartoffeln —, und dann als Nährwerte dem Menschen geben, ist nur ein kleiner Bruchteil der Sonnenstrahlung, welche auf die für die Ernährung ausgenützte Fläche auffällt. Wenn wir von Nährwert sprechen, so drücken wir diesen gelegentlich in einem anderen Energiemaß, in Calorien aus. Berechnen wir die gesamte mittlere Sonnenstrahlung im Jahr pro 1 Quadratmeter Erdoberfläche in Calorien, so ergibt sich 900 000 Cal. Die Ernte eines Quadratmeters eines Zuckerrübenfeldes (das ist die beste Ernährungspflanze) liefert 3500 Cal., also nur 0,4 %! Und ein Quadratmeter Kartoffeln gibt rund 1200, ein Quadratmeter Getreide gar nur 900 Cal. Aber: die Wasserpflanzen, insbesondere die Algen, nützen die Sonnenstrahlung viel, viel besser aus. Sie können im Jahre 30 000 Calorien von den eingestrahnten 900 000, also immerhin an die 3 % verarbeiten. Hier sind schon Versuche im Gang, das Ihnen allen als höchst lästig bekannte schnelle Wachsen der grünen Wasseralgeln zu benützen, um etwa Viehfutter zu erzeugen.

Aber man könnte auch anders fragen: Ist es möglich, eine Wärmekraftmaschine dadurch zu betreiben, daß man die Temperaturdifferenz zwischen besonnten und beschatteten Stellen benützt, welche in der Windenergie in der Natur in Erscheinung tritt. Natürlich ist das möglich, aber der Nuzeffekt einer solchen Anlage wäre aus unabänderlichen physikalischen Gesetzen wegen der nur kleinen Temperaturdifferenz enorm klein. Entwirft man mit einem großen Hohlspiegel in dessen Brennpunkt ein kleines Sonnenbild, so erreicht man in diesem eine sehr hohe Temperatur; jetzt aber ist der Raum, in welchem diese erreicht wird, so klein, daß eine technische Ausnutzung wiederum nicht möglich ist.

Aber es gibt noch eine dritte Möglichkeit, welche der photochemischen Ausnutzung der Strahlung sehr ähnlich ist: die Erzeugung von elektrischer Energie direkt durch die Sonnenstrahlung. Manche von Ihnen kennen wohl die kleinen Belichtungsmesser für photographische Zwecke: das auf geeignete Metall-Metalloxydschichten auffallende Sonnenlicht löst in diesen elektrische Ladungen aus, welche in einem angeschlossenen Leiterkreis in einer Richtung in Bewegung gesetzt werden; man kann sagen: aus absorbiert Strahlung wird ein elektrischer Strom. Dieser Strom wird in dem Belichtungsmesser benutzt, um die Intensität des Lichtes zu messen. In diesem „lichtelektrischen Effekt“ wandelt sich Strahlungsenergie direkt um in elektrische Energie.

Man hat bis heute noch keinen Weg gefunden, um diesen Vorgang so zu lenken,

daß er mit guter Ausbeute, mit gutem Nutzeffekt abläuft. Immerhin: die Möglichkeit ist grundsätzlich bekannt und damit ein echtes Forschungsproblem für die Zukunft gegeben. Auch die hochwertige Atomenergie muß heute noch unwirtschaftlich über Wärmeenergie ausgenützt werden. Die direkte Umwandlung der Atomenergie in elektrische Energie ist ein ungelöstes Problem ebenso wie wir es bei der Verwertung der hochwertigen Lichtenergie bemerkten.

Damit bin ich am Ende dessen, was ich Ihnen über neuere Erkenntnisse über die Lebensbedingungen und auch über die zukünftigen Möglichkeiten zur Verbesserung der Lebensverhältnisse sagen wollte: physikalisch gesehen beruht beides auf der Energie, die uns die Sonne liefert, die in der Masse der Sonne liegt, und auf der Ausnutzung dieser Energie — sei es Ausnutzung der Strahlungsenergie oder Ausnutzung der Atomenergie, ähnlich wie es die Sonne macht.

Vielleicht hat Ihnen der Vortrag aber noch ein anderes gezeigt: daß uns die Naturforschung außer der Erleichterung des Staunens durch verstandesmäßigen Einblick in das Innere der Natur und der Möglichkeit, diese Einblicke zum Nutzen für die Menschheit zu verwenden noch ein drittes zeigt: bei allem Widerstreit im Einzelnen die wunderbare Ordnung im Großen, die Ordnung, welche sich darin zeigt, daß alle Vorgänge unserer Welt im Großen und im Kleinen durch einige ganz wenige generell gültige Gesetze geregelt sind.

Das ist die Lehre, die wir als Menschen heute Abend mitnehmen wollen, welche *Johannes Kepler*, der 1630 wenige Häuserzeilen von dem Saal entfernt, in dem wir uns versammelt haben, starb, in die Worte gefaßt hat:

„Wenn uns der Schöpfer die Fähigkeit gab, die wunderbare Ordnung in der Natur zu erkennen, so hat er uns damit den Weg gewiesen, wie wir unsere menschlichen Verhältnisse ordnen sollen.“

Physikalisches Institut der Universität München.